

Enzo Oliveira Fernandes

**Expandindo o ForestEyes: Proposta de um
Jogo Digital para Ampliar o Engajamento no
Monitoramento do Desmatamento via Ciência
Cidadã**

São Paulo
Janeiro de 2026

Enzo Oliveira Fernandes

Expandindo o ForestEyes: Proposta de um Jogo Digital para Ampliar o Engajamento no Monitoramento do Desmatamento via Ciência Cidadã

Trabalho de Formatura apresentado ao Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Co-orientadores: Álvaro Luiz Fazenda; Vanessa Andrade Pereira; Fábio A. M. Cappabianco (UNIFESP).

Universidade de São Paulo
Instituto de Matemática e Estatística
Departamento de Ciência da Computação

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Goldman Vel Lejbman

São Paulo
Janeiro de 2026

Resumo

O desmatamento das florestas tropicais compromete a biodiversidade, a regulação climática e o equilíbrio hidrológico. Entre agosto/2018 e julho/2019, o programa PRODES registrou 10 129 km² de desmatamento na Amazônia Legal: um aumento de 34 % em relação ao período anterior (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 2024). Embora a disponibilidade de imagens de satélite tenha crescido, o volume de dados e a escassez de especialistas atrasam a geração de alertas. A ciência cidadã surge como alternativa para engajar voluntários na análise de imagens de sensoriamento remoto, produzindo conjuntos de dados que alimentam algoritmos de detecção automática (Open Science Training Handbook 2018). O projeto ForestEyes explora essa abordagem: voluntários classificam segmentos de imagens orbitais como “floresta”, “não-floresta” ou “indefinido”. As classificações, comparadas a dados de referência do PRODES, mostraram que os voluntários alcançam boa acurácia (Álvaro L Fazenda e Fábio A Faria 2024). As primeiras campanhas em Rondônia receberam mais de 35 000 respostas de 383 voluntários em poucas semanas (Álvaro L Fazenda e Fábio A Faria 2024).

Este trabalho propõe uma *expansão* do ForestEyes por meio do desenho de uma camada gamificada (jogo digital) que busca aumentar engajamento e retenção dos participantes, preservando o significado científico da tarefa de classificação. A proposta se apoia em duas bases: (i) a descrição técnica do sistema no estado atual do ForestEyes e (ii) uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre estratégias de engajamento (gamificação e jogos) em ciência cidadã, conduzida no contexto de um projeto iniciado em 2025, do qual o autor participou. Nesta monografia, a RSL relatada como resultado desse esforço colaborativo e utilizada para fundamentar implicações de design.

Com base nesses insumos, os capítulos seguintes apresentam uma continuação autoral deste trabalho: requisitos da expansão e uma proposta própria de jogo/camada gamificada, incluindo fluxo de interação, mecânicas e uma arquitetura de software em alto nível, concebida como um *wrapper* da experiência atual (compatível com o backend científico e com a lógica de rotulagem do sistema). Por fim, apresentado um plano de implementação incremental (protótipo) e um plano de avaliação para testar, em trabalhos futuros, o impacto da proposta em engajamento, retenção e qualidade das contribuições.

Sumário

	Resumo	2
	Sumário	3
	Lista de ilustrações	7
	Lista de tabelas	8
1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Problema e motivação	9
1.2	Objetivos e contribuições do trabalho	10
1.2.1	Objetivos específicos	10
1.2.2	Contribuições	11
1.3	Organização do texto	11
2	O SISTEMA FORESTEYES ATUAL	12
2.1	Visão geral do fluxo de processamento (entrada → saída)	12
2.2	Dados e fontes (imagens, recortes, <i>ground truth</i>)	14
2.2.1	Imagens de entrada (sensores e proveniência)	14
2.2.2	Unidades derivadas: recortes e segmentos (superpixels)	15
2.2.3	Respostas dos voluntários e rótulos agregados	15
2.2.4	Dados de referência (<i>ground truth</i>) e validação	16
2.2.5	Síntese dos artefatos de dados	16
2.3	Pré-processamento e segmentação	16
2.3.1	Pré-processamento: padronização e redução de dimensionalidade	16
2.3.2	Segmentação: geração de superpixels como unidades de tarefa	17
2.3.3	Conexão com o restante do pipeline	18
2.4	Zooniverse: fluxos de trabalho, tarefas e interface de classificação	18
2.4.1	Projeto e fluxos de trabalho no Zooniverse	19
2.4.2	Estrutura da tarefa e interface de classificação	19
2.4.3	Coleta de respostas: multiplicidade e critério de parada	19
2.4.4	Exportação e formato das respostas (saída do Zooniverse)	20
2.4.5	Encaminhamento	20
2.5	Agregação e controle de qualidade (consenso, métricas)	20
2.5.1	Agregação por consenso: maioria de votos com limite de respostas	21
2.5.2	Incerteza/dificuldade a partir da distribuição de votos	21
2.5.3	Tratamento de empates, “indefinido” e casos ambíguos	22

2.5.4	Métricas de consistência e contribuição de voluntários	22
2.5.5	Saída da etapa de agregação e papel no pipeline	22
2.6	Aprendizado de máquina no fluxo de processamento (uso dos rótulos)	23
2.6.1	Do consenso ao conjunto de treinamento	23
2.6.2	Treinamento e uso do modelo no contexto do ForestEyes	23
2.6.3	Seleção incremental e ciclo de realimentação (quando aplicável)	24
2.6.4	Síntese	24
2.7	Pontos de integração para uma camada de engajamento	25
3	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	27
3.1	Contexto do capítulo	27
3.2	Questões de pesquisa e protocolo (PICOC)	27
3.2.1	Questões de pesquisa (RQs)	27
3.2.2	Protocolo e delimitação do escopo (PICOC)	28
3.2.3	Visão geral do processo e conexão com os capítulos seguintes	28
3.3	Estratégia de busca (bases, strings, período)	29
3.4	CrITÉRIOS de inclusão/exclusão e avaliação de qualidade	30
3.4.1	CrITÉRIOS de inclusão	30
3.4.2	CrITÉRIOS de exclusão	30
3.4.3	Avaliação de qualidade dos estudos (<i>Quality Assessment</i>)	31
3.5	Processo de seleção (PRISMA)	32
3.5.1	Estudos incluídos	33
3.6	Síntese dos resultados e implicações	33
3.6.1	Abordagens adotadas nos estudos: jogo, gamificação ou combinação	34
3.6.2	Elementos recorrentes de design reportados na literatura	34
3.6.3	Escala e tipos de interação avaliados	34
3.6.4	Resultados reportados e lacunas	35
3.6.5	Encaminhamento para a expansão	35
4	REQUISITOS DA EXPANSÃO	36
4.1	Objetivos de engajamento	36
4.2	Requisitos funcionais	36
4.3	Requisitos não funcionais	38
4.4	Indicadores de avaliação	40
5	PROPOSTA DE SOLUÇÃO: CAMADA GAMIFICADA	41
5.1	Visão geral da solução	41
5.2	Arquitetura de software (componentes e integrações)	42
5.2.1	Visão geral da arquitetura	43
5.3	Aplicação Cliente (Web/Mobile).	43

5.4	Backend da Camada Gamificada.	43
5.5	Módulo de Identidade e Sessão (identidade mínima).	43
5.6	Módulo de Progressão e Metas.	44
5.7	Módulo de Telemetria e Logs.	44
5.7.1	Integração com o ForestEyes: obtenção de tarefas e submissão de respostas	44
5.8	Modelo de dados e APIs (alto nível)	44
5.8.1	Entidades mínimas e relacionamentos	45
5.8.2	Campos mínimos para rastreabilidade	45
5.8.3	Interfaces de API da camada gamificada	46
5.8.4	Exemplos de payload mínimo (endpoints críticos)	46
5.9	GET /task/next (resposta).	46
5.10	POST /task/submit (requisição).	46
5.11	POST /session/start (resposta).	47
5.11.1	Interface de integração com o Forest Eyes(alto nível)	47
5.11.2	Eventos mínimos para avaliação e auditoria	47
5.11.3	Considerações de cobertura dos requisitos (RF/RNF)	47
5.12	Fluxos de usuário (jornada + telas)	48
5.12.1	Conjunto mínimo de telas funcionais	48
5.12.2	T1 — Identificação / Início	48
5.12.3	T2 — Tutorial / Onboarding	48
5.12.4	T3 — Tarefa (loop principal)	49
5.12.5	T4 — Progresso e Metas (intra-sessão)	49
5.12.6	T5 — Perfil / Histórico	50
5.12.7	T6 — Encerramento / Resumo de sessão	50
5.12.8	T7 — Sobre / Ajuda (opcional e enxuto)	50
5.12.9	Jornada A: primeiro uso (identificação + tutorial + primeira sessão)	50
5.12.10	Jornada B: uso recorrente (retorno, metas e loop de tarefas)	51
5.12.11	Jornada C: interrupção e retomada (resiliência operacional)	52
5.12.12	Vínculo com indicadores de avaliação	53
5.13	Mecânicas do jogo (progressão, feedback, motivação)	53
5.13.1	Loop principal de interação (unidade jogável)	53
5.13.2	Progressão persistente baseada em participação	53
5.13.3	Metas de curto prazo	53
5.13.4	Recompensas leves e economia simples	54
5.13.5	Feedback sem “certo/errado” imediato	54
5.13.6	Salvaguardas contra comportamento oportunista e fadiga	54
5.14	Pontuação e consenso	54
5.14.1	Notação e unidade de contribuição	55
5.14.2	Consenso no fluxo de processamento (agregação dos votos)	55

5.14.3	Princípio de feedback: sem “certo/errado” imediato	55
5.14.4	Pontuação de engajamento: regras e eventos	56
5.14.5	Bônus opcional baseado em dificuldade (após consenso)	56
5.14.6	Separação entre pontuação e dado científico	57
6	PLANO DE IMPLEMENTAÇÃO DO PROTÓTIPO	58
6.1	Escopo do protótipo	58
6.2	O que este protótipo não faz.	58
6.3	Tecnologias e ambiente	59
6.3.1	Arquitetura de execução (protótipo).	59
6.3.2	Escolhas práticas (sugestão).	59
6.3.3	Dados coletados (minimização).	59
6.4	Etapas a serem cumpridas	59
6.4.1	Encaminhamento.	60
7	PLANO DE AVALIAÇÃO PROPOSTO	61
7.1	Objetivo e perguntas da avaliação	61
7.2	Dados coletados	61
7.2.1	Dados de uso (coleta automática)	61
7.2.2	Opinião dos usuários (questionário pós-uso)	61
7.3	Procedimento	62
7.4	Questionário sugerido	62
7.5	Análise	62
7.6	Limitações	62
8	DISCUSSÃO	63
8.1	O que a proposta trata e o que não trata	63
8.2	Trade-offs de design	63
8.3	Viabilidade e integração em alto nível	64
8.4	Plano de avaliação: adequação de métricas e métodos	64
8.5	Limitações	64
9	CONCLUSÃO	65
	Referências	66

Lista de ilustrações

Figura 1 – Visão geral do fluxo de processamento do ForestEyes no estado atual: aquisição de imagens, pré-processamento e segmentação, publicação de tarefas no Zooniverse, coleta de respostas, agregação/consenso e tratamento de casos ambíguos, armazenamento e uso posterior em aprendizado de máquina. (Arcanjo et al. 2016) (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022) . . .	12
Figura 2 – fluxo de processamento de pré-processamento e segmentação utilizado para gerar segmentos a partir de imagens Landsat-8: aquisição (EarthExplorer), reamostragem e recorte, redução de dimensionalidade por PCA, combinação das componentes e segmentação em superpixels, seguida de divisão/criação dos segmentos. Adaptado de (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019).	17
Figura 3 – Fluxo do protocolo da RSL: da definição (questões e PICOC) à busca, seleção, extração e síntese.	28
Figura 4 – Abordagens adotadas nos 14 estudos (jogo completo, gamificação ou combinação) — base para decisões de design do ForestEyes	34
Figura 5 – Distribuição dos estudos por número de participantes — indicativo da escala típica dos experimentos em cidadania científica	35
Figura 6 – Tipos de interação predominantes nos estudos analisados (cliques, classificação, uploads e outros)	35
Figura 7 – Fluxo de sessão na camada gamificada (visão de alto nível).	42
Figura 8 – Ciclo de vida do participante na camada gamificada (alto nível).	42
Figura 9 – Arquitetura de alto nível da camada gamificada: aplicação cliente, backend da camada e interface de integração com o ForestEyes.	43
Figura 10 – Sequência típica no loop de tarefas: cliente solicita tarefa, exibe, coleta escolha e registra/submete resposta com rastreabilidade.	44
Figura 11 – Visão geral da jornada A	51

Lista de tabelas

Tabela 1	– Exemplos ilustrativos de distribuição de votos (15 respostas) e interpretação qualitativa de dificuldade via entropia.	21
Tabela 2	– Delimitação do escopo da RSL via PICOC.	29
Tabela 3	– Estudos retornados/importados na busca inicial por base (antes de deduplicação e triagens subsequentes).	30
Tabela 4	– Checklist de avaliação de qualidade aplicado aos estudos incluídos. . .	32
Tabela 5	– Artigos incluídos na RSL (2015–2025) após triagem PRISMA e aplicação dos critérios PICOC	33
Tabela 6	– Requisitos funcionais e mapeamento para os objetivos de engajamento.	37
Tabela 7	– Requisitos não funcionais da camada gamificada.	39
Tabela 8	– Indicadores observáveis para avaliação do uso da camada gamificada. .	40
Tabela 9	– Interfaces principais expostas pelo backend da camada gamificada (alto nível).	46
Tabela 10	– Progressão e gatilhos (exemplos)	54
Tabela 11	– Regras de pontuação (engajamento) e momento de atribuição	56

1 Introdução

1.1 Problema e motivação

O desmatamento de florestas tropicais é um problema ambiental de grande escala, com impactos relevantes sobre biodiversidade, clima e ciclo hidrológico (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) 2024). Por isso, o monitoramento sistemático de perda de cobertura florestal é essencial para apoiar iniciativas de fiscalização, planejamento e formulação de políticas públicas (Costa 2021).

O sensoriamento remoto é uma das principais ferramentas para esse monitoramento, permitindo observar grandes áreas de forma periódica e comparável ao longo do tempo (Quiron 2020). No Brasil, programas como o PRODES fornecem estimativas de desmatamento que servem de referência em análises e validações de outros sistemas (Costa 2021). Entretanto, o aumento da disponibilidade de imagens, em frequência, resolução e variedade de sensores, intensifica um desafio prático: transformar grandes volumes de dados brutos em informação acionável (mapas, estimativas e alertas) com tempo e confiabilidade adequados (Remote Sensing Editorial 2021).

Métodos de aprendizado de máquina e visão computacional podem acelerar etapas desse processo, mas dependem de dados rotulados e validação para treinamento, calibração e auditoria de resultados. A obtenção de rótulos em escala suficiente é custosa quando depende exclusivamente de especialistas, criando um gargalo recorrente: há muitos dados disponíveis, mas capacidade humana limitada para interpretá-los e rotulá-los com rapidez (Campos-Taberner, Daudén et al. 2024).

Nesse cenário, a ciência cidadã surge como alternativa complementar. De forma geral, ciência cidadã descreve iniciativas de pesquisa em que voluntários contribuem em etapas como coleta, classificação e validação de dados (Open Science Training Handbook 2018). Em plataformas online, tarefas podem ser distribuídas como microtarefas e as contribuições de múltiplos participantes podem ser agregadas para reduzir ruído e estimar consenso. Essa abordagem tem sido aplicada em diferentes domínios, incluindo contextos envolvendo interpretação de imagens e dados ambientais, como forma de ampliar capacidade de análise quando recursos especializados são limitados (Zooniverse [s.d.]).

O ForestEyes se insere nessa abordagem ao organizar um fluxo no qual voluntários classificam segmentos de imagens orbitais em categorias relacionadas à presença de floresta, ausência de floresta ou indefinição (F. B. R. Dallaqua, Álvaro L Fazenda e Fábio AM Faria 2021). Contudo, um desafio recorrente em sistemas baseados em microtarefas é sustentar a participação: após um período inicial de interesse, é comum observar queda gradual de contribuições, e tarefas repetitivas podem reduzir motivação e aumentar

fadiga, o que afeta a continuidade das campanhas (Crall et al. 2017)

Diante disso, este trabalho parte da hipótese de que estratégias de engajamento inspiradas em jogos digitais podem aumentar a retenção e a participação contínua em projetos de ciência cidadã. A motivação central é propor uma expansão do ForestEyes cujo foco principal é o aumento do engajamento e a melhoria da experiência do participante.

1.2 Objetivos e contribuições do trabalho

Este trabalho tem como objetivo geral propor uma expansão do ForestEyes por meio do desenho de uma camada gamificada (jogo digital) voltada a aumentar o engajamento e a retenção de participantes, preservando o significado científico da tarefa de classificação realizada no sistema (imagem/segmento + resposta). (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

A proposta parte da descrição técnica do ForestEyes no estado atual e utiliza como base uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) conduzida no contexto de um projeto iniciado em 2025 com foco em expansão gamificada do ForestEyes, do qual o autor participou. Nesta monografia, os resultados da RSL são apresentados e utilizados para derivar implicações de design. A continuidade na forma de requisitos e proposta de jogo/plataforma constitui uma proposta autoral deste trabalho, elaborada pelo autor como sugestão de continuação, sem reivindicar ser a decisão final do projeto colaborativo.

1.2.1 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, este trabalho tem os seguintes objetivos específicos:

1. **Sistematizar a descrição do ForestEyes.** Consolidar, a partir das fontes disponíveis, uma descrição técnica do fluxo de processamento do ForestEyes, destacando componentes, artefatos de dados e etapas operacionais.
2. **Apresentar a RSL e derivar implicações para design.** Descrever protocolo, estratégia de busca, processo de seleção, avaliação de qualidade e síntese de resultados da RSL.
3. **Definir requisitos da expansão.** Traduzir os achados da RSL e as restrições do ForestEyes em requisitos da expansão, com foco em objetivos de engajamento e em salvaguardas de qualidade de dados, incluindo requisitos funcionais e não funcionais.
4. **Propor o desenho da camada gamificada/jogo.** Especificar uma proposta de jogo/camada gamificada que “embrulha” a experiência de classificação (sem alterar classes ou significado das respostas), detalhando fluxo de interação, mecânicas, progressão e feedback.

5. **Propor uma arquitetura de software em alto nível.** Descrever uma arquitetura para a expansão, incluindo componentes, integrações e um modelo de dados em nível suficiente para orientar implementação futura, mantendo compatibilidade com o backend científico e com o módulo de tarefas existente.
6. **Definir um plano de implementação e um plano de avaliação.** Propor um escopo incremental (protótipo) e um plano de avaliação com perguntas/hipóteses e métricas para auxiliar o entendimento sobre o efeito da solução.

1.2.2 Contribuições

Como resultado, este trabalho entrega:

- uma descrição técnica estruturada do ForestEyes no estado atual, baseada estritamente nas fontes disponíveis, tornando explícitos o fluxo de processamento, unidade de tarefa, agregação e pontos de integração para uma camada externa de engajamento.
- o relato da RSL conduzida no contexto do projeto iniciado em 2025 (com participação do autor), incluindo protocolo e síntese, e uma discussão das implicações dos achados para o design de intervenções de engajamento em ciência cidadã.
- uma proposta autoral de continuidade na forma de requisitos e de uma solução de camada gamificada/jogo, com especificação de fluxos, mecânicas e arquitetura em alto nível, preservando a tarefa científica do ForestEyes.
- um plano de implementação incremental (protótipo) e um plano de avaliação, delineando um caminho para validação posterior da proposta em contexto real.

1.3 Organização do texto

O restante deste texto está organizado da seguinte forma. O Capítulo 2 apresenta o ForestEyes no estado atual, descrevendo seu funcionamento e os principais elementos técnicos relevantes para a expansão proposta. O Capítulo 3 apresenta a Revisão Sistemática da Literatura (RSL), incluindo metodologia, processo de seleção e síntese dos resultados, com implicações para decisões de design.

Em seguida, o Capítulo 4 define os requisitos da expansão. O Capítulo 5 descreve a proposta de solução na forma de jogo/plataforma, apresentando o desenho do jogo e a arquitetura de software planejada. O Capítulo 6 apresenta um plano de implementação incremental (protótipo) e o Capítulo 7 descreve o plano de avaliação proposto.

Por fim, o Capítulo 8 discute limitações e trabalhos futuros, e o Capítulo 9 apresenta as conclusões e próximos passos.

2 O sistema ForestEyes atual

2.1 Visão geral do fluxo de processamento (entrada → saída)

O ForestEyes é um sistema de ciência cidadã voltado à construção incremental de conjuntos de dados rotulados para apoiar a detecção de desmatamento em florestas tropicais. Em termos funcionais, o sistema pode ser entendido como um fluxo de processamento que transforma imagens de sensoriamento remoto em tarefas de classificação para voluntários, agrega as respostas recebidas e produz rótulos (por segmento) que podem ser utilizados para treinamento e avaliação de modelos de aprendizado de máquina. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

A Figura 11 resume essa visão ponta a ponta, destacando os blocos principais do fluxo e suas relações.

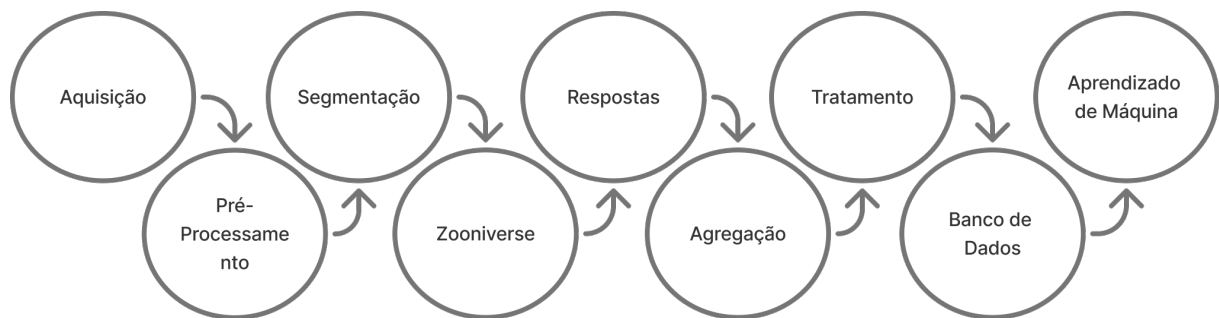


Figura 1 – Visão geral do fluxo de processamento do ForestEyes no estado atual: aquisição de imagens, pré-processamento e segmentação, publicação de tarefas no Zooniverse, coleta de respostas, agregação/consenso e tratamento de casos ambíguos, armazenamento e uso posterior em aprendizado de máquina. (Arcanjo et al. 2016) (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

De forma resumida, o fluxo de processamento pode ser descrito pelas seguintes etapas:

1. **Aquisição e seleção de imagens (entrada do sistema).** O sistema parte de imagens orbitais (por exemplo, MODIS e Landsat-8/OLI, dependendo da campanha), obtidas de fontes públicas e/ou bases previamente coletadas em trabalhos relacionados. A escolha de área e período define o conjunto de imagens que seguirá para as etapas de preparação e rotulagem. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2. **Pré-processamento e preparação dos dados.** As imagens são preparadas para viabilizar a segmentação e a apresentação aos voluntários. Dependendo da configuração, isso pode envolver recortes de regiões de interesse, seleção/combinção de bandas (incluindo composições RGB e falsa-cor) e etapas para organizar a informação espectral de modo a favorecer a segmentação e a interpretação humana. (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)
3. **Segmentação em unidades de tarefa.** Cada imagem (ou recorte) é dividida em segmentos (superpixels) que funcionam como unidades mínimas de classificação. Em campanhas baseadas em Landsat-8, essa segmentação pode ser feita por métodos como SLIC (e variantes), resultando em um conjunto de segmentos que será encaminhado para rotulagem por voluntários. Esses segmentos e seus metadados passam a ser tratados como itens rastreáveis do fluxo de processamento (por exemplo, armazenados antes do envio para rotulagem). (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)
4. **Publicação das tarefas no Zooniverse (módulo de ciência cidadã).** Os segmentos são disponibilizados aos voluntários por meio de um projeto hospedado no Zooniverse (Zooniverse 2026). Em cada tarefa, o voluntário observa o segmento destacado sobre a imagem correspondente e atribui uma classe entre *floresta*, *não-floresta* ou *indefinido*. Em descrições do sistema apresentadas na literatura, a seleção e o envio de segmentos para o Zooniverse são realizados manualmente, com automação apontada como extensão futura. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)
5. **Coleta de respostas e agregação por consenso.** Cada segmento recebe múltiplas respostas independentes. Uma configuração descrita para o ForestEyes utiliza até 15 respostas por tarefa (considerando voluntários distintos) e define o rótulo final por maioria de votos. Esse mecanismo reduz o impacto de respostas ruidosas e permite estimar incerteza/dificuldade da tarefa a partir da distribuição de votos. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Arcanjo et al. 2016)

Além do rótulo agregado, podem ser derivadas métricas auxiliares, como medidas de incerteza baseadas na distribuição de votos e indicadores de consistência de voluntários (por exemplo, concordância com o consenso).
6. **Tratamento de casos difíceis e iteração sobre as tarefas.** Segmentos que resultam em alta incerteza (por exemplo, empates ou predominância de *indefinido*) podem ser tratados de forma especial. Uma estratégia descrita no projeto envolve

resegmentar regiões ambíguas e disponibilizar novos segmentos para nova rodada de classificação. Esse passo atua como um mecanismo prático de refinamento do conjunto de rótulos obtidos. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

7. **Construção do conjunto de dados rotulado** Após a agregação, é produzido um conjunto de exemplos rotulados por segmento, cada exemplo associado ao recorte/segmento e ao rótulo final, potencialmente acompanhado de metadados como distribuição de votos e sinais de incerteza. Esse conjunto de dados é a saída central do ForestEyes enquanto sistema de rotulagem e pode ser empregado para treinar e testar classificadores automáticos. (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)
8. **Uso em aprendizado de máquina e possível ciclo de realimentação.** Os rótulos agregados podem ser utilizados para treinar modelos de classificação (por exemplo, para distinguir floresta e não-floresta em novas imagens). Parte da literatura descreve o ForestEyes em conexão com um ciclo incremental inspirado em aprendizado ativo, no qual novas amostras são selecionadas para maximizar informação/representatividade do conjunto rotulado e então enviadas para rotulagem por voluntários. A presença e o grau de automação desse ciclo dependem da configuração/implementação considerada em cada trabalho. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

Em síntese, são convertidas imagens orbitais em um conjunto de dados de segmentos rotulados por consenso, possivelmente acompanhado de métricas auxiliares (incerteza/dificuldade e sinais de consistência). Essa visão orienta as seções seguintes deste capítulo, nas quais cada etapa é detalhada com maior precisão.

2.2 Dados e fontes (imagens, recortes, *ground truth*)

Esta seção apresenta os principais artefatos de dados do ForestEyes e suas fontes: (i) imagens de sensoriamento remoto usadas como entrada do fluxo de processamento, (ii) recortes e segmentos que se tornam unidades de tarefa no Zooniverse, (iii) respostas dos voluntários e rótulos agregados, e (iv) dados de referência (*ground truth*) empregados para validação e/ou para orientar a construção do conjunto rotulado.

2.2.1 Imagens de entrada (sensores e proveniência)

O ForestEyes utiliza imagens orbitais provenientes de diferentes sensores, variando conforme a campanha. Entre as fontes documentadas estão imagens MODIS (NASA) e

imagens Landsat-8/OLI, obtidas em portais públicos como o USGS EarthExplorer. Essas imagens constituem a entrada primária do fluxo de processamento e fornecem as bandas espectrais usadas tanto para processamento quanto para gerar visualizações interpretáveis pelos voluntários.

Em configurações centradas em Landsat-8/OLI, o processamento parte de múltiplas bandas espectrais. Além de alimentar a segmentação e etapas de aprendizado de máquina, parte dessas bandas pode ser selecionada/transformada para formar composições visuais exibidas na tarefa (por exemplo, RGB e falsa-cor), de modo a apoiar a decisão humana. (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.2.2 Unidades derivadas: recortes e segmentos (superpixels)

As imagens não são apresentadas diretamente como tarefas. O fluxo de processamento produz unidades menores e rastreáveis, em particular recortes (regiões de interesse) e segmentos (superpixels), que se tornam a unidade mínima de classificação no ForestEyes. Cada segmento representa uma região contígua de pixels que o voluntário rotula como floresta, não-floresta ou indefinido.

Os segmentos são gerados por algoritmos como SLIC e variantes. O resultado pode ser entendido como um conjunto de máscaras (uma por segmento), cada uma associada à imagem/recorte de origem, às visualizações apresentadas na tarefa e a metadados necessários para rastreabilidade e uso posterior como exemplo de treinamento.

Na versão descrita em 2019, esses segmentos são armazenados em uma base interna, preservando a correspondência entre o item publicado no Zooniverse e sua representação no fluxo de processamento (identificador, vínculo com imagem/campanha e demais metadados). (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

2.2.3 Respostas dos voluntários e rótulos agregados

A rotulagem humana é coletada no Zooniverse, onde cada segmento é apresentado como uma tarefa e recebe múltiplas respostas independentes. As respostas individuais registram o rótulo selecionado (floresta/não-floresta/indefinido) e metadados exportáveis da plataforma.

O rótulo final por segmento é obtido por agregação (consenso), tipicamente por maioria de votos considerando um limite de respostas por tarefa. O produto dessa etapa é o conjunto rotulado: exemplos por segmento com rótulo final e, idealmente, informações sobre a distribuição de votos, que permitem estimar incerteza/dificuldade. (Arcanjo et al. 2016) (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.2.4 Dados de referência (*ground truth*) e validação

Além dos rótulos produzidos por voluntários, o ForestEyes pode utilizar dados de referência para apoiar validação e análises de qualidade. Uma referência discutida no contexto do projeto é o uso de produtos de monitoramento como o PRODES para comparação em regiões e períodos específicos, servindo como base externa em experimentos e análises do desempenho das classificações. (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.2.5 Síntese dos artefatos de dados

Em resumo, o ForestEyes organiza quatro camadas principais de dados:

1. imagens orbitais (entrada) provenientes de sensores e portais públicos;
2. recortes/segmentos derivados por pré-processamento e segmentação (unidades de tarefa);
3. respostas individuais e rótulos agregados obtidos via Zooniverse (saída de rotulagem);
4. dados de referência (*ground truth*) utilizados para validação quando disponíveis.

Essa organização será usada nas seções seguintes para detalhar como cada artefato é gerado, representado e consumido ao longo do fluxo de processamento. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.3 Pré-processamento e segmentação

Esta seção descreve como o ForestEyes transforma imagens orbitais brutas em unidades de tarefa (segmentos/superpixels) que podem ser apresentadas a voluntários. Em linhas gerais, o pré-processamento organiza as bandas e adequa o dado para a segmentação; a segmentação, por sua vez, particiona a cena em regiões coerentes que se tornam os itens rotuláveis no módulo de ciência cidadã. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.3.1 Pré-processamento: padronização e redução de dimensionalidade

No fluxo documentado para Landsat-8/OLI, parte-se da coleta de múltiplas bandas espectrais (sete bandas) obtidas via EarthExplorer. Em uma configuração descrita em 2019, as

imagens são selecionadas de modo a permitir comparação/validação com dados do PRODES, isto é, utilizando imagens analisadas por especialistas no contexto desse produto de referência.

Como etapa de preparação, as bandas passam por ajustes para compatibilização com parâmetros subsequentes. Um passo explicitado é o reamostramento (*resampling*) das bandas, de modo que o dado esteja adequado às entradas exigidas pela etapa de segmentação e à forma como os segmentos serão tratados a seguir.

Em seguida, há uma etapa de redução de dimensionalidade por Análise de Componentes Principais (PCA): as sete bandas são reduzidas para três componentes, que são combinadas em uma imagem compacta utilizada como entrada para os algoritmos de segmentação. Essa escolha tem motivação prática: reduzir custo/complexidade de processamento mantendo informação suficiente para produzir segmentos úteis para rotulagem. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

Além disso, o fluxo de processamento pode aplicar recortes (*crop*) na imagem, delimitando a área de interesse antes da segmentação. Esse passo é relevante tanto para adequar o tamanho do dado quanto para alinhar o processamento ao recorte espacial da campanha/estudo.

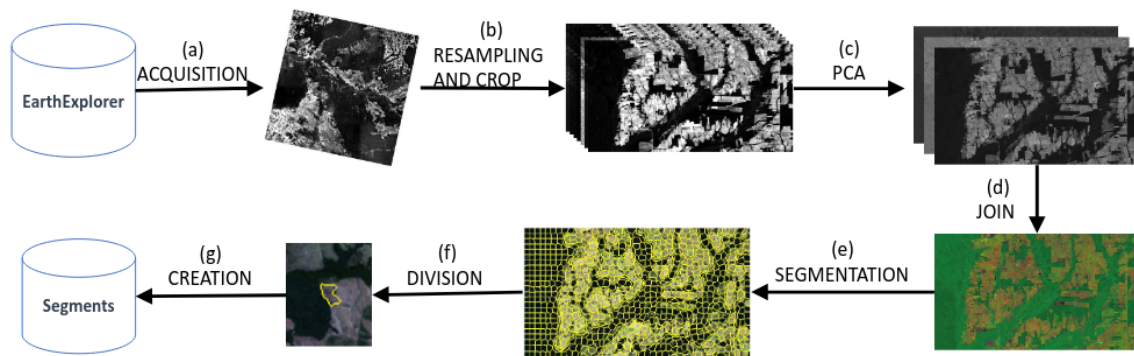


Figura 2 – fluxo de processamento de pré-processamento e segmentação utilizado para gerar segmentos a partir de imagens Landsat-8: aquisição (EarthExplorer), reamostragem e recorte, redução de dimensionalidade por PCA, combinação das componentes e segmentação em superpixels, seguida de divisão/criação dos segmentos. Adaptado de (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019).

2.3.2 Segmentação: geração de superpixels como unidades de tarefa

Após a preparação, o ForestEyes aplica algoritmos de segmentação em superpixels para dividir a imagem em muitos segmentos. Esses segmentos são regiões contíguas delimitadas por fronteiras e formam a unidade mínima de classificação do sistema: cada tarefa

apresentada ao voluntário corresponde a um segmento destacado sobre uma visualização da imagem. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

Os algoritmos citados para essa etapa incluem SLIC e variantes, incluindo IFT-SLIC e MaskSLIC, avaliadas no contexto do projeto. A intenção é obter segmentos suficientemente coerentes para que um voluntário consiga atribuir um rótulo sem precisar operar pixel a pixel, preservando ao mesmo tempo informação espacial relevante para o problema (por exemplo, bordas e padrões associados a cobertura florestal e mudanças).

Como produto da segmentação, são gerados muitos segmentos e os trata como itens rastreáveis. Na versão descrita em 2019, os segmentos são extraídos da imagem segmentada e armazenados em banco de dados, de modo que o sistema preserve a correspondência entre o segmento apresentado ao voluntário e o exemplo que será incorporado ao conjunto rotulado (ou destinado a outras finalidades, como teste). (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

Um aspecto importante para a etapa de ciência cidadã é a forma de apresentação visual do segmento. O sistema pode disponibilizar o segmento com diferentes composições para apoiar a análise humana (por exemplo, RGB, falsa-cor e até índices como NDVI), mantendo a borda do segmento visível para orientar o voluntário sobre *o que exatamente* deve ser classificado. (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.3.3 Conexão com o restante do pipeline

Ao final desta seção, o resultado principal é uma coleção de segmentos (superpixels), cada um ligado a uma imagem/recorte de origem e pronto para ser (i) enviado ao módulo de ciência cidadã no Zooniverse para rotulagem, ou (ii) reservado para outras etapas do fluxo de processamento, como composição de conjuntos de teste em experimentos com aprendizado de máquina.

Na versão descrita em 2019, parte dos segmentos é enviada ao módulo de ciência cidadã e parte é mantida para o módulo de aprendizado de máquina; a seleção do que será enviado aos voluntários é manual nessa descrição. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

2.4 Zooniverse: fluxos de trabalho, tarefas e interface de classificação

Esta seção descreve como o ForestEyes utiliza o Zooniverse (Zooniverse 2026) como módulo de ciência cidadã, isto é, como as unidades de tarefa (segmentos) são apresentadas

aos voluntários, como as respostas são coletadas e qual é o formato de saída dessas contribuições para as etapas posteriores do fluxo.

2.4.1 Projeto e fluxos de trabalho no Zooniverse

No ForestEyes, o Zooniverse funciona como a plataforma de execução das microtarefas. O fluxo de processamento prepara os segmentos (superpixels) e os publica no Zooniverse como unidades a serem rotuladas, organizadas em um (ou mais) fluxos de trabalho. Cada fluxo de trabalho define o tipo de tarefa (classificação do segmento) e as opções de resposta disponíveis ao voluntário.

Na descrição de 2019, a seleção e o envio de segmentos ao Zooniverse são realizados manualmente, e a automação desse processo é citada como extensão futura. Assim, para fins de documentação do ForestEyes atual, esta monografia adota esse modelo como referência do funcionamento operacional, sem assumir automação não documentada. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

2.4.2 Estrutura da tarefa e interface de classificação

A unidade de interação no Zooniverse é uma tarefa de classificação de um segmento. O voluntário visualiza a imagem (ou recorte) com o segmento destacado por contorno/máscara e deve escolher uma das classes:

- **floresta;**
- **não-floresta;**
- **indefinido.**

Essas três classes implementam uma decisão prática: a opção *indefinido* cobre casos em que o segmento não parece homogêneo o suficiente, ou quando o voluntário não tem confiança para rotular como floresta ou não-floresta. (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

Em configurações descritas para o uso de Landsat-8/OLI, o sistema pode disponibilizar diferentes visualizações/compósitos derivadas das bandas (por exemplo, RGB, falsa-cor e até índices como NDVI), mantendo o segmento marcado para orientar *o que exatamente* deve ser avaliado. O objetivo é apoiar uma decisão humana mais consistente, mesmo para participantes não especialistas.

2.4.3 Coleta de respostas: multiplicidade e critério de parada

Cada segmento deve receber múltiplas respostas independentes para permitir agregação por consenso. No sistema descrito em 2019, o alvo é obter 15 respostas por tarefa, considerando participantes distintos. Essa coleta multiavaliador é fundamental para reduzir

ruído e para permitir o cálculo de métricas de incerteza baseadas na distribuição de votos. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

2.4.4 Exportação e formato das respostas (saída do Zooniverse)

Após a execução do fluxo de trabalho, as respostas podem ser exportadas do Zooniverse em formato tabular (CSV). O artigo de 2019 indica que esse CSV inclui campos como identificadores de tarefa/segmento e informações associadas ao usuário, além de permitir o processamento posterior das respostas para agregação e composição do conjunto de dados rotulado.

Na prática, esse artefato (CSV exportado) funciona como a ponte entre o módulo de ciência cidadã e as etapas internas do pipeline: é a partir dele que o sistema calcula consenso, identifica tarefas difíceis/ambíguas e prepara os exemplos finais (segmento + rótulo agregado + metadados) para uso em aprendizado de máquina e avaliação. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.4.5 Encaminhamento

Com o funcionamento do módulo Zooniverse definido (tarefa, classes e coleta/extração de respostas), a etapa seguinte é detalhar como as respostas são combinadas e como o sistema deriva sinais de qualidade e dificuldade. Isso será tratado na próxima seção, dedicada à agregação e ao controle de qualidade. (Arcanjo et al. 2016) (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.5 Agregação e controle de qualidade (consenso, métricas)

Esta seção descreve como o ForestEyes transforma respostas individuais dos voluntários em um rótulo final por segmento e como deriva sinais de qualidade, dificuldade e consistência a partir da distribuição de votos. O objetivo é duplo: (i) reduzir o impacto de ruído individual por meio de consenso e (ii) produzir métricas auxiliares que caracterizem tarefas e participantes, apoiando análises posteriores e o uso do conjunto rotulado em aprendizado de máquina. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Arcanjo et al. 2016) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.5.1 Agregação por consenso: maioria de votos com limite de respostas

No fluxo do ForestEyes, cada segmento é respondido por múltiplos voluntários. Para tornar as tarefas comparáveis e limitar assimetrias de exposição, adota-se um número-alvo de respostas por tarefa. Na descrição operacional do sistema, a agregação considera até 15 respostas por segmento (com restrição de usuários distintos) e atribui o rótulo final por maioria de votos entre as classes disponíveis (*floresta*, *não-floresta* e *indefinido*). (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Arcanjo et al. 2016)

Esse procedimento tem uma motivação direta: em tarefas de classificação visual, respostas individuais podem ser afetadas por ruído, inexperiência ou ambiguidades locais; ao combinar votos independentes, o consenso tende a estabilizar a decisão final. (Arcanjo et al. 2016)

2.5.2 Incerteza/dificuldade a partir da distribuição de votos

Além do rótulo por maioria, a distribuição de votos contém informação sobre o quão “fácil” ou “ambíguo” foi uma tarefa. Quando os votos se concentram em uma única classe, a tarefa tende a ser mais homogênea; quando os votos se espalham entre classes, há maior incerteza.

Uma forma de quantificar esse fenômeno no ForestEyes é usar a Entropia de Shannon calculada sobre as proporções de votos por classe:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log(p_i), \quad (2.1)$$

em que p_i é a proporção de votos da classe i e n é o número de classes possíveis. Tarefas com H baixa indicam consenso forte; tarefas com H alta indicam desacordo e potencial ambiguidade.

Para tornar essa interpretação concreta, a Tabela 1 ilustra distribuições hipotéticas de votos e a leitura qualitativa da dificuldade. Os valores numéricos de H podem ser computados diretamente pela Equação 2.1. (Arcanjo et al. 2016)

Tabela 1 – Exemplos ilustrativos de distribuição de votos (15 respostas) e interpretação qualitativa de dificuldade via entropia.

Tarefa	Floresta	Não-floresta	Indefinido	Rótulo (maioria)	Entropia (qualit.)
A	15	0	0	Floresta	Baixa
B	9	6	0	Floresta	Média
C	5	5	5	Empate*	Alta

*Empates e alta incerteza podem motivar tratamento especial (p. ex., resegmentação e nova rodada de classificação), conforme descrito no fluxo de processamento do projeto. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

2.5.3 Tratamento de empates, “indefinido” e casos ambíguos

Casos em que há empate entre classes, ou em que *indefinido* domina (ou aparece com frequência), são particularmente relevantes para controle de qualidade. No sistema do projeto, uma estratégia prática é tratar regiões ambíguas resegmentando e rerepresentando novos segmentos a voluntários, buscando aumentar a homogeneidade da unidade de tarefa e, com isso, facilitar o consenso.

Em outras palavras, o ForestEyes pode intervir na própria unidade de tarefa para reduzir ambiguidade, melhorando a qualidade do rótulo final obtido por microtarefas. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.5.4 Métricas de consistência e contribuição de voluntários

Além de avaliar tarefas, o ForestEyes permite derivar métricas sobre contribuições individuais. Uma abordagem descrita é medir a taxa de acerto do voluntário tomando como referência o rótulo por maioria, isto é, contar em quantas tarefas o voluntário concordou com o consenso. A partir disso, pode-se computar uma pontuação que combina volume de participação e concordância com a maioria, produzindo rankings e indicadores de consistência.

Essas métricas não devem ser interpretadas como *verdade absoluta* (o consenso pode estar incorreto em casos específicos), mas funcionam como um proxy operacional de confiabilidade relativa, especialmente quando combinadas com sinais de dificuldade. (Arcanjo et al. 2016)

2.5.5 Saída da etapa de agregação e papel no pipeline

Ao final, a etapa de agregação e controle de qualidade produz, para cada segmento: um rótulo final (por maioria), a distribuição de votos (ou estatísticas derivadas), uma medida de dificuldade/incerteza (por exemplo, entropia) e, opcionalmente, sinais para decisões do fluxo de processamento (por exemplo, marcar para resegmentação). Esse pacote de informações compõe o conjunto rotulado e define quais exemplos são considerados suficientemente confiáveis para uso em etapas de aprendizado de máquina, bem como quais devem ser tratados como casos difíceis. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Arcanjo et al. 2016) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.6 Aprendizado de máquina no fluxo de processamento (uso dos rótulos)

Esta seção descreve como os rótulos produzidos via ciência cidadã (após agregação por consenso) são utilizados no fluxo de processamento do ForestEyes para compor conjuntos de dados e apoiar treinamento/avaliação de modelos de aprendizado de máquina. O foco aqui é explicitar o papel do módulo de ML no fluxo documentado, sem assumir automações ou componentes não descritos publicamente. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.6.1 Do consenso ao conjunto de treinamento

Após a etapa de coleta e agregação, cada segmento passa a ter um rótulo final (por maioria) e sinais auxiliares (por exemplo, distribuição de votos e entropia), que permitem selecionar quais exemplos são apropriados para uso em aprendizado de máquina. Em particular, o fluxo de processamento utiliza os rótulos agregados para construir um conjunto supervisionado de exemplos por segmento, associado às bandas/representações derivadas das imagens de entrada. (Arcanjo et al. 2016) (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

Como o sistema inclui uma classe *indefinido* para acomodar ambiguidade, uma decisão recorrente no contexto de construção de um *dataset* supervisionado é como tratar segmentos ambíguos. Eles podem ser excluídos do conjunto de treino, mantidos para análise separada, ou submetidos a procedimentos adicionais antes de serem incorporados como dados de treinamento. No fluxo documentado, a resegmentação aparece como estratégia para lidar com casos ambíguos e melhorar a qualidade do rótulo final obtido por microtarefas.

Além disso, o fluxo documentado inclui a separação de subconjuntos de segmentos para finalidades diferentes: uma parte segue para rotulagem no módulo de ciência cidadã; outra pode ser reservada para etapas internas de aprendizado de máquina e avaliação experimental. Essa separação é relevante para permitir mecanismos de teste/validação ao avaliar modelos treinados com dados construídos no próprio processo. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

2.6.2 Treinamento e uso do modelo no contexto do ForestEyes

Com um conjunto de segmentos rotulados, o fluxo de processamento suporta o treinamento de um classificador capaz de generalizar para novos dados, com o objetivo de distinguir categorias relacionadas à cobertura florestal. Nesse enquadramento, o ForestEyes atua

como mecanismo de obtenção de rótulos em escala, enquanto o módulo de ML utiliza esses rótulos para produzir um componente automatizado de classificação. (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

O papel do modelo é condicionado pela forma como os dados são construídos: o rótulo por segmento é derivado de consenso humano e pode carregar incerteza. Por isso, sinais como distribuição de votos e medidas de dificuldade podem ser úteis tanto para análise do *dataset* quanto para decisões de inclusão/exclusão de exemplos no treinamento. (Arcanjo et al. 2016) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.6.3 Seleção incremental e ciclo de realimentação (quando aplicável)

O ForestEyes é discutido na literatura em conexão com um procedimento incremental inspirado em aprendizado ativo: parte-se de um conjunto inicial de exemplos rotulados, treina-se um classificador e, em seguida, selecionam-se novas amostras candidatas para rotulagem humana, com o objetivo de construir um conjunto de treinamento mais representativo e informativo. Nessa visão, os rótulos produzidos por voluntários realimentam o treinamento do modelo, e o modelo (ou um critério derivado) orienta quais novas amostras devem ser enviadas ao módulo de ciência cidadã. (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

Todavia, é essencial separar o ciclo conceitual/metodológico do grau de automação operacional. Na descrição do sistema de 2019, o envio de segmentos ao Zooniverse é manual e a automação é apontada como evolução futura; portanto, nesta monografia, o ciclo de realimentação é descrito conforme documentado, sem assumir integração automatizada ponta a ponta. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

2.6.4 Síntese

Em síntese, o módulo de aprendizado de máquina no ForestEyes depende do conjunto de segmentos rotulados por consenso para compor *datasets* supervisionados e treinar/avaliar classificadores voltados à distinção de classes associadas à cobertura florestal. Quando considerado sob a perspectiva incremental descrita na literatura, o fluxo de processamento admite um ciclo em que a seleção de novas amostras para rotulagem humana realimenta o treinamento do modelo; porém, o grau de automação desse ciclo não deve ser presumido além do que está explicitamente documentado. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

2.7 Pontos de integração para uma camada de engajamento

As seções anteriores detalharam o ForestEyes no estado atual como um fluxo de processamento que publica tarefas de classificação no Zooniverse, coleta respostas de voluntários, agrega por consenso e produz um conjunto de dados rotulado, com sinais auxiliares de dificuldade (por exemplo, distribuição de votos/entropia) e métricas de participação.

A proposta deste trabalho, entretanto, não é alterar o *backend* científico do ForestEyes nem substituir o módulo de coleta de rótulos do Zooniverse. O objetivo é projetar uma camada externa de engajamento que opere “por cima” da experiência atual: o Zooniverse continua definindo as tarefas (imagem/segmento + alternativas de resposta), enquanto a camada proposta recontextualiza a interação para o participante, adicionando elementos de jogo (progressão, feedback, metas, narrativa e recompensas) sem modificar o significado científico das respostas.

Nessa arquitetura, o ponto central de integração é a própria unidade de tarefa já existente: o participante recebe uma imagem (ou recorte) com o segmento de interesse e seleciona uma classe entre *floresta*, *não-floresta* ou *indefinido*. A camada gamificada pode reapresentar essa mesma decisão ao usuário em uma interface própria, adicionando elementos de UX e motivação (por exemplo, explicações contextuais, objetivos de curto prazo, indicadores de progresso, desafios e feedback imediato), enquanto preserva a equivalência semântica do rótulo que será encaminhado ao módulo de coleta.

Essa abordagem impõe uma restrição clara: a camada gamificada deve funcionar como um *wrapper* de interação e não como um novo sistema de rotulagem com regras próprias. Em particular, ela não deve introduzir novas classes nem alterar o critério científico da tarefa; seu papel é aumentar retenção e experiência do participante mantendo compatibilidade com a lógica do ForestEyes atual (microtarefas, múltiplos votos por segmento, consenso por maioria e tratamento de ambiguidade).

Do ponto de vista do fluxo de processamento, isso sugere três interfaces naturais para a camada de engajamento:

1. **Interface de apresentação da tarefa (entrada).** A camada precisa obter a tarefa “como o Zooniverse a define” (imagem/segmento + alternativas) e reapresentá-la ao usuário de forma mais engajadora, sem alterar seu conteúdo essencial.
2. **Interface de submissão de respostas (saída).** Após o usuário decidir, a camada deve encaminhar a escolha ao mecanismo de coleta do ForestEyes, preservando rastreabilidade (qual segmento foi respondido e qual classe foi escolhida). Isso permite que a agregação por consenso e o uso posterior dos rótulos permaneçam idênticos ao fluxo de processamento descrito.
3. **Interface de feedback e progressão (pós-resposta).** O ForestEyes já produz sinais que podem alimentar uma camada gamificada: número de tarefas respondi-

das, distribuição de votos (após consenso), estimativas de dificuldade (entropia) e métricas derivadas de concordância com a maioria. Esses sinais podem ser utilizados para desenhar progressão e recompensas (por exemplo, missões, *badges* e níveis), desde que o feedback seja planejado com cuidado para não induzir vieses de resposta nas próximas tarefas.

Em síntese, esta seção estabelece o “contrato” entre o ForestEyes e a expansão proposta: a camada gamificada não altera o processo científico, mas se apoia nele. O Capítulo 4 formaliza o que essa camada precisa oferecer em termos de engajamento e qualidade de interação, e o Capítulo 6 detalha uma proposta de arquitetura e fluxos de usuário que concretizam esse acoplamento com o Zooniverse.

3 Revisão Sistemática da Literatura

3.1 Contexto do capítulo

Este capítulo relata a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) conduzida no contexto do projeto iniciado em 2025 sobre expansão gamificada do ForestEyes, do qual o autor participou. A partir dessa base, os capítulos seguintes apresentam uma proposta autoral de requisitos e de jogo/camada gamificada.

3.2 Questões de pesquisa e protocolo (PICOC)

Esta seção apresenta as questões de pesquisa e o protocolo adotados na Revisão Sistemática da Literatura (RSL) descrita neste capítulo. O protocolo define o escopo da revisão, as perguntas que guiam a busca e a seleção dos estudos e a forma de extração e síntese dos resultados.

3.2.1 Questões de pesquisa (RQs)

As questões de pesquisa foram formuladas para capturar tanto um mapeamento do estado da arte quanto evidências diretamente reaproveitáveis no desenho de uma camada de engajamento para ciência cidadã. Em particular, elas buscam identificar como jogos/gamificação são aplicados, quais elementos de design são empregados e que tipos de resultados são reportados (em engajamento e/ou qualidade).

As RQs adotadas nesta revisão são:

- **RQ1 — Caracterização das soluções:** Quais jogos digitais, sistemas interativos ou plataformas gamificadas são reportados na literatura como suporte a projetos de ciência cidadã/crowdsourcing, especialmente em domínios ambientais?
- **RQ2 — Elementos de design e mecânicas:** Quais elementos de gamificação e mecânicas de jogo são utilizados (p. ex., progressão, missões, narrativa, recompensas, feedback, rankings, elementos sociais) e como esses elementos aparecem no fluxo de participação?
- **RQ3 — Resultados reportados:** Que resultados são reportados em relação a engajamento (p. ex., participação, retorno, retenção) e/ou qualidade de dados (p. ex., consistência, confiabilidade, métricas apresentadas pelos autores)?

- **RQ4 — Participantes e contexto:** Quais perfis de participantes e quais contextos de aplicação são reportados (p. ex., tipo de tarefa, plataforma, duração), e como esses aspectos se relacionam com as decisões de design?
- **RQ5 — Tendências e lacunas:** Quais tendências e lacunas são apontadas pela literatura, incluindo limitações reportadas nos estudos e oportunidades de pesquisa?
- **RQ6 — Implicações para uma camada *wrapper* da tarefa:** Quais recomendações e cuidados de design são compatíveis com uma abordagem em que a camada gamificada rerepresenta a tarefa original (imagem/segmento + alternativas), preservando classes e significado científico e mantendo a lógica de agregação/consenso do sistema base?

3.2.2 Protocolo e delimitação do escopo (PICOC)

Para delimitar o escopo, o protocolo utiliza a estrutura **PICOC** (Population, Intervention, Comparison, Outcomes, Context), que organiza o problema em critérios operacionais para busca e seleção. (Centre for Evidence-Based Management 2026)

Em termos gerais, a revisão considera: (i) estudos sobre ciência cidadã/crowdsourcing (população), (ii) intervenções de gamificação ou jogos digitais (intervenção), (iii) comparações quando existentes (comparação), (iv) medidas de engajamento e/ou qualidade de dados (desfechos) e (v) contextos online e/ou ambientais quando aplicável (contexto).

3.2.3 Visão geral do processo e conexão com os capítulos seguintes

O processo da RSL segue as etapas de definição do protocolo, busca, triagem e seleção, avaliação de qualidade, extração de dados e síntese. A Figura 3 resume esse encadeamento.

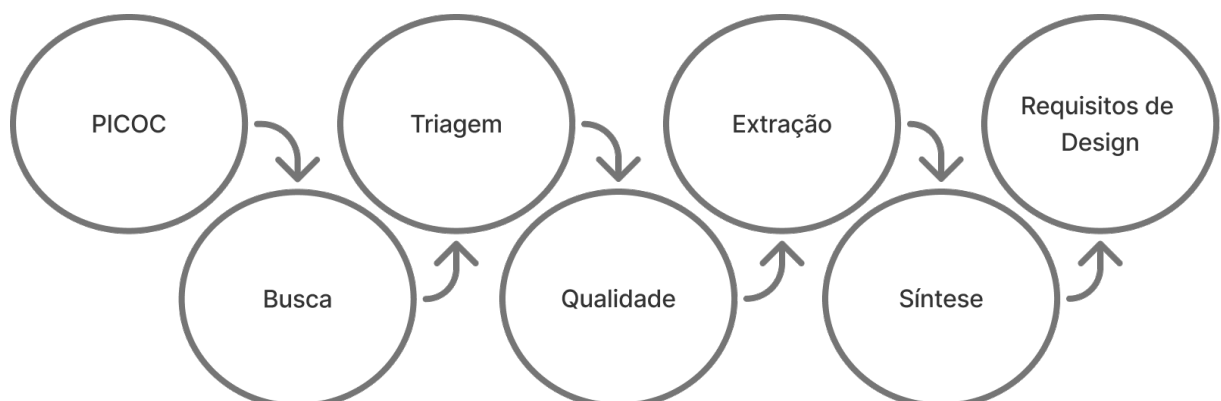


Figura 3 — Fluxo do protocolo da RSL: da definição (questões e PICOC) à busca, seleção, extração e síntese.

Os resultados sintetizados pela RSL são utilizados neste trabalho para orientar a definição de requisitos da expansão (Capítulo 4) e as decisões de design e arquitetura da proposta de solução (Capítulo 5).

Tabela 2 – Delimitação do escopo da RSL via PICOC.

Elemento	Delimitação adotada nesta RSL
P (Population)	Projetos e sistemas de ciência cidadã e/ou crowdsourcing, bem como seus participantes (voluntários/usuários), em que a contribuição humana ocorre por meio de tarefas (p. ex., classificação, rotulagem, validação, coleta).
I (Intervention)	Intervenções de engajamento baseadas em jogos digitais e/ou gamificação: elementos de jogo (mecânicas, dinâmicas, progressão, feedback, recompensas, narrativa, componentes sociais) aplicados ao fluxo de contribuição.
C (Comparison)	Comparações quando reportadas: (i) com vs. sem gamificação/jogo; (ii) comparação entre variantes de design; ou (iii) ausência de comparação formal (estudos descritivos/relatos), registrada como tal na extração.
O (Outcomes)	Resultados reportados sobre (i) engajamento (p. ex., participação, contribuições, retorno, retenção) e/ou (ii) qualidade de dados (p. ex., consistência, confiabilidade, concordância, acurácia, redução de ruído), conforme métricas descritas pelos autores dos estudos.
C (Context)	Contextos em que a contribuição ocorre via sistemas digitais (web/mobile) e tarefas repetidas, incluindo cenários de ciência cidadã em domínios ambientais quando aplicável.

Fonte: Elaboração própria

3.3 Estratégia de busca (bases, strings, período)

A busca bibliográfica desta RSL foi realizada nas bases *ACM Digital Library*, *IEEE Digital Library*, *ISI Web of Science*, *Scopus* e *SpringerLink*, cobrindo o período de **2015 a 2025**.

Foi utilizada a seguinte string de busca como consulta base:

(gamification OR game OR serious game) AND (citizen science OR human computation OR crowdsourcing)

Essa string foi adaptada apenas em aspectos de sintaxe e campos suportados (por exemplo, uso de aspas, curingas e restrições a título/resumo/palavras-chave) para se adequar a cada mecanismo de busca, sem alterar o conteúdo conceitual da consulta.

A Tabela 3 apresenta o número de estudos retornados/importados na busca inicial em cada base. Esses resultados ainda passam por etapas subsequentes (remoção de duplicatas, triagem e elegibilidade), descritas na Seção 3.5.

Tabela 3 – Estudos retornados/importados na busca inicial por base (antes de deduplicação e triagens subsequentes).

Base	Importados (busca inicial)
ACM Digital Library	24
IEEE Digital Library	27
ISI Web of Science	72
Scopus	98
SpringerLink	999
Fonte: Elaboração própria a partir da documentação da RSL	

3.4 Critérios de inclusão/exclusão e avaliação de qualidade

Esta seção descreve os critérios de inclusão e exclusão adotados na RSL e o procedimento de avaliação de qualidade aplicado aos estudos elegíveis. Esses critérios operacionalizam o escopo definido pelo PICOC (Seção 3.2) e estruturam a triagem dos resultados obtidos na busca (Seção 3.3).

3.4.1 Critérios de inclusão

Um estudo foi incluído quando atendia simultaneamente aos critérios abaixo:

- **IC1 — Relevância ao tema:** o estudo aborda ciência cidadã e/ou crowdsourcing com participação de voluntários/usuários em tarefas de contribuição (p. ex., classificação, rotulagem, validação, coleta).
- **IC2 — Intervenção de engajamento:** o estudo descreve uma intervenção baseada em gamificação e/ou jogo digital (incluindo jogos sérios, abordagens *gameful* ou mecanismos inspirados em jogos) aplicada ao processo de contribuição.
- **IC3 — Descrição suficiente:** o estudo apresenta informações suficientes para extração de dados sobre (i) contexto e participantes, (ii) intervenção (elementos de design/mecânicas) e (iii) algum tipo de resultado/observação reportada (engajamento e/ou qualidade), mesmo que qualitativa.
- **IC4 — Recorte temporal e tipo de publicação:** publicado entre 2015 e 2025, em veículo acadêmico (p. ex., conferência, periódico) indexado nas bases consultadas.
- **IC5 — Idioma:** publicado em inglês.

3.4.2 Critérios de exclusão

Um estudo foi excluído se atendesse a qualquer um dos critérios abaixo:

- **EC1 — Fora do escopo (sem ciência cidadã/crowdsourcing):** o estudo trata de gamificação/jogos em contexto não relacionado a contribuição voluntária/crowdsourcing.
- **EC2 — Fora do escopo (sem intervenção de jogo/gamificação):** o estudo discute ciência cidadã/crowdsourcing, mas não apresenta intervenção baseada em gamificação/jogo.
- **EC3 — Tipo de publicação:** resumos estendidos sem conteúdo suficiente, pôsteres sem descrição metodológica, editoriais, chamadas, tutoriais, slides, patentes e literatura não revisada por pares (a menos que incluída explicitamente no protocolo).
- **EC4 — Duplicatas:** registros duplicados entre bases (mantendo-se a versão mais completa).
- **EC5 — Texto indisponível:** texto completo indisponível para leitura/extração, quando necessário para decisão.
- **EC6 — Fora do período/idioma:** fora de 2015–2025 ou em idioma não contemplado no protocolo.

3.4.3 Avaliação de qualidade dos estudos (*Quality Assessment*)

Após a elegibilidade, os estudos incluídos passaram por uma avaliação de qualidade, com o objetivo de caracterizar o nível de detalhe e a robustez dos resultados reportados.

A avaliação foi baseada em um checklist de critérios, com pontuação por item: (0/0,5/1). A soma dos itens gera um escore total por estudo, utilizado para contextualizar a evidência sintetizada na Seção 3.6.

Os critérios de qualidade considerados foram:

- **QA1 — Clareza do contexto e objetivo:** o estudo descreve claramente o problema, o domínio e o tipo de tarefa (o que os participantes fazem).
- **QA2 — Descrição da intervenção:** a intervenção de gamificação/jogo é descrita com detalhes suficientes (mecânicas/elementos, fluxo, feedback, regras) para permitir entendimento e comparação.
- **QA3 — Desenho do estudo e participantes:** há descrição do desenho (p. ex., experimento, estudo de campo, estudo longitudinal), perfil e número de participantes (quando aplicável).
- **QA4 — Medidas e métricas:** o estudo define como mediu engajamento e/ou qualidade (métricas, instrumentos, logs, questionários, etc.).

- **QA5 — Resultados e análise:** resultados são apresentados de forma clara e com análise apropriada ao desenho do estudo.
- **QA6 — Limitações e ameaças á validade:** o estudo discute limitações relevantes (viés, generalização, duração, etc.).
- **QA7 — Reprodutibilidade mínima:** o estudo fornece detalhes suficientes (plataforma, dados, materiais ou descrição do procedimento) para que o método seja compreendido e, em princípio, replicável.

Tabela 4 – Checklist de avaliação de qualidade aplicado aos estudos incluídos.

Item	Pergunta de qualidade
QA1	O contexto, o domínio e o objetivo do estudo estão claramente descritos?
QA2	A intervenção de jogo/gamificação está descrita com detalhes suficientes para entendimento e comparação?
QA3	O desenho do estudo e os participantes (perfil e quantidade, quando aplicável) são descritos?
QA4	As métricas/instrumentos usados para avaliar engajamento e/ou qualidade são definidos?
QA5	Os resultados são apresentados com análise apropriada ao desenho do estudo?
QA6	O estudo discute limitações e/ou ameaças á validade?
QA7	Há informação suficiente para reprodutibilidade mínima (procedimento/plataforma/materiais)?

3.5 Processo de seleção (PRISMA)

Esta seção descreve o processo de seleção dos estudos da RSL e apresenta estatísticas descritivas do conjunto final incluído. Para relatar a seleção de forma padronizada, adotamos a estrutura PRISMA, que organiza o fluxo em etapas (identificação, triagem, elegibilidade e inclusão). (American Journal Experts 2023)

Na etapa de identificação, foram importados 1220 registros das bases consultadas (ACM: 24; IEEE: 27; Web of Science: 72; Scopus: 98; SpringerLink: 999).

Em seguida, foi realizada uma triagem inicial por título e resumo, com aplicação dos critérios de inclusão/exclusão definidos na Seção 3.4. Como resultado dessa triagem, 40 registros foram encaminhados para leitura em texto completo.

Na etapa de elegibilidade, os registros encaminhados foram consolidados e deduplicados, resultando em 37 estudos únicos para leitura em texto completo e avaliação de qualidade. Ao final desse processo, 14 estudos compuseram o conjunto final incluído na síntese.

Os quantitativos detalhados de exclusão por etapa (por exemplo, quantos registros foram removidos como duplicatas no conjunto total e quantos foram excluídos na triagem por título/resumo) não foram preservados no repositório de triagem do grupo; por isso,

esta monografia reporta apenas os totais consolidados acima, evitando inferências não verificáveis.

3.5.1 Estudos incluídos

A Tabela 5 lista os estudos incluídos na síntese final.

Tabela 5 – Artigos incluídos na RSL (2015–2025) após triagem PRISMA e aplicação dos critérios PICOC

Artigo	Ano
CEDAR: An Augmented Reality Mobile Application Using a Participatory Design Framework for Citizen Science Data Sensing	2024
Serious games and citizen science; from parallel pathways to greater synergies	2023
Data-Driven Classification of Human Movements in Virtual Reality-Based Serious Games: Preclinical Rehabilitation Study in Citizen Science	2022
Gamification of Crowd-Driven Environment Design	2020
Gamified emissions through the wisdom of crowds	2021
Project Kappa: An augmented-reality based sensor data crowdsourcing platform for environmental monitoring	2021
A crowdsourcing-based game for land cover validation	2017
ThePlantGame: Actively Training Human Annotators for Domain-specific Crowdsourcing	2016
Crowdsourcing mobile content through games: an analysis of contribution patterns	2016
Engaging Citizens in Environmental Monitoring via Gaming	2018
Join the Fold: Video Games, Science Fiction, and the Refolding of Citizen Science	2023
Gamification for Mobile Crowdsourcing Applications: An Example from Flood Protection	2019
Sensified Gaming – Design Patterns and Game Design Elements for Gameful Environmental Sensing	2016
Crowdsourcing of labeling image objects: an online gamification application for data collection	2023

Fonte: Elaboração própria a partir dos estudos selecionados na RSL.

Observação: a Tabela 5 lista os estudos incluídos sem nenhuma ordenação.

3.6 Síntese dos resultados e implicações

Esta seção sintetiza os achados da Revisão Sistemática da Literatura (RSL) a partir do conjunto final de estudos incluídos (Tabela 5). O objetivo é organizar, de forma descritiva, os padrões observados nos trabalhos analisados e registrar implicações de alto nível que orientam a etapa seguinte deste trabalho: a definição de requisitos e métricas para a expansão proposta

3.6.1 Abordagens adotadas nos estudos: jogo, gamificação ou combinação

Os estudos incluídos adotam abordagens que variam entre (i) jogos completos, (ii) gamificação de uma atividade existente e (iii) combinações híbridas. A Figura 4 resume essa distribuição a partir da codificação realizada na RSL.

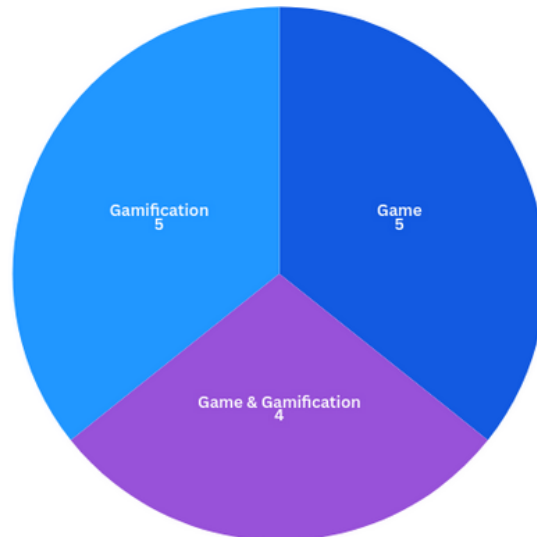


Figura 4 – Abordagens adotadas nos 14 estudos (jogo completo, gamificação ou combinação) — base para decisões de design do ForestEyes

Fonte: Elaboração própria com base na codificação dos artigos da RSL.

3.6.2 Elementos recorrentes de design reportados na literatura

De forma geral, os trabalhos reportam o uso de elementos recorrentes associados a engajamento, como progressão e metas (p. ex., missões e níveis), recompensas e feedback (p. ex., pontos e *badges*), componentes sociais (p. ex., rankings), além de estratégias de *onboarding* e tutoriais.

3.6.3 Escala e tipos de interação avaliados

Os estudos analisados variam em escala (número de participantes) e no desenho empírico reportado. A Figura 5 apresenta a distribuição dos estudos por número de participantes, conforme extraído e organizado durante a RSL.

Além disso, a literatura inclui diferentes tipos de interação e tarefa (por exemplo, classificação, cliques e outras ações), o que ajuda a contextualizar a variedade de formatos usados para engajar participantes em cenários de participação distribuída. A Figura 6 resume os tipos de interação predominantes reportados nos estudos incluídos.

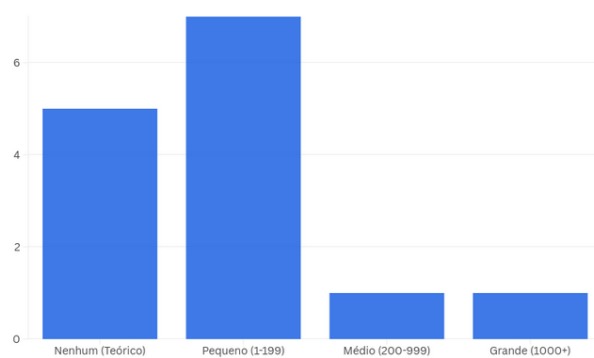


Figura 5 – Distribuição dos estudos por número de participantes — indicativo da escala típica dos experimentos em cidadania científica

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados extraídos dos artigos.

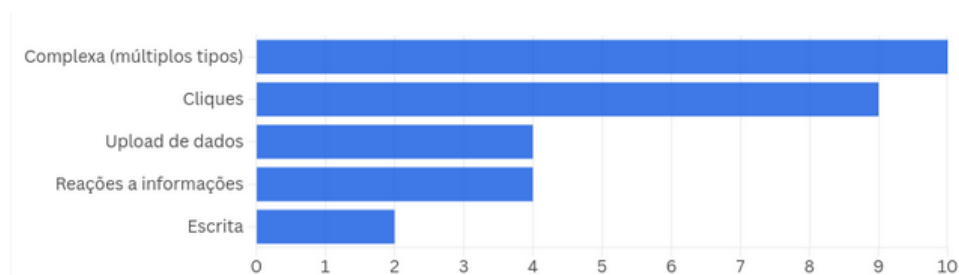


Figura 6 – Tipos de interação predominantes nos estudos analisados (cliques, classificação, uploads e outros)

Fonte: Elaboração própria com base na codificação das tarefas reportadas na literatura.

3.6.4 Resultados reportados e lacunas

Os estudos reportam resultados associados a engajamento e, em alguns casos, a aspectos de desempenho/qualidade conforme as definições adotadas em cada trabalho. Entretanto, a heterogeneidade de contextos, métricas e desenhos de avaliação limita comparações diretas e dificulta extrair conclusões universalmente generalizáveis apenas a partir do conjunto analisado.

3.6.5 Encaminhamento para a expansão

Em síntese, a RSL fornece um panorama de abordagens e elementos de design usados para engajamento em contextos relacionados a participação distribuída, além de evidenciar diversidade de métodos e métricas reportadas. A partir desses achados, o próximo capítulo formaliza objetivos, requisitos e métricas de sucesso da expansão proposta neste trabalho, respeitando as restrições definidas para o ForestEyes e para a camada de engajamento a ser projetada.

4 Requisitos da expansão

4.1 Objetivos de engajamento

Esta seção define os objetivos de engajamento da expansão proposta para o ForestEyes. A expansão consiste em uma camada externa de gamificação que reapresenta ao participante a mesma unidade de tarefa do sistema atual (segmento destacado + escolha entre classes), preservando a tarefa científica e a lógica de coleta/agregação do fluxo de processamento existente.

- **OE-1 (Retenção):** aumentar a probabilidade de retorno do participante após o primeiro contato com o sistema, estimulando participação recorrente em múltiplas sessões ao longo do tempo.
- **OE-2 (Volume de contribuição):** aumentar o número de tarefas concluídas por participante em um período de uso, de modo a ampliar a quantidade de contribuições coletadas pelo sistema.
- **OE-3 (Conclusão de sessão):** reduzir abandono durante o uso (por exemplo, após poucas tarefas), promovendo continuidade dentro de uma mesma sessão por meio de metas de curto prazo e feedback de progresso.
- **OE-4 (*Onboarding* e compreensão da tarefa):** facilitar o entendimento do que deve ser feito em cada tarefa (o que está sendo classificado e como interagir), reduzindo dúvidas operacionais e barreiras iniciais para participantes não especialistas.
- **OE-5 (Experiência percebida):** melhorar a experiência subjetiva de participação (clareza, motivação e sensação de progresso), de modo a tornar a atividade mais atraente sem exigir mudanças no sistema científico subjacente.

Em síntese, a expansão deve transformar a interação com a tarefa atual em uma experiência mais convidativa e sustentada, mantendo a compatibilidade com o processo de contribuição já estabelecido no ForestEyes.

4.2 Requisitos funcionais

Esta seção define os requisitos funcionais da expansão proposta. Os requisitos descrevem as funcionalidades mínimas que a camada gamificada deve oferecer para operacionalizar os objetivos de engajamento definidos na Seção 4.1. A expansão é concebida como uma

camada externa que reapresenta ao participante a unidade de tarefa do sistema atual, preservando a estrutura de decisão (segmento destacado + escolha entre classes) e mantendo compatibilidade com o fluxo de processamento existente.

Para reduzir ambiguidade e facilitar validação futura, cada requisito é formulado de modo verificável (isto é, é possível inspecionar se foi implementado). A Tabela 6 organiza os requisitos propostos e indica quais objetivos (OE-1 a OE-5) cada requisito atende.

Tabela 6 – Requisitos funcionais e mapeamento para os objetivos de engajamento.

ID	Requisito (descrição operacional)	Objetivos
RF-01	Permitir identificação persistente do participante entre sessões, possibilitando associar progresso e histórico ao mesmo usuário.	OE-1, OE-2, OE-5
RF-02	Apresentar a tarefa equivalente ao ForestEyes(imagem/recorte com segmento destacado e opções de resposta correspondentes às classes do sistema atual) e coletar uma escolha ao final.	OE-2, OE-4
RF-03	Oferecer um fluxo básico de sessão (início, execução de múltiplas tarefas e encerramento), permitindo que o participante realize uma sequência de tarefas.	OE-2, OE-3
RF-04	Disponibilizar um tutorial curto explicando (i) o objetivo geral da atividade, (ii) o que o participante vê na tela (segmento destacado) e (iii) como registrar uma resposta.	OE-4, OE-5
RF-05	Exibir feedback de progresso relacionado ao uso (por exemplo, tarefas concluídas na sessão e/ou progresso em metas) de modo visível durante a interação.	OE-3, OE-5
RF-06	Permitir definir e exibir metas de curto prazo relacionadas à continuidade (por exemplo, completar N tarefas), atualizando o progresso conforme o participante interage.	OE-3, OE-5
RF-07	Manter um estado de progressão persistente associado ao participante (por exemplo, nível/experiência ou trilhas), atualizado a partir da participação (por exemplo, tarefas concluídas).	OE-1, OE-2, OE-5
RF-08	Registrar e exibir marcos de participação (por exemplo, “primeira sessão concluída”, “ N tarefas concluídas”), visíveis no perfil do participante.	OE-1, OE-3, OE-5
RF-09	Disponibilizar uma tela de perfil/histórico com informações básicas de progresso (por exemplo, estado de progressão, marcos obtidos e volume de participação).	OE-1, OE-5
RF-10	Disponibilizar conteúdo de contexto sobre o projeto (por exemplo, “sobre” e instruções), acessível durante o uso sem interromper o fluxo principal da tarefa.	OE-5
RF-11	Registrar eventos mínimos de uso para análise posterior (por exemplo, início/fim de sessão, tarefas concluídas, conclusão do tutorial, abandono de sessão), associados ao identificador do participante e ao tempo.	OE-1, OE-2, OE-3, OE-4, OE-5

Fonte: Elaboração própria.

A expansão preserva a tarefa científica do ForestEyes no nível da interação (segmento destacado + escolha entre classes), reposicionando a experiência do participante por meio de progressão, metas e feedback de uso, sem exigir mudanças no fluxo de processamento existente.

4.3 Requisitos não funcionais

Esta seção define requisitos não funcionais (RNF) da expansão proposta. Os RNFs descrevem propriedades e restrições de qualidade do sistema (por exemplo, consistência, rastreabilidade e privacidade) necessárias para que a camada gamificada opere de forma compatível com o ForestEyes atual, sem alterar o significado da contribuição científica.

A Tabela 7 resume os requisitos não funcionais propostos.

Em síntese, estes requisitos não funcionais estabelecem restrições e propriedades necessárias para manter compatibilidade com o ForestEyes e suportar a experiência proposta pela camada gamificada, preservando a tarefa de classificação do ForestEyes.

Tabela 7 – Requisitos não funcionais da camada gamificada.

ID	Requisito não funcional (descrição operacional)
RNF-01	Compatibilidade semântica da tarefa: a camada deve preservar a equivalência da tarefa apresentada ao participante em relação ao ForestEyes (segmento destacado + escolha entre classes), sem introduzir novas classes ou redefinir o significado das opções de resposta.
RNF-02	Rastreabilidade básica: para cada resposta registrada, a camada deve manter associação entre (i) participante, (ii) identificação da tarefa/segmento e (iii) classe selecionada, de modo a permitir auditoria posterior do fluxo de contribuição.
RNF-03	Integridade de registro: eventos e respostas registrados pela camada devem ser armazenados de modo a evitar perda silenciosa (por exemplo, com confirmação de escrita e tratamento de falhas), garantindo que sessões e contribuições possam ser reconstruídas a partir dos logs.
RNF-04	Consistência entre sessões: o estado do participante (por exemplo, progresso e marcos) deve persistir entre sessões e ser recuperável de forma determinística ao reabrir a aplicação.
RNF-05	Privacidade por minimização: a camada deve coletar e armazenar apenas os dados estritamente necessários para identificação, progresso e avaliação de uso, evitando o armazenamento de informações pessoais desnecessárias. (National Institute of Standards and Technology (NIST) 2024)
RNF-06	Controle de acesso a dados: dados de participação e logs devem ser acessíveis apenas a perfis autorizados (por exemplo, equipe de pesquisa/desenvolvimento), com separação entre dados de uso e conteúdo exibido ao participante.
RNF-07	Portabilidade dos registros: a camada deve permitir exportar logs e dados de uso em formato estruturado (por exemplo, CSV/JSON) para apoiar o plano de avaliação (Capítulo 7).
RNF-08	Disponibilidade operacional: a camada deve tolerar interrupções comuns (por exemplo, fechamento do navegador/app) sem corromper o estado do participante, preservando ao menos o progresso confirmado até o último evento persistido.
RNF-09	Usabilidade mínima: as telas essenciais (tutorial, tarefa, progresso e perfil) devem ser navegáveis e compreensíveis sem instruções externas, com linguagem consistente e indicação clara de ações disponíveis.
RNF-10	Desempenho percebido: a aplicação deve manter tempos de resposta adequados para navegação e troca de tarefas (por exemplo, carregamento e submissão), evitando travamentos que interrompam o fluxo de sessão.

Fonte: Elaboração própria.

4.4 Indicadores de avaliação

Esta seção define indicadores observáveis para avaliar o uso da camada gamificada. O objetivo é explicitar o que será registrado (via logs) e o que poderá ser analisado no plano de avaliação.

Tabela 8 – Indicadores observáveis para avaliação do uso da camada gamificada.

ID	Indicador	Como observar/registrar
IA-01	Participação por sessão (volume)	Número de tarefas concluídas por sessão, obtido a partir do log de tarefas completadas.
IA-02	Frequência de uso	Número de sessões por participante em um intervalo de tempo definido no Cap. 7.
IA-03	Retorno do participante	Proporção de participantes que voltam após a primeira sessão (por exemplo, retorno em D+1 e/ou D+7), com base em timestamps de sessão.
IA-04	Duração de sessão	Tempo entre início e fim de sessão, registrado por eventos de início/fim.
IA-05	Conclusão do tutorial	Evento binário (concluiu/não concluiu) e tempo até conclusão, para verificar se a camada é compreendida sem suporte externo.

Fonte: Elaboração própria.

5 Proposta de solução: camada gamificada

5.1 Visão geral da solução

A solução proposta consiste em uma camada gamificada externa ao ForestEyes atual, cujo papel é reorganizar a experiência do participante (onboarding, metas, feedback e progressão) sem alterar o significado da contribuição científica. Em termos de escopo, a camada é responsável por: (1) conduzir um fluxo de sessão coeso, (2) reapresentar a unidade de tarefa ao participante, (3) coletar e registrar respostas e eventos de uso com rastreabilidade e (4) manter estado persistente de progresso associado a um identificador de participante, conforme os requisitos funcionais (RF) e não funcionais (RNF) definidos no Capítulo 4.

Premissas e limites

A proposta assume as seguintes premissas: (i) a camada não introduz novas classes nem re-define as opções de resposta (compatibilidade semântica); (ii) a unidade de tarefa exibida ao participante permanece equivalente ao ForestEyes; e (iii) a comunicação com o fluxo de processamento atual ocorre por um mecanismo de integração (por exemplo, API/serviço), preservando os identificadores necessários para auditoria (participante, tarefa/segmento e classe).

Fluxo de sessão (macrofluxo)

O uso típico da camada é organizado como um fluxo de sessão, ilustrado na Figura 7. Em linhas gerais, o participante inicia a sessão, realiza o tutorial quando necessário (por exemplo, no primeiro uso ou quando há mudanças relevantes), e então entra em um loop de tarefas onde cada iteração consiste em: (a) obtenção de uma tarefa do fluxo de processamento atual, (b) apresentação do segmento destacado e classes disponíveis, (c) coleta da escolha do participante e (d) persistência/registo de respostas e eventos associados. Por fim, o participante pode encerrar a sessão, permitindo o registro do término e a apresentação de um resumo de uso (por exemplo, tarefas concluídas, progresso e metas alcançadas), o que operacionaliza requisitos ligados a conclusão de sessão, feedback e avaliação. (p. ex., RF-03, RF-05, RF-06, RF-11). Todas estas operações geram logs.

Ciclo de vida do participante

Além do fluxo intra-sessão, a camada precisa representar estados de participação persistentes ao longo do tempo, pois os objetivos de engajamento dependem de retorno e uso

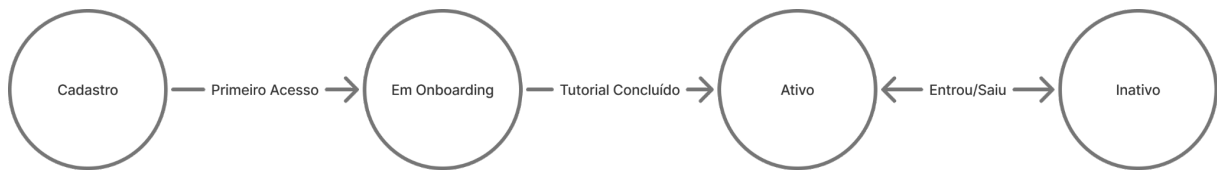


Figura 7 – Fluxo de sessão na camada gamificada (visão de alto nível).

Fonte: Elaboração própria

recorrente. A Figura 8 apresenta o ciclo de vida do participante na camada proposta. O estado *Cadastro/Identificação* representa a criação ou associação de um identificador persistente (RF-01), minimizando dados pessoais quando aplicável (RNF-05). Em seguida, o estado *Em Onboarding* reflete o período em que o participante completa o tutorial e se familiariza com a tarefa (RF-04), após o qual passa a *Ativo*. O estado *Inativo* representa ausência de uso por um intervalo definido; o retorno do participante permite transição de volta para *Ativo*. Essas transições são relevantes para operacionalizar retenção e retorno (OE-1), e devem ser observáveis por meio de logs e timestamps (RF-11; indicadores do Capítulo 4).

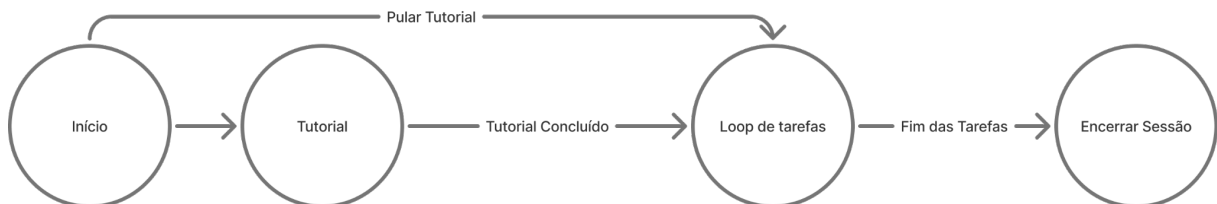


Figura 8 – Ciclo de vida do participante na camada gamificada (alto nível).

Fonte: Elaboração própria

Componentes conceituais da solução

Em nível conceitual, a camada gamificada pode ser entendida como a composição de quatro responsabilidades principais, que serão detalhadas nas seções seguintes: (i) **Interface e fluxo de sessão** (início, tutorial, loop e encerramento); (ii) **Mecanismo de progresso e metas** (estado persistente, marcos e feedback); (iii) **Telemetria e logs** (eventos mínimos para avaliação e auditoria); e (iv) **Integração com o fluxo de processamento do ForestEyes** (obter tarefas e enviar respostas com rastreabilidade). Essa decomposição orienta a arquitetura de software, o modelo de dados e os fluxos de usuário apresentados a seguir.

5.2 Arquitetura de software (componentes e integrações)

Esta seção descreve a arquitetura de software proposta para a camada gamificada, com foco em (i) componentes e responsabilidades e (ii) integrações com o ForestEyes no estado atual.

5.2.1 Visão geral da arquitetura

A solução adota uma decomposição em três blocos principais: (i) **Aplicação Cliente** (interface e experiência do participante), (ii) **Backend da Camada Gamificada** (estado, progressão e telemetria) e (iii) **Interface de Integração com o ForestEyes** (obtenção de tarefas e submissão de respostas). A Figura 9 ilustra essa visão em alto nível.

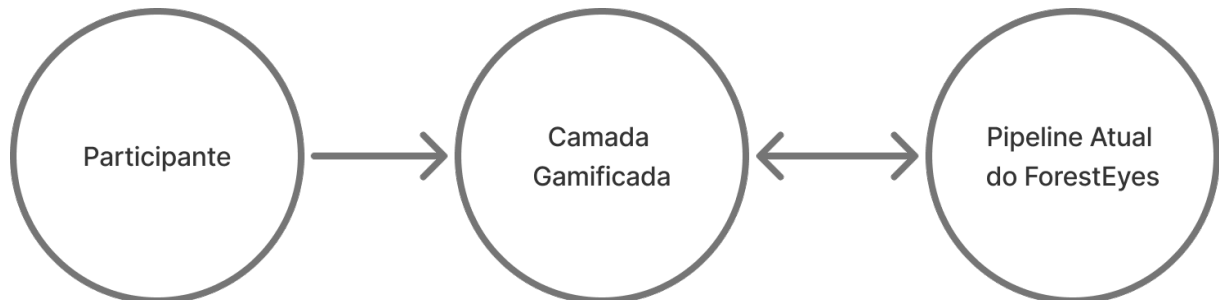


Figura 9 – Arquitetura de alto nível da camada gamificada: aplicação cliente, backend da camada e interface de integração com o ForestEyes.

Fonte: Elaboração própria

5.3 Aplicação Cliente (Web/Mobile).

Concentra a experiência do participante: onboarding, tutorial, loop de tarefas, feedback de progresso e telas de perfil/resumo. Do ponto de vista técnico, o cliente: (a) solicita uma tarefa pronta para exibição; (b) exibe a imagem/recorte com o segmento destacado e as opções de classe; (c) coleta a escolha do participante; e (d) solicita o registro da resposta e dos eventos mínimos de uso (início/fim de sessão, conclusão de tutorial etc.).

5.4 Backend da Camada Gamificada.

Centraliza o estado persistente e a lógica de progressão, metas e marcos, além do registro de eventos e respostas. Ele também controla o fluxo de sessão e aplica regras mínimas de integridade (por exemplo, confirmação de escrita e idempotência de submissões, quando aplicável).

5.5 Módulo de Identidade e Sessão (identidade mínima).

A proposta assume identidade mínima baseada em `participant_id` pseudônimo persistido localmente no cliente, com possibilidade de emissão de um código de recuperação opcional para migração de dispositivo. Nesse modelo, não se exige e-mail/senha, e o participante “loga” ao reabrir a aplicação no mesmo dispositivo; caso troque de dispositivo, pode informar o código para restaurar o identificador e o progresso. (National Institute of Standards and Technology (NIST) 2024; Proxima Beta Pte. Ltd. 2025)

5.6 Módulo de Progressão e Metas.

Mantém contadores e estados de progressão (por exemplo, níveis, experiência e metas de curto prazo) atualizados a partir de eventos de uso (tarefas concluídas, sessões concluídas, marcos alcançados). O objetivo é permitir feedback de progresso consistente durante a sessão e ao longo do tempo.

5.7 Módulo de Telemetria e Logs.

Registra eventos mínimos de uso e auditoria do fluxo (sessões, tarefas exibidas/concluídas, tutorial, abandono e tempos).

5.7.1 Integração com o ForestEyes: obtenção de tarefas e submissão de respostas

A integração é modelada por duas operações centrais:

- **Obter tarefa (*pull*).** A camada requisita uma tarefa e recebe um objeto contendo: (i) recursos visuais necessários para exibição (imagem/recorte e máscara/contorno do segmento, ou referência para obtê-los), (ii) as opções de classe e (iii) identificadores de referência (por exemplo, tarefa/segmento) para auditoria e submissão posterior.
- **Enviar resposta (*push*).** Após a escolha do participante, a camada envia de volta a classe selecionada, preservando a associação com os identificadores da tarefa/segmento recebidos no *pull*.

A Figura 10 apresenta a sequência típica de interação no loop de tarefas.

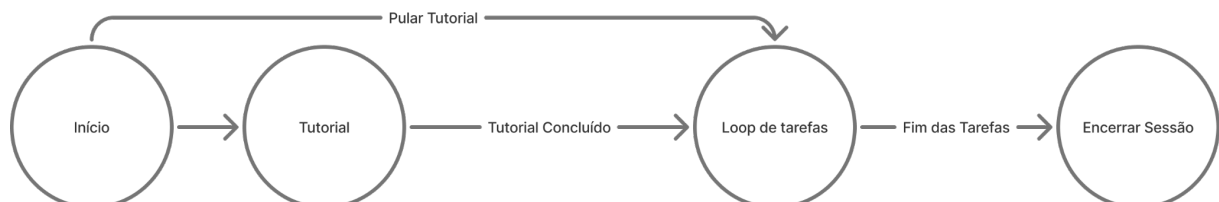


Figura 10 – Sequência típica no loop de tarefas: cliente solicita tarefa, exibe, coleta escolha e registra/submete resposta com rastreabilidade.

Fonte: Elaboração própria

5.8 Modelo de dados e APIs (alto nível)

Esta seção descreve, em alto nível, (i) o modelo de dados mínimo mantido pela camada gamificada e (ii) as interfaces de API necessárias para sustentar o fluxo descrito na Seção 5.2.

O objetivo é explicitar quais artefatos são persistidos e quais informações trafegam entre cliente, backend da camada e integração com o ForestEyes, preservando rastreabilidade entre participante, tarefa/segmento e classe selecionada.

5.8.1 Entidades mínimas e relacionamentos

A camada gamificada mantém um conjunto mínimo de entidades para suportar sessão, progresso e auditoria:

- **Participante:** representa um identificador pseudônimo persistente (*participant_id*) e o estado associado (ex.: nível, XP, marcos).
- **Sessão:** intervalo de uso delimitado por eventos de início/fim, associado a um participante (*session_id*).
- **Tarefa:** referência ao item obtido, contendo identificadores necessários para submissão e auditoria (*task_ref*, *segment_ref* quando aplicável).
- **Resposta:** registro da escolha do participante para uma tarefa (*answer_class*), vinculado a participante e sessão, com *timestamp*.
- **Evento:** telemetria mínima de uso (tutorial concluído, tarefa exibida, abandono, etc.), com *timestamp* e metadados compactos.

Em termos de relacionamentos: um participante possui múltiplas sessões; cada sessão possui múltiplas respostas; respostas referenciam tarefas/segmentos; e eventos são associados a participante e, quando pertinente, a uma sessão.

5.8.2 Campos mínimos para rastreabilidade

Para permitir auditoria e exportação, os registros críticos mantêm, no mínimo:

- **Participante:** *participant_id*, *created_at*, estado de progressão (ex.: *level*, *xp*), marcos resumidos.
- **Sessão:** *session_id*, *participant_id*, *started_at*, *ended_at* (quando encerrada), contadores básicos (ex.: tarefas concluídas).
- **Resposta:** *participant_id*, *session_id*, *task_ref*, *segment_ref* (se existir), *answer_class*, *created_at*.
- **Evento:** *participant_id*, *session_id* (opcional), *event_type*, *created_at*, metadados mínimos (ex.: duração no tutorial).

A camada não precisa armazenar dados pessoais; a identificação é pseudônima e voltada a persistir progresso e gerar métricas de uso.

5.8.3 Interfaces de API da camada gamificada

A camada expõe ao cliente um conjunto enxuto de endpoints (ou equivalentes em RPC) para suportar sessão, tarefa, submissão e consulta de progresso. A Tabela 9 lista essas interfaces em alto nível.

Tabela 9 – Interfaces principais expostas pelo backend da camada gamificada (alto nível).

Grupo	Endpoint	Finalidade
Identidade/Sessão	POST <code>/session/start</code>	Iniciar sessão e registrar <i>session_id</i> ; opcionalmente emitir código de recuperação.
Identidade/Sessão	POST <code>/session/end</code>	Encerrar sessão, registrar término e retornar resumo (tarefas concluídas, progresso atualizado).
Tarefas	GET <code>/task/next</code>	Obter próxima tarefa (imagem/recorte + segmento destacado + referências).
Tarefas	POST <code>/task/submit</code>	Registrar resposta (classe escolhida) com rastreabilidade e enviar via integração ao ForestEyes.
Progresso/Perfil	GET <code>/profile</code>	Consultar estado do participante (nível/XP, marcos, histórico resumido).
Telemetria	POST <code>/events</code>	Registrar eventos mínimos (tutorial, abandono, timestamps).
Exportação	GET <code>/export/logs</code>	Exportar logs/entidades em formato estruturado (CSV/JSON) para avaliação.

5.8.4 Exemplos de payload mínimo (endpoints críticos)

A seguir estão exemplos mínimos (ilustrativos) de payload para os endpoints centrais.

5.9 GET `/task/next` (resposta).

Retorna a tarefa pronta para exibição, com referências necessárias para submissão:

```
{ task_ref, segment_ref, image_url, overlay_mask_url, classes:[forest,
non_forest, undefined] }
```

5.10 POST `/task/submit` (requisição).

Envia a escolha do participante vinculada à tarefa:

```
{ participant_id, session_id, task_ref, segment_ref, answer_class, timestamp
}
```

5.11 POST /session/start (resposta).

Retorna *session_id* e, opcionalmente, um código de recuperação:

```
{ participant_id, session_id, recovery_code? }
```

5.11.1 Interface de integração com o Forest Eyes(alto nível)

Do ponto de vista da camada gamificada, o ForestEyes é acessado por uma interface de integração que oferece duas operações: *fetchTask()* e *submitAnswer()*. A implementação concreta pode variar (API própria, fila, adaptação a exportações do Zooniverse, etc.), mas o requisito arquitetural é manter consistência entre o identificador retornado em *fetchTask()* e o usado em *submitAnswer()*.

5.11.2 Eventos mínimos para avaliação e auditoria

Para suportar os indicadores definidos no Capítulo 4 e o plano de avaliação (Capítulo 7), a camada registra eventos mínimos (exemplos):

- *session_start*, *session_end*
- *tutorial_start*, *tutorial_complete*
- *task_shown*, *task_submitted*
- *session_abandon* (encerramento inesperado ou inatividade prolongada)

Cada evento inclui *participant_id*, *timestamp* e, quando aplicável, *session_id* e *task_ref*.

5.11.3 Considerações de cobertura dos requisitos (RF/RNF)

Por fim, relacionamos como as decisões técnicas descritas nas Seções 5.2–5.8 atendem aos requisitos do Capítulo 4, sem repetir referências ao longo de toda a descrição:

- **Identificação persistente e estado entre sessões:** *participant_id* pseudônimo + persistência de progresso (RF-01, RNF-04, RNF-05, RNF-08).
- **Sessão coesa e loop de tarefas:** */session/start*, */task/next*, */task/submit*, */session/end* e sequência de integração (RF-02, RF-03).
- **Tutorial e compreensão:** eventos e telas suportadas por */events* e estado do participante (RF-04, RNF-09).
- **Feedback, metas e progressão:** módulo de progressão, estado no perfil e retorno no encerramento de sessão (RF-05, RF-06, RF-07, RF-08, RF-09).

- **Telemetria e exportação:** modelo de eventos e endpoint de exportação (RF-11, RNF-07).
- **Compatibilidade semântica e rastreabilidade:** classes inalteradas e chaves *task_ref/segment_ref* + *answer_class* (RNF-01, RNF-02).
- **Integridade e controle de acesso:** confirmação de escrita, retentativas controladas e acesso restrito a logs (RNF-03, RNF-06).

5.12 Fluxos de usuário (jornada + telas)

Esta seção descreve os fluxos de interação previstos para a camada gamificada, detalhando a jornada do participante e as telas funcionais mínimas necessárias para sustentar o uso recorrente. O foco não é especificar aspectos visuais de interface, mas sim definir *estados de interação, entradas/saídas, ações do usuário e efeitos no sistema* (persistência, rastreabilidade e registro de eventos).

5.12.1 Conjunto mínimo de telas funcionais

A solução pode ser implementada com um conjunto reduzido de telas/estados, cada uma com responsabilidade clara. Nesta monografia, o termo “tela” é usado no sentido de *estado funcional de interação*, sem compromisso com um design visual específico.

5.12.2 T1 — Identificação / Início

Objetivo. Iniciar o uso e garantir que exista um identificador persistente para associar progresso e histórico ao mesmo participante.

Pré-condições. Nenhuma.

Dados exibidos (mínimos). Ação de iniciar (*Entrar*); indicação de identificação local já existente (quando aplicável); opção de definir um apelido (opcional).

Ações do usuário. Iniciar; (opcional) definir/alterar apelido.

Efeitos no sistema. Criar ou recuperar `participant_id` e iniciar uma sessão (`session_id`).

Eventos/logs (exemplos). `participant_created` (se novo), `participant_loaded` (se existente), `session_started`.

5.12.3 T2 — Tutorial / Onboarding

Objetivo. Explicar o objetivo da atividade e como executar a tarefa, reduzindo barreiras iniciais.

Pré-condições. Sessão iniciada; tutorial não concluído previamente, ou tutorial solicitado pelo usuário.

Dados exibidos (mínimos). Passos curtos: (i) o que é o segmento destacado; (ii) o significado operacional das opções; (iii) como registrar a resposta e avançar.

Ações do usuário. Avançar/voltar; concluir tutorial; sair do tutorial.

Efeitos no sistema. Marcar tutorial como concluído e registrar duração/abandono, se ocorrer.

Eventos/logs (exemplos). `tutorial_started`, `tutorial_step_viewed`, `tutorial_completed`, `tutorial_abandoned`.

5.12.4 T3 — Tarefa (loop principal)

Objetivo. Reapresentar a tarefa equivalente (imagem/recorte com segmento destacado + opções de classe) e coletar a escolha do participante.

Pré-condições. Sessão ativa; tarefa disponível via módulo de integração com o fluxo de processamento do ForestEyes.

Dados exibidos (mínimos). Imagem/recorte; segmento destacado; opções de resposta (p. ex. *floresta*, *não-floresta*, *indefinido*); indicador de progresso da sessão (p. ex. “N tarefas feitas”).

Ações do usuário. Selecionar uma classe; confirmar envio; (opcional) abrir ajuda; (opcional) encerrar sessão.

Efeitos no sistema. Registrar resposta com rastreabilidade (participante, `task_id/segment_id`, classe) e encaminhar a submissão ao módulo de integração, com confirmação/retentativa em caso de falha. Atualizar contadores de sessão e progressão persistente conforme regras definidas.

Eventos/logs (exemplos). `task_requested`, `task_loaded`, `answer_selected`, `answer_submitted`, `answer_persisted`, `integration_error` (se falhar), `task_completed`.

5.12.5 T4 — Progresso e Metas (intra-sessão)

Objetivo. Apresentar feedback de progresso e metas de curto prazo para sustentar continuidade dentro da sessão.

Pré-condições. Sessão ativa (após ao menos uma interação no loop).

Dados exibidos (mínimos). Tarefas concluídas na sessão; meta atual (p. ex. “complete N tarefas”); estado de marcos (p. ex. “primeira sessão”, “N tarefas”).

Ações do usuário. Continuar; ver perfil; encerrar sessão.

Efeitos no sistema. Atualizar/consultar estado persistente e registrar visualização/alcance de metas e marcos.

Eventos/logs (exemplos). `progress_viewed`, `goal_assigned`, `goal_progressed`, `goal_completed`, `milestone_unlocked`.

5.12.6 T5 — Perfil / Histórico

Objetivo. Consolidar informações persistentes do participante (histórico básico), reforçando sensação de progresso e retorno.

Pré-condições. Participante identificado.

Dados exibidos (mínimos). Estado de progressão (p. ex. nível/experiência ou trilha); marcos obtidos; volume acumulado (p. ex. total de tarefas e sessões).

Ações do usuário. Voltar; iniciar/retomar sessão.

Efeitos no sistema. Leitura do estado persistente; (opcional) permitir reset local (fora do escopo mínimo).

Eventos/logs (exemplos). `profile_viewed`.

5.12.7 T6 — Encerramento / Resumo de sessão

Objetivo. Encerrar a sessão de modo explícito, registrando término e apresentando um resumo verificável do uso.

Pré-condições. Sessão ativa.

Dados exibidos (mínimos). Total de tarefas na sessão; duração; meta alcançada (se aplicável); atualização de marcos.

Ações do usuário. Encerrar; iniciar nova sessão.

Efeitos no sistema. Persistir término da sessão e *snapshot* do resumo para auditoria e avaliação posterior.

Eventos/logs (exemplos). `session_ended`, `session_summary_viewed`.

5.12.8 T7 — Sobre / Ajuda (opcional e enxuto)

Objetivo. Disponibilizar contexto do projeto e instruções sem interromper o fluxo principal.

Eventos/logs (exemplos). `about_viewed`, `help_viewed`.

5.12.9 Jornada A: primeiro uso (identificação + tutorial + primeira sessão)

Objetivo. Levar um participante novo do primeiro contato até a realização de uma sequência mínima de tarefas, garantindo compreensão da tarefa e registro auditável.

1. O participante acessa a aplicação e é direcionado para **T1 (Identificação/Início)**.
2. A aplicação cria um `participant_id` persistente (ou recupera, se já existir) e inicia uma sessão (`session_id`), registrando `session_started`.
3. Como é o primeiro uso, o participante é encaminhado para **T2 (Tutorial/Onboarding)**.

4. O tutorial apresenta, de forma curta, o que é o segmento destacado e como escolher entre as classes; ao final, registra `tutorial_completed`.
5. Ao concluir o tutorial, o participante entra em **T3 (Tarefa)**; a aplicação requisita uma tarefa ao módulo de integração e registra `task_loaded`.
6. O participante seleciona uma classe e confirma; a aplicação registra a resposta com rastreabilidade (participante, `task_id/segment_id`, classe) e submete ao módulo de integração, registrando `answer_submitted` e confirmação de persistência (p. ex. `answer_persisted`).
7. A aplicação atualiza contadores da sessão e, se aplicável, atualiza progressão/marcos, registrando `task_completed`.
8. Opcionalmente, o participante acessa **T4 (Progresso/Metas)** para feedback de continuidade e retorna ao loop de tarefas (volta ao Passo 5).
9. Ao encerrar, o participante segue para **T6 (Resumo)** e finaliza a sessão, registrando `session_ended`.

Resultados observáveis. Conclusão do tutorial (binário), primeira sessão iniciada e encerrada, e pelo menos uma resposta registrada com rastreabilidade.

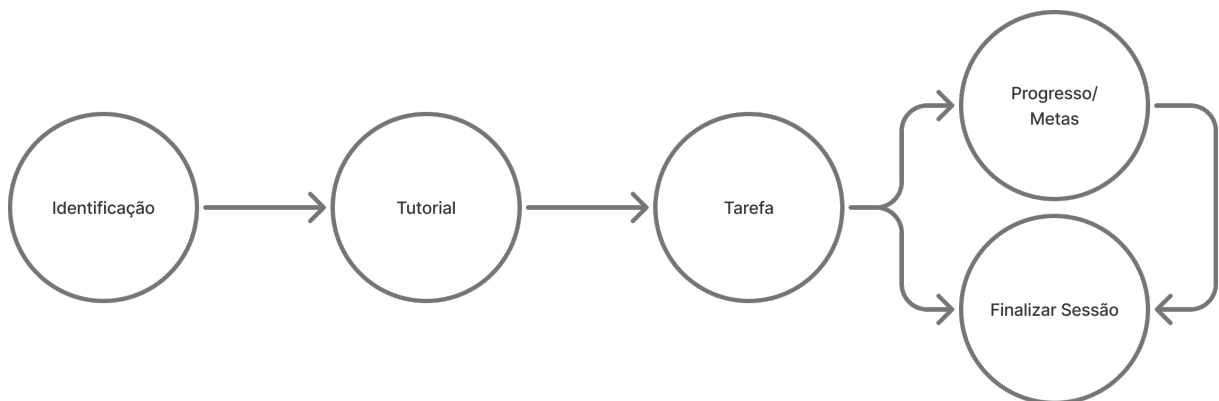


Figura 11 – Visão geral da jornada A

Fonte: Elaboração própria

5.12.10 Jornada B: uso recorrente (retorno, metas e loop de tarefas)

Objetivo. Suportar participação recorrente, com continuidade dentro da sessão (metas curtas) e reforço do estado persistente.

1. O participante retorna e acessa **T1**, onde a aplicação recupera o `participant_id` existente e inicia nova sessão (`session_started`).
2. Se o tutorial já foi concluído, o participante segue diretamente ao loop em **T3** (ou acessa **T2** por opção).

3. A aplicação requisita tarefa ao módulo de integração (`task_loaded`) e o participante submete respostas repetidamente, com registro de `task_completed` a cada iteração.
4. Em intervalos definidos (p. ex. a cada 3 tarefas), o participante é exposto a **T4**, onde vê progresso e meta de curto prazo; ao completar a meta, registra-se `goal_completed` e, se aplicável, `milestone_unlocked`.
5. O participante pode acessar **T5 (Perfil)** para ver histórico e retornar ao loop.
6. Ao encerrar, passa por **T6** e finaliza a sessão (`session_ended`).

Resultados observáveis. Número de sessões por participante; tarefas por sessão; retorno após o primeiro uso (e.g. em D+1/D+7, conforme plano de avaliação); duração de sessão e conclusão de metas/marcos a partir dos logs.

5.12.11 Jornada C: interrupção e retomada (resiliência operacional)

Objetivo. Garantir que interrupções comuns (fechamento do navegador/app, perda de conexão) não corrompam estado nem causem perda silenciosa de registros, preservando ao menos o progresso confirmado.

1. Durante o loop em **T3**, pode ocorrer interrupção antes de uma submissão ser confirmada (p. ex. queda de conexão).
2. A aplicação deve distinguir dois casos:
 - a) **Resposta confirmada/persistida:** a tarefa é marcada como concluída e contabilizada.
 - b) **Resposta não confirmada:** a tarefa não é contabilizada como concluída e o evento de falha é registrado (p. ex. `integration_error`), podendo haver retentativa.
3. Ao reabrir a aplicação, o participante é recuperado em **T1** e uma nova sessão é iniciada.
4. O estado persistente (progresso e marcos) é restaurado e o participante retorna ao loop em **T3** para continuar contribuindo.

Resultados observáveis. Ausência de contabilização sem persistência confirmada e capacidade de reconstrução do uso a partir dos logs.

5.12.12 Vínculo com indicadores de avaliação

Os fluxos descritos estabelecem um conjunto mínimo implementável que permite observar indicadores de uso e engajamento definidos no Capítulo 4 (por exemplo, tarefas por sessão, frequência de sessões, retorno após primeiro uso, duração de sessão e conclusão do tutorial). Além disso, a rastreabilidade das respostas (associação entre participante, tarefa/segmento e classe) permite que a camada opere como *wrapper* do ForestEyes sem alterar o significado científico da contribuição, mantendo os artefatos necessários para auditoria e análise posterior.

5.13 Mecânicas do jogo (progressão, feedback, motivação)

Esta seção descreve as mecânicas da camada gamificada proposta: como a aplicação estrutura a participação em sessões, como traduz contribuições em progressão persistente e como oferece feedback ao participante sem revelar “respostas corretas” em tempo real. As mecânicas aqui definidas se aplicam à mesma unidade de tarefa do sistema atual (segmento destacado + escolha entre classes), preservando o significado científico da contribuição.

5.13.1 Loop principal de interação (unidade jogável)

A interação é organizada como um loop repetitivo de curta duração, alinhado a micro-tarefas. Cada iteração contém: (1) obter tarefa, (2) decidir classe, (3) enviar resposta e (4) receber feedback de uso (confirmação + atualização de progresso/metap). O loop é projetado para sustentar sessões com múltiplas tarefas e reduzir abandono por falta de direção imediata.

5.13.2 Progressão persistente baseada em participação

A progressão do participante é calculada primariamente por participação, evitando depender de “acerto” imediato. A proposta combina três mecanismos: (i) experiência (XP) e níveis; (ii) marcos (conquistas) disparados por eventos observáveis; e (iii) histórico visível no perfil do participante, agregando nível, XP, marcos e volume de contribuição.

5.13.3 Metas de curto prazo

Para sustentar a sessão, o sistema define metas curtas e explícitas (por exemplo, “complete N tarefas”), visíveis ao participante e atualizadas por eventos de uso.

Tabela 10 – Progressão e gatilhos (exemplos)

Mecanismo	Como é calculado	Quando atualiza	O que aparece ao participante
XP	Soma de XP por tarefa concluída	A cada submissão confirmada	“+XP” e barra de progresso
Nível	Função determinística do XP acumulado	Ao cruzar limiar de nível	“Subiu para nível K”
Marcos (badges)	Regras por eventos (ex.: 1ª sessão, 50 tarefas)	Ao atingir a condição	Badge/título no perfil
Histórico	Agregação do estado persistente	Ao abrir o perfil ou no fim de sessão	Painel com totais e marcos

Fonte: Elaboração própria

5.13.4 Recompensas leves e economia simples

A camada gamificada utiliza recompensas leves (por exemplo, títulos e emblemas de perfil) e reconhecimento (resumo de sessão, histórico pessoal), evitando incentivos diretos à velocidade. (Cheng e Ebrahimi 2023; Ponti et al. 2018)

5.13.5 Feedback sem “certo/errado” imediato

O feedback imediato permanece operacional e motivacional (confirmação de envio, atualização de meta e progresso), sem indicar correção de uma tarefa individual. Quando aplicável, feedback agregado pode ser apresentado de forma atrasada (por exemplo, estatísticas de participação ao longo do tempo), condicionado à disponibilidade de sinais do fluxo de processamento, evitando viés imediato.

5.13.6 Salvaguardas contra comportamento oportunista e fadiga

Para reduzir pressa e fadiga, a proposta evita pontuação por tempo e pode incluir limites suaves de reforço (por exemplo, bônus decrescente após sequências longas) e sugestões de pausa após blocos extensos de tarefas, mantendo mensagens que legitimem a opção *indefinido* quando houver incerteza.

5.14 Pontuação e consenso

Esta seção formaliza como a camada gamificada atribui pontuação e como ela se relaciona com o consenso científico do fluxo de processamento do ForestEyes. A ideia central é separar claramente: (i) **pontuação de engajamento**, usada apenas para progresso/motivação do participante, e (ii) **consenso de rótulos**, calculado pelo mecanismo já descrito no ForestEyes (agregação de múltiplas respostas por segmento). A camada não altera classes, não redefine o significado das respostas e não substitui a regra de agregação do fluxo de processamento.

5.14.1 Notação e unidade de contribuição

Seja t uma tarefa (segmento) apresentada ao participante e u um participante. A resposta individual submetida pela camada é denotada por:

$$r_{u,t} \in \mathcal{C},$$

em que $\mathcal{C} = \{\text{floresta}, \text{não-floresta}, \text{indefinido}\}$ corresponde às mesmas classes do ForestEyes. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Fernanda Beatriz Jordan Rojas Dallaqua, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda 2022)

A camada registra, para cada submissão, pelo menos o identificador do participante u , o identificador da tarefa/segmento t , o rótulo escolhido $r_{u,t}$ e *timestamps* associados, para rastreabilidade e posterior auditoria.

5.14.2 Consenso no fluxo de processamento (agregação dos votos)

No ForestEyes, cada tarefa t recebe múltiplas respostas independentes e o rótulo agregado $\hat{y}_t$ é obtido por maioria de votos, considerando um limite máximo de respostas por tarefa (por exemplo, até 15 respostas), conforme descrito para o sistema. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019) (Arcanjo et al. 2016)

Seja n_t o número de respostas coletadas para t (até o limite definido), e seja $v_{t,c}$ o número de votos na classe $c \in \mathcal{C}$. O rótulo por maioria pode ser representado como:

$$\hat{y}_t = \arg \max_{c \in \mathcal{C}} v_{t,c}.$$

Casos de empate e alta ambiguidade são tratados pelo fluxo de processamento conforme as estratégias descritas (por exemplo, resegmentação e nova rodada), sem interferência da camada gamificada. (Fernanda B. J. R. Dallaqua, Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda 2019)

Além do rótulo por maioria, a distribuição de votos permite derivar sinais de dificuldade/incerteza. Uma medida discutida no contexto do sistema é a entropia de Shannon:

$$H(t) = - \sum_{c \in \mathcal{C}} p_{t,c} \log(p_{t,c}), \quad \text{em que } p_{t,c} = \frac{v_{t,c}}{n_t}.$$

Esse sinal pode existir apenas após a tarefa ter votos suficientes (isto é, após o fechamento/estabilização de t no pipeline). (Arcanjo et al. 2016)

5.14.3 Princípio de feedback: sem “certo/errado” imediato

Para evitar viés induzido por reforço (por exemplo, o participante tentar repetir o que o sistema sugere como correto), a camada não apresenta feedback imediato de acerto/erro por tarefa. O feedback imediato é estritamente operacional e motivacional: confirmação

de submissão, progresso em meta de sessão, progresso de nível/XP e marcos pessoais. (Herodotou et al. 2022; Schacher et al. 2023; Shah e Zhou 2016)

Quando disponível, feedback **agregado e atrasado** pode ser apresentado com base em sinais pós-consenso (por exemplo, informar que uma tarefa estava em uma faixa de dificuldade), sem revelar uma resposta correta individual durante a execução da tarefa.

5.14.4 Pontuação de engajamento: regras e eventos

A pontuação de engajamento é computada exclusivamente a partir de eventos observáveis de uso (tarefas concluídas, metas cumpridas, sessões finalizadas, retorno do participante), e não depende de validação imediata de “correção”.

Tabela 11 – Regras de pontuação (engajamento) e momento de atribuição

Evento	Como computa	Quando atribui	Feedback exibido
Tarefa concluída	+ P_{base} por submissão confirmada	Imediato (após persistir)	“Resposta registrada” + “+XP”
Meta de sessão atingida	+ P_{meta} ao completar N tarefas na sessão	Imediato (ao cruzar N)	“Meta concluída”
Sessão encerrada	+ P_{sess} se houver pelo menos N_{min} tarefas	No encerramento	Resumo da sessão
Marco (badge)	Regra booleana por contagem (ex.: 1ª sessão, 50 tarefas)	Ao atingir condição	Badge no perfil
Retorno do participante	+ P_{ret} se houver nova sessão após intervalo	No início da sessão	“Bem-vindo de volta”

Os parâmetros P_{base} , P_{meta} , P_{sess} , P_{ret} , bem como N e N_{min} , são constantes configuráveis da camada (definidas pela implementação), permitindo calibrar intensidade de incentivo sem alterar o fluxo de processamento científico.

5.14.5 Bônus opcional baseado em dificuldade (após consenso)

Se o fluxo de processamento disponibilizar sinais pós-consenso (por exemplo, entropia $H(t)$ ou uma classificação de ambiguidade), a camada pode atribuir um bônus **somente após** o fechamento de t , como atualização tardia do histórico do participante. Uma formalização simples é:

$$P_u \leftarrow P_u + P_{\text{dif}} \cdot g(H(t)),$$

em que $g(\cdot)$ é uma função limitada (por exemplo, em faixas) que aumenta levemente a recompensa para tarefas mais difíceis, sem indicar qual classe era correta e sem alterar a agregação do sistema. Caso esses sinais não estejam disponíveis via integração, este bônus é omitido sem prejuízo do funcionamento da camada. (Arcanjo et al. 2016)

5.14.6 Separação entre pontuação e dado científico

Por construção, a pontuação não altera nem substitui o rótulo agregado $\hat{y}_t$. A contribuição científica permanece sendo $r_{u,t}$ (resposta individual) encaminhada ao fluxo de processamento e agregada com as demais respostas para produzir $\hat{y}_t$. A camada apenas registra telemetria e estado de progresso para fins de engajamento e avaliação de uso, mantendo independência entre gamificação e decisão científica do rótulo final.

6 Plano de implementação do protótipo

Este capítulo descreve um plano enxuto para implementar um protótipo da camada gamificada proposta no Capítulo 5. O protótipo tem como função demonstrar a viabilidade técnica do fluxo de sessão, da reapresentação da tarefa do e do registro rastreável de uso e respostas, sem alterar o fluxo de processamento científico do ForestEyes.

6.1 Escopo do protótipo

O protótipo implementa um subconjunto operacional da solução, suficiente para executar um ciclo completo de uso:

- **Identificação e persistência de estado do participante.** Criação de um identificador local e recuperação do estado (progresso e histórico) entre sessões.
- **Fluxo de sessão ponta a ponta.** Início de sessão, tutorial curto (quando aplicável), loop de tarefas e encerramento com resumo básico.
- **Tela de tarefa equivalente ao ForestEyes** Exibição de imagem/recorte com segmento destacado e coleta de uma escolha entre as classes do sistema.
- **Progresso e metas simples.** Exibição de contagem de tarefas na sessão e uma meta de curto prazo (por exemplo, completar N tarefas).
- **Telemetria e logs mínimos.** Registro de eventos de uso (início/fim de sessão, conclusão de tutorial, tarefa apresentada, resposta submetida, abandono) com timestamp.
- **Integração com o ForestEyes via módulo adaptador.** Um módulo intermediário que obtém tarefas e encaminha respostas, preservando identificadores necessários para auditoria.

6.2 O que este protótipo não faz.

Para evitar ambiguidades, o protótipo não implementa: (i) qualquer mudança no significado da tarefa (classes, regras ou agregação); (ii) lógicas avançadas de progressão (por exemplo, campanhas ramificadas); (iii) painéis administrativos completos de análise (apenas exportação/consulta de logs estruturados).

6.3 Tecnologias e ambiente

O protótipo pode ser implementado como uma aplicação web com separação entre cliente (interface) e servidor (API e persistência), mantendo um ponto único de integração com o ForestEyes.

6.3.1 Arquitetura de execução (protótipo).

- **Cliente (web):** telas de sessão, tutorial, tarefa, perfil e resumo; comunicação com a API do protótipo.
- **Servidor (API):** endpoints para sessão, tarefas, submissão de resposta, progresso e exportação de logs.
- **Persistência:** armazenamento de estado do participante e logs (banco relacional ou documento), com esquema simples.
- **Módulo adaptador:** camada que encapsula como tarefas são obtidas e como respostas são encaminhadas ao mecanismo do ForestEyes.

6.3.2 Escolhas práticas (sugestão).

Para reduzir custo de implementação, o protótipo pode adotar:

- uma stack web comum (por exemplo, frontend em *framework* moderno e backend em API HTTP);
- armazenamento local (*localStorage*) somente para estado não sensível em fases iniciais e, em seguida, persistência no servidor para logs e auditoria;
- integração com o ForestEyes inicialmente em modo simulação (tarefas fixas) para validar fluxo, substituindo por tarefas reais quando disponível.

6.3.3 Dados coletados (minimização).

O protótipo deve armazenar apenas: identificador do participante, sessões (início/fim), tarefas apresentadas, resposta selecionada e timestamps, além de estado de progresso derivado desses logs.

6.4 Etapas a serem cumpridas

A implementação pode ser organizada em três etapas curtas e cumulativas, priorizando um fluxo funcional antes de refinamentos.

Etapa 1 — Fluxo funcional com tarefas simuladas

- Implementar identificação local do participante e persistência básica de estado.
- Implementar telas essenciais: início, tutorial, tarefa e encerramento.
- Implementar loop de tarefas com um conjunto fixo e coleta de resposta.
- Registrar logs locais (ou em API simples) para reconstruir sessões.

Etapa 2 — API e persistência de logs no servidor

- Criar API para: iniciar/encerrar sessão, obter tarefa, enviar resposta, consultar/exportar logs.
- Persistir logs e estado no servidor com esquema mínimo.

Etapa 3 — Integração via módulo adaptador com o ForestEyes

- Implementar o adaptador para obter tarefas do ForestEyes e encaminhar respostas preservando IDs.
- Validar rastreabilidade: participante → tarefa/segmento → classe selecionada.

6.4.1 Encaminhamento.

Este plano delimita um protótipo implementável que cobre o fluxo essencial descrito no Capítulo 5 e produz os registros necessários para observação no plano de avaliação. O próximo capítulo descreve como esses registros podem ser utilizados para analisar engajamento e uso.

7 Plano de avaliação proposto

Este capítulo descreve como o protótipo será avaliado a partir de dois tipos de evidência: dados de uso (registros gerados pelo próprio sistema) e opinião dos usuários (questionário breve ao final do uso). O objetivo é verificar se o protótipo é claro, agradável de usar e capaz de manter o usuário contribuindo por mais tempo (Burov e Tsarik 2012; TicAPP – Centro de Competências Digitais da Administração Pública 2021)

7.1 Objetivo e perguntas da avaliação

A avaliação busca responder às seguintes perguntas:

- **PQ1:** O protótipo é fácil de entender e usar?
- **PQ2:** O protótipo torna a experiência mais interessante e/ou motivadora?
- **PQ3:** As pessoas tendem a realizar mais contribuições (mais tarefas por sessão e maior retorno)?

7.2 Dados coletados

Serão coletados dois grupos de dados:

7.2.1 Dados de uso (coleta automática)

O protótipo registrará automaticamente informações de uso, como:

- quantidade de tarefas concluídas por sessão;
- duração da sessão ;
- número de retornos em um período definido

7.2.2 Opinião dos usuários (questionário pós-uso)

Ao final do uso, o participante responderá a um questionário curto, com itens em escala (por exemplo, de 1 a 5) e poucas questões abertas (Bangor, Kortum e Miller 2009)

7.3 Procedimento

O procedimento proposto é:

1. O participante utiliza o protótipo por um período curto (em sessão guiada ou livre).
2. O sistema registra automaticamente os dados de uso durante a interação.
3. Ao final, o participante responde ao questionário breve.
4. Os registros são exportados para análise (por exemplo, em formato **CSV** ou **JSON**).

7.4 Questionário sugerido

A seguir, um exemplo de itens em escala de 1 (discordo totalmente) a 5 (concordo totalmente):

1. Entendi rapidamente o que precisava fazer.
2. As telas e instruções são claras.
3. O protótipo torna a atividade mais interessante.
4. Eu teria vontade de usar novamente.
5. A progressão e o feedback me incentivaram a continuar.

Perguntas abertas (curtas):

- O que mais te motivou?
- O que mais te atrapalhou ou o que você mudaria?.

7.5 Análise

A análise será descritiva e direta:

- relatar médias e distribuição das respostas do questionário;
- relatar medidas simples dos logs (tarefas por sessão, tempo de sessão, retornos);
- usar as respostas abertas para listar melhorias prioritárias do protótipo.

7.6 Limitações

Os resultados refletem o uso do protótipo em um contexto controlado e com amostra limitada, podendo haver efeito de novidade e autoseleção (Feldt e Magazinius 2010)

8 Discussão

Este capítulo discute as principais decisões de projeto e suas implicações, com foco no que foi efetivamente entregue neste trabalho: uma proposta de expansão lúdica para o ForestEyes, seu desenho conceitual (mecânicas e fluxos), uma visão arquitetural de integração em alto nível, uma formalização de pontuação e consenso, e um plano de implementação e avaliação. Ressalta-se que a implementação do protótipo e a execução de estudos com usuários estão fora do escopo, de modo que não são apresentados resultados empíricos.

8.1 O que a proposta trata e o que não trata

A proposta foi concebida para ampliar engajamento e sustentar participação ao longo do tempo, introduzindo progressão, feedback e metas de curto e médio prazo, sem exigir alterações no backend do sistema atual. Em particular, a abordagem privilegia uma camada externa que reaproveita a tarefa de rotulagem e adiciona estrutura lúdica e mecanismos de motivação.

Por outro lado, o trabalho não pretende (i) demonstrar empiricamente ganho de desempenho, qualidade ou retenção; (ii) propor mudanças no fluxo de processamento de agregação existente; (iii) substituir a plataforma original; ou (iv) resolver integralmente limitações operacionais e sociais do ecossistema de ciência cidadã. Esses itens são tratados como limitações ou como trabalho futuro.

8.2 Trade-offs de design

A definição de mecânicas e fluxos buscou equilibrar simplicidade e efetividade. Optou-se por um conjunto enxuto de elementos (progressão, feedback, metas e recompensas leves) para reduzir barreiras de entrada e minimizar custo cognitivo. Tal escolha tende a facilitar adoção inicial, mas pode limitar profundidade e variação de longo prazo, exigindo iterações posteriores com base em evidências observacionais.

Outro trade-off relevante envolve feedback imediato: por um lado, feedback rápido pode aumentar sensação de competência e autonomia; por outro, pode induzir viés se a retroalimentação for percebida como “resposta correta” antes do usuário concluir seu julgamento. O desenho proposto procura evitar esse problema ao separar feedback motivacional (p.ex., progresso, metas e confirmação de envio) de feedback epistêmico (p.ex., correção), e ao tratar qualidade via mecanismos de consenso e consistência em alto nível.

8.3 Viabilidade e integração em alto nível

Do ponto de vista de engenharia, a proposta privilegia integração por camadas: uma aplicação externa apresenta a tarefa ao usuário, registra interações e aplica mecânicas de jogo, ao mesmo tempo em que consome (ou replica) a unidade de trabalho oriunda da plataforma de origem. Esse desenho procura ser viável em cenários onde o acesso ao backend é restrito e mudanças intrusivas são indesejáveis.

8.4 Plano de avaliação: adequação de métricas e métodos

Como o objetivo central é ampliar engajamento sem degradar qualidade, o plano de avaliação proposto combina (i) percepção subjetiva de usuários, e (ii) métricas comportamentais extraídas de logs. A dimensão subjetiva pode ser capturada por instrumentos de usabilidade/experiência do usuário, aplicados após sessões de uso do protótipo, complementados por questões abertas para colher opiniões e sugestões de melhoria.

8.5 Limitações

A principal limitação é a ausência de implementação e validação empírica no escopo deste trabalho. Consequentemente, não é possível afirmar que a proposta aumenta engajamento, melhora qualidade ou reduz ruído, apenas argumentar sobre plausibilidade e coerência a partir da literatura e de decisões de projeto explicitadas.

9 Conclusão

Este trabalho apresentou uma proposta de expansão lúdica para o ForestEyes, com o objetivo de ampliar engajamento e sustentar participação em tarefas de monitoramento do desmatamento via ciência cidadã. A contribuição central consiste em um desenho conceitual de jogo acoplável à experiência existente, incluindo mecânicas de progressão, feedback e motivação, uma visão arquitetural em alto nível para integração como camada externa, uma formalização de pontuação e consenso, e um plano de implementação e avaliação.

Em termos de resposta ao problema, a proposta oferece um caminho estruturado para introduzir elementos de gamificação e organização de jornada do usuário sem demandar alterações intrusivas no sistema de origem. Ao explicitar fluxos, componentes e decisões de projeto, o trabalho estabelece base para um protótipo funcional e para investigações empíricas futuras.

As limitações do estudo estão alinhadas ao escopo adotado: a implementação do protótipo e a execução de estudos com usuários não foram realizadas, de modo que não se apresentam evidências quantitativas ou qualitativas sobre impacto em engajamento ou qualidade. Esses pontos são deixados como próximos passos.

Referências

- American Journal Experts (2023). *How to Create an Effective PRISMA Flow Diagram*. URL: <https://www.aje.com/arc/how-to-create-prisma-flow-diagram> (acesso em 06/11/2025).
- Arcanjo, Jeferson S. et al. (2016). “Methods for evaluating volunteers’ contributions in a deforestation detection citizen science project”. Em: *Future Generation Computer Systems* 56, pp. 490–504. DOI: 10.1016/j.future.2015.07.005.
- Bangor, Aaron, Philip Kortum e James Miller (2009). “Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale”. Em: *Journal of Usability Studies* 4.3. Explains that the System Usability Scale consists of 10 statements rated on a five-point scale from strongly disagree to strongly agree, pp. 114–123. URL: https://uxpajournal.org/wp-content/uploads/sites/7/pdf/JUS_Bangor_May2009.pdf (acesso em 04/01/2026).
- Burov, Aleksandr Yu. e Aleksandra R. Tsarik (2012). “Ergonomic evaluation of e-learning systems”. Em: *Proceedings of the National Aviation University*. Discusses human–computer interaction and highlights that usability evaluation includes capturing objective metrics (task completion time, errors, guideline violations) and subjective ratings, pp. 225–234. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/7775/1/Usability%20evaluation%20of%20e-learning%20systems.pdf> (acesso em 04/01/2026).
- Campos-Taberner, Manuel, Sónia Daudén et al. (2024). “Machine learning versus deep learning in land system science: a decision-making framework for effective land classification”. Em: *Frontiers in Remote Sensing*. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsen.2024.1374862/full> (acesso em 06/11/2025).
- Centre for Evidence-Based Management (2026). *What is a PICOC?* URL: <https://cebma.org/resources/frequently-asked-questions/what-is-a-picoc/> (acesso em 06/11/2025).
- Cheng, Cecilia e Omid V. Ebrahimi (2023). “Gamification: a Novel Approach to Mental Health Promotion”. Em: *Current Psychiatry Reports* 25.11. Review article on gamification in mental health interventions; cautions that focusing on rewards and competition can lead to over-engagement and neglect of other activities., pp. 577–586. DOI: 10.1007/s11920-023-01453-5. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10654169/> (acesso em 04/01/2026).
- Costa, Pedro Miguel (2021). *Sistemas de controle e monitoramento do uso da terra*. Relatório PlanaFlór 12. Projeto PlanaFlor. URL: <https://planaflor.org/wp-content/uploads/2023/06/Planaflor-estudo-12-sistemas-monitoramento-uso-terra-BR.pdf> (acesso em 06/11/2025).

- Crall, Alycia et al. (2017). “Volunteer recruitment and retention in online citizen science projects using marketing strategies: lessons from Season Spotter”. Em: *Journal of Science Communication* 16.1, A01. URL: https://jcom.sissa.it/article/pubid/JCOM_1601_2017_A01/.
- Dallaqua, Fabio BJ R, Álvaro L Fazenda e Fábio AM Faria (2021). “ForestEyes Project: conception, enhancements, and challenges”. Em: *Future Generation Computer Systems* 124, pp. 422–435.
- Dallaqua, Fernanda B. J. R., Fabio A. Faria e Álvaro L. Fazenda (2019). “ForestEyes Project - Citizen Science and Machine Learning to detect deforested areas in tropical forests”. Em: *Workshop de Teses e Dissertações (WTD) - SIBGRAPI*. São José dos Campos, Brazil.
- Dallaqua, Fernanda Beatriz Jordan Rojas, Fabio Augusto Faria e Álvaro Luiz Fazenda (2022). “Building Data Sets for Rainforest Deforestation Detection Through a Citizen Science Project”. Em: *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 19, pp. 1–5. DOI: 10.1109/LGRS.2020.3032098.
- Fazenda, Álvaro L e Fábio A Faria (2024). “ForestEyes: Citizen Scientists and Machine Learning-Assisting Rainforest Conservation”. Em: *Communications of the ACM* 67.8, pp. 95–96. URL: <https://cacm.acm.org/latin-america-regional-special-section/foresteyes-citizen-scientists-and-machine-learning-assisting-rainforest-conservation/>.
- Feldt, Robert e Ana Magazinius (2010). “Validity Threats in Empirical Software Engineering Research—An Initial Survey”. Em: *International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM)*. Summarizes common validity threat categories (conclusion, internal, construct, external) and guidelines for mitigation, pp. 1–10. URL: https://www.cse.chalmers.se/~feldt/publications/feldt_2010_validity_threats_in_ese_initial_survey.pdf (acesso em 04/01/2026).
- Herodotou, Christothea et al. (2022). “Online Community and Citizen Science supports environmental science learning by young people”. Em: *Computers & Education* 184. Available via PubMed Central, p. 104515. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7612992/>.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (2024). *Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Legal por Satélite – PRODES*. URL: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes> (acesso em 06/11/2025).
- National Institute of Standards and Technology (NIST) (2024). *Digital Identity Guidelines: Federation and Assertions (SP 800-63C)*. Rel. técn. SP 800-63C. Section 3.4.1 describes pairwise pseudonymous identifiers that contain no identifying information about the subscriber, are difficult to guess, and can be generated randomly or derived in an irreversible manner. NIST. URL: <https://pages.nist.gov/800-63-4/sp800-63c/Federation/> (acesso em 04/01/2026).

- Open Science Training Handbook (2018). *Citizen science*. URL: <https://open-science-training-handbook.gitbook.io/citizen-science/> (acesso em 06/11/2025).
- Ponti, Marisa et al. (2018). “Getting it Right or Being Top Rank: Games in Citizen Science”. Em: *Citizen Science: Theory and Practice* 3.1. Ethnographic study examining two citizen science projects. Participants in Galaxy Zoo dismissed leaderboards and ranking systems as antithetical to scientific culture. DOI: 10.5334/cstp.101. URL: <https://theoryandpractice.citizenscienceassociation.org/articles/cstp.101> (acesso em 04/01/2026).
- Proxima Beta Pte. Ltd. (2025). *Get Started: Guest accounts*. Documentation for implementing guest accounts. It explains that players can play without creating an account or providing personal information and can transfer the guest account between devices using a transfer code and password. URL: <https://docs.playernetwork.intlgame.com/docs/Authentication/Guest/GettingStarted/> (acesso em 04/01/2026).
- Quiron (2020). *Por que o sensoriamento remoto é a melhor opção para monitoramento de florestas?* URL: <https://quiron.com.br/por-que-sensoriamento-remoto-e-a-melhor-opcao-para-monitoramento-de-florestas/> (acesso em 06/11/2025).
- Remote Sensing Editorial (2021). “Remote Sensing Big Data: Theory, Methods and Applications”. Em: *Remote Sensing*. Special Issue introduction. URL: https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/rs_bigdata (acesso em 06/11/2025).
- Schacher, Alice et al. (2023). “Use-Specific Considerations for Optimising Data Quality Trade-Offs in Citizen Science: Recommendations from a Targeted Literature Review to Improve the Usability and Utility for the Calibration and Validation of Remotely Sensed Products”. Em: *Remote Sensing* 15.5, p. 1407. DOI: 10.3390/rs15051407. URL: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/5/1407>.
- Shah, Nihar B. e Dengyong Zhou (2016). “No Oops, You Won’t Do It Again: Mechanisms for Self-correction in Crowdsourcing”. Em: *Proceedings of the 33rd International Conference on Machine Learning*. Vol. 48. PMLR. PMLR, pp. 2922–2931. URL: <http://proceedings.mlr.press/v48/shaha16.html>.
- TicAPP – Centro de Competências Digitais da Administração Pública (2021). *Testes de Usabilidade*. Guia prático da administração pública de Portugal explicando que os testes de usabilidade avaliam eficácia, eficiência e satisfação segundo a ISO 9241-210. URL: <https://ticapp.gov.pt/wp-content/uploads/2021/03/TicAPP2021-TestesUsabilidade.pdf> (acesso em 04/01/2026).
- Zooniverse (2026). *Zooniverse: People-powered research*. URL: <https://www.zooniverse.org/> (acesso em 04/01/2026).
- ([s.d.]). *ForestEyes – usando cidadãos para rastrear o desmatamento*. URL: <https://www.zooniverse.org/projects/dallaqua/foresteyes/about> (acesso em 09/11/2025).