



Ciência de Dados e I.A.  
Escola de Matemática Aplicada  
Fundação Getúlio Vargas

Engenharia de Requisitos

# Proposta de TCC

## LLM para Engenharia de Requisitos

Aluno: Isabela Yabe  
Orientador: Rafael de Pinho André  
Escola de Matemática Aplicada, FGV/EMAp  
Rio de Janeiro - RJ.

Rio de Janeiro, 2025

# Sumário

<b>1</b>	<b>Resumo</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
2.1	Problematização . . . . .	1
2.2	Questão e hipótese . . . . .	2
2.3	Objetivos . . . . .	3
2.4	Relevância . . . . .	3
<b>3</b>	<b>Revisão literária</b>	<b>4</b>
3.1	Análise sistemática da literatura . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Código-fonte → AST</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Escolha dos repositórios</b>	<b>14</b>
5.1	Colossal Cave Adventure . . . . .	14
5.2	Descrição do jogo . . . . .	14
5.3	. . . . .	15

# 1 Resumo

Larman (2002) descreve três modos de desenvolvedores projetarem objetos: (i) projetar enquanto codifica, (ii) desenhar e projetar, (iii) apenas desenhar. Este trabalho propõe uma ferramenta de suporte para desenhar e projetar.

Quero que a introdução tenha contextualização, problematização, questões/hipóteses, objetivo(s) e relevância

Larman (2002) descreve três modos de desenvolvedores projetarem objetos: (i) projetar enquanto codifica, (ii) desenhar e projetar, (iii) apenas desenhar. Este trabalho propõe uma ferramenta de suporte para desenhar e projetar.

Quero que a introdução tenha contextualização, problematização, questões/hipóteses, objetivo(s) e relevância

## 2 Introdução

A engenharia de software estuda e avalia métodos capazes de aproximar o código-fonte da linguagem natural. Essa busca se mostra em duas vertentes complementares: a interação com o usuário final e a comunicação entre os próprios desenvolvedores.

Esse estudo fundamenta-se em autores que defendem o desenvolvimento estruturado e orientado ao usuário, projetado a partir da visão e das necessidades de quem o utiliza, e não apenas da estrutura interna ou das preferências de quem o desenvolve. Essa perspectiva deu origem a princípios de design centrados na função e no comportamento observável do sistema, enfatizando que a organização do código deve refletir a experiência do usuário e os fluxos de interação previstos.

Yourdon e Constantine (1979) descrevem o processo tradicional de desenvolvimento de software como uma cadeia de tradução sucessiva: o diálogo entre o proprietário do produto, o usuário e o analista é continuamente reinterpretado pelo engenheiro de requisitos, pelo designer e pelo programador, Figura 1.

Cada etapa dessa cadeia implica na perda ou distorção de parte do significado original do usuário, o que pode resultar em comportamentos apenas próximos ao desejado. Diante disso, os autores propõem o projeto estruturado, cujo ponto inicial é a clareza e a visibilidade das decisões e atividades envolvidas, promovendo uma compreensão compartilhada e garantindo que o design reflita as intenções originais do sistema.

### 2.1 Problematização

Com o mesmo intuito de tornar o comportamento do sistema visível e compreensível, surge a modelagem de casos de uso como um instrumento de unificação entre requisitos, design e usabilidade. Segundo Booch, Rumbaugh e Jacobson (1999), nenhum sistema existe isoladamente: todo sistema relevante interage com atores, humanos ou automáticos, que esperam comportamentos previsíveis. O diagrama de casos de uso permite que analistas e desenvolvedores discutam o comportamento do sistema sem se prender aos detalhes da implementação, oferecendo uma linguagem comum e verificável para representar comportamentos.



Figura 1: cadeia de tradução de requisitos segundo Constantine 1979.

Autores posteriores ampliaram essa discussão ao nível do código, enfatizando a necessidade de que o código não seja apenas executável, mas também compreensível. Como sintetiza Fowler (2018), “qualquer tolo escreve um código que um computador possa entender; bons programadores escrevem código que seres humanos possam entender”.

Entretanto, a legibilidade do código, por si só, não substitui a documentação de requisitos. Enquanto o código explica como o sistema se comporta, a documentação torna explícito o por que ele deve se comportar assim. Segundo Sommerville e Sawyer (1997), a documentação de requisitos atua como um contrato conceitual entre usuários, analistas e desenvolvedores, garantindo o alinhamento entre o comportamento implementado e as expectativas de negócio. Quando essa documentação falta ou envelhece, a legibilidade do código torna-se o principal ponto de apoio para reconstruir as intenções originais, um desafio na manutenção e evolução de sistemas legados.

## 2.2 Questão e hipótese

Se o código é um texto escrito para ser lido por humanos, então suas palavras, nomes e estruturas carregam pistas úteis sobre o que o sistema faz e para quem. Partindo dessa premissa, questiona-se: é possível reconstruir casos de uso a partir do código-fonte, combinando análise estrutural e interpretação semântica automatizada?

A hipótese deste trabalho é que técnicas de representação semântica, como embeddings e Large Language Models (LLMs), quando aplicadas sobre estruturas abstratas do código, como a Abstract Syntax Tree (AST), podem permitir a reconstrução de artefatos de alto nível, como diagramas de casos de uso, mesmo na ausência de documentação formal.

## 2.3 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor um processo de redocumentação automatizada capaz de gerar diagramas de casos de uso a partir do código-fonte, preservando a semântica do sistema original. Para isso, o método combina:

Brunelière *et al.* (2010) o MoDisco, um framework genérico para engenharia reversa orientada por modelos (Model-Driven Reverse Engineering — MDRE). Ele sugere resumirmos os sistemas em modelos, uma estrutura mais homogênea. A principal ideia é recuperar modelos existentes no sistema. O processo é dividido em duas fases, descoberta do modelo e compreensão do modelo. Na fase de descoberta, um componente chamado discoverer extrai informações do código-fonte, dados brutos, documentações e artefatos disponíveis. Passando estas representações para uma representação uniforme da estrutura do sistema. Já na fase de compreensão, o conteúdo desse modelo é analisado e transformado em representações de alto nível, diagramas, métricas ou relatórios, que podem servir à redocumentação, à modernização de sistemas ou à análise de qualidade.

A partir dessa arquitetura, adotaremos a mesma lógica de abstração proposta por Tonella e Potrich (2007), utilizando uma representação sintática reduzida do código-fonte que preserva apenas os elementos essenciais ao fluxo de objetos, criações, atribuições e chamadas, e ignora instruções de controle. Essa simplificação torna possível construir a Abstract Syntax Tree (AST) como modelo intermediário, permitindo representar a estrutura sintática e os diagramas de casos de uso, permitindo representar classes, métodos, atributos e interações de forma compreensível e consistente.

Esse tipo de investigação é definido por Chikofsky e Cross (1990) como *Re-documentation* em *Reverse engineering*, ou seja, engenharia reversa com foco em redocumentação, no sentido de criar representações de abstração do sistema existente, destinadas à leitura humana, sem alterar o comportamento do software. Aqui propõe-se criar diagramas de casos de uso, preservando a semântica do sistema original, afim de compreender o comportamento observável do ponto de vista do usuário.

Além da linguagem abstrata, este trabalho incorpora informações semânticas extraídas diretamente das *docstrings*, comentários e nomenclaturas do código. Esses elementos textuais são tratados como extensões dos objetos, pois também comunicam intenções, objetivos e relações entre entidades. Com o apoio de *Large Language Models* (LLMs), essas evidências são analisadas de forma contextual, permitindo inferir papéis, objetivos e interações que não estão explicitamente representados nas chamadas ou estruturas do código.

Dessa forma, o processo de redocumentação combina a análise estrutural, que descreve como os objetos estão correlacionados, e a análise semântica, que interpreta o vocabulário interno do sistema revelando as intenções dos desenvolvedores.

## 2.4 Relevância

Este trabalho contribui para auxiliar desenvolvedores durante a codificação e também na compreensão de sistemas sem documentação. Ao gerar visões de alto nível do sistema, especificamente casos de uso, a proposta facilita a compreensão e as interações entre componentes.

Segundo Larman (2002), os casos de uso não apenas documentam funcionalidades, mas representam um instrumento de convergência entre analistas, projetistas e programadore. Em contextos dinâmicos, casos de uso bem definidos apoiam a priorização de requisitos, a validação de comportamentos e a manutenção de uma visão compartilhada do sistema, mesmo diante de mudanças constantes.

Embora a maioria dos estudos sobre Model-Driven Reverse Engineering (MDRE) e redocumentação concentre-se em linguagens como Java, este trabalho propõe uma abordagem direcionada à linguagem Python, que, segundo o TIOBE Index (2025), mantém-se como a linguagem mais popular globalmente.

Por fim, além de oferecer uma nova aplicação prática de Large Language Models na engenharia de software, o estudo propõe uma ponte entre engenharia de requisitos e engenharia reversa, reforçando a ideia de que compreender um sistema começa por compreender seu código, não apenas como sequência de instruções, mas como expressão das intenções humanas que lhe deram origem.

### 3 Revisão literária

A revisão tem o objetivo de compreender o estado da arte das abordagens de engenharia reversa que partem de código-fonte e produzem artefatos de alto nível, como diagramas UML. Para garantir uma análise sistemática e comparável entre diferentes propostas, foram definidas perguntas de pesquisa (*Research Questions* — *RQs*) que orientam a coleta e síntese dos dados extraídos dos estudos selecionados.

- **RQ1.** Em quais linguagens e domínios as abordagens que partem de código-fonte foram aplicadas?
- **RQ2.** Quais modelos/artefatos de alto nível são gerados?
- **RQ3.** Qual aspecto é privilegiado (estático, dinâmico, híbrido) e com qual objetivo (compreensão, redocumentação, migração, qualidade)?
- **RQ4.** Quais técnicas e transformações viabilizam a passagem do código para o modelo de alto nível?
- **RQ5.** Quais ferramentas/frameworks são utilizados?
- **RQ6.** Como as abordagens são validadas e com que qualidade prática?

A coleta dos estudos seguiu uma estratégia sistemática de busca em bases reconhecidas, IEEE Xplore e ACM Digital Library no período de 2015 a 2025.

A query se estrutura na combinação de três blocos temáticos:

- ("Abstract": "MDRE"OR "reverse engineering"OR "model driven reverse engineering"OR "design recovery")
- ("Abstract": "UML"OR "UML class diagram"OR "UML activity diagram"OR "UML sequence diagram"OR "UML models"OR "Diagram")

- : ("Abstract": "static analysis"OR "source code analysis"OR "abstract syntax tree"OR "AST"OR "text-to-model"OR "T2M"OR "parser"OR "source code"OR "parsing")

Foram incluídos apenas os estudos que propõe uma abordagem de engenharia reversa aplicada à geração de modelos UML (classes, atividades ou sequência) diretamente a partir do código-fonte.

Foram excluídos os trabalhos que se enquadravam em uma ou mais das seguintes categorias:

- Foco em forward engineering ou geração de código.
- Estudos centrados em rastreabilidade ou anti-padrões.
- Trabalhos puramente empíricos ou teóricos sem proposta de transformação automatizada.
- Abordagens puramente dinâmicas.

Com base nos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados os seguintes estudos para análise detalhada:

- A Model Driven Reverse Engineering Framework for Generating High Level UML Models From Java Source Code (2019).
- Condensing Class Diagrams With Minimal Manual Labeling Cost (2016). (parte do diagrama e aperfeiçoa)
- Enhancing Model-Driven Reverse Engineering Using Machine Learning (2024).
- Reverse Engineering of Source Code to Sequence Diagram Using Abstract Syntax Tree (2016).
- Towards a New Hybrid Approach of the Reverse Engineering of UML Sequence Diagram (2016).
- WIP: Generating Sequence Diagrams for Modern Fortran (2017).

### 3.1 Análise sistemática da literatura

A partir da síntese da Tabela 1, organizamos os achados por eixo (RQ1–RQ6), destacando tendências, limitações e implicações para a presente pesquisa.

**RQ1 — Linguagens e domínios.** Predomina o ecossistema **Java** em sistemas orientados a objetos, tanto em estudos estruturais quanto comportamentais (Zhang (2016), Yang *et al.* (2016), Fauzi, Hendradjaya e Sunindyo (2016) e Sabir *et al.* (2019)). Há ampliação pontual para **Fortran OO** em contexto de computação científica (Leatongkam, Nanthaamornphong e Rouson (2017)) e menção tanto a **Java** quanto a **Python** em proposta recente com LLMs (Siala (2024)). Em síntese, o corpus avaliado é fortemente dominado por Java; Python surge como alvo relevante e contemporâneo, porém ainda subexplorado.

Autores / Referência	Linguagem / Domínio	Modelo Gerado	Aspecto	Técnica / Tipo de Transformação	Ferramenta / Framework	Validação / Estudo de Caso
Zhang (2016)	Java; pequenos sistemas OO (eLib, Minesweeper, Blog, PayrollSys, myAlgsLib)	UML Classe; UML Sequência	Estático — compreensão, manutenção/redocumentação	Código→AST→J2X; mapeamentos (gen./impl./assoc./dep.); sentenças simplif.→OFG; CFG+OFG→Sequência	J2UML; JavaCC; Dom4j; J2X (DTD/XML)	5 casos pequenos; acurácia: classes 96,4–100%; relações 65,0–90,4%
Yang <i>et al.</i> (2016)	Java; sistemas OO	UML Classe (condensado)	Estático; COMPREENSÃO/REDOCUMENTAÇÃO; estrutural	<b>Extração de métricas (SDMetrics)</b> → Normalização (z-score) → <b>k-means clustering</b> → Random undersampling → <b>Ensemble learning (Random Forest)</b> → diagrama condensado	MagicDraw; SDMetrics; Random Forest; Windows 7	OSS (9 projetos, 2640 classes); AUC=0.73; custo de rótulo=10%; teste de Wilcoxon e Cliff's $\delta$
Fauzi, Hendradjaya e Sunindy (2016)	Java; sistemas orientados a objetos	UML Sequência (comportamental)	Estático; COMPREENSÃO/REDOCUMENTAÇÃO	<b>Código → AST (JavaParser) → DFS pós-ordem → PlantUML (Seq)</b>	REVUML; JavaParser; PlantUML	126 casos de teste (8 categorias; geração correta e consistente de diagramas)
Baidada e Jakimi (2016)	Java/Genérico; aplicações OO	UML Sequência (HLSD)	<b>Híbrido</b> (Estático + Dinâmico); Compreensão/Redocumentação (comportamento)	CFG→entradas; execuções+traços (filtro); traços→CPN; CPN→UML SD	Sem ferramenta nominal; UML 2.x; instrumentação/VM/debugger; CPN (IR)	Sem validação; futuro
Leatongkam, Nanthamongphong e Rouson (2017)	Fortran OO; computação científica e engenharia	UML Classe; UML Sequência; modelo intermediário XMI	Estático — compreensão e redocumentação	Regras de mapeamento código → UML (OMG); parsing estático; árvore sintática; geração XMI → importação ArgoUML	ForUML (extensão); ArgoUML; padrão OMG UML/XMI;	<i>Work in progress</i>
Sabir <i>et al.</i> (2019)	Java (sistemas legados orientados a objetos)	UML <i>Class Diagram</i> + <i>Activity Diagram</i> (em pacote UML)	Estático; objetivo: compreensão/redocumentação	T2M/M2M em duas fases: Parser→AST→IM(XML) e mapeamentos IM→UML (classe/atividade)	Eclipse + UML2/EMF; JavaParser (IMD); (Papyrus/StarUML/Rational Rose na validação manual)	Comparação especializada (modelos manuais vs. gerados), 5 estudos de caso; ATM e Amadeus descritos
Siala (2024)	Java; Python; sistemas legados	UML Classe; OCL	Estático — compreensão, redocumentação e migração	código → tokenização/simplificação → geração textual UML/OCL inter-diária(LLM) → model repair → diagramas UML/OCL	Graphviz; PlantUML; Modelio; AgileUML; LLM	Comparação MDRE: dois estudos de caso; correção semântica, completude e compreensibilidade

Tabela 1: Síntese comparativa dos estudos selecionados.



**RQ2 — Modelos/artefatos gerados.** A produção concentra-se em **UML Classe** e **UML Sequência**. Em Zhang (2016), ambos são gerados a partir de um pipeline *código*  $\rightarrow$  *J2X*  $\rightarrow$  *CFG/CFG*  $\rightarrow$  *UML* (Classe+Sequência). Leatongkam, Nanthaamornphong e Rouson (2017) propõem estender o *ForUML* para também extrair **Sequência** a partir de Fortran OO, exportando um **XMI** intermediário para visualização (e.g., ArgoUML). Fauzi, Hendradjaya e Sunindyo (2016) derivam **Sequência** diretamente da **AST**, com saída em *PlantUML* (Seq), abordagem estática focada em interações. Sabir *et al.* (2019) incluem **Activity** além de **Class**, gerando “modelos UML de alto nível” (classe + atividade) a partir de um modelo intermediário (UML2). Yang *et al.* (2016) não “geram” um novo tipo de diagrama, mas *condensam diagramas de classe* via métricas + *ensemble learning*, reduzindo a complexidade visual ao destacar “classes importantes” (AUC, testes de Wilcoxon/Cliff’s  $\delta$ ). Em contraste, **Casos de Uso** aparecem sobretudo como *enquadramento conceitual* para Sequência (e.g., “SDs mostram interações num *use case* específico”), mas não como artefato recuperado dos códigos analisados, sinalizando uma *lacuna* na redocumentação de requisitos a partir de código.

**RQ3 — Qual aspecto é privilegiado (estático, dinâmico, híbrido) e com qual objetivo?** No conjunto analisado, prevalece de forma nítida o aspecto **Estático**, quase sempre orientado à **Compreensão/Redocumentação**. Os trabalhos clássicos da vertente estrutural e comportamental, como Zhang (2016) e Fauzi, Hendradjaya e Sunindyo (2016), operam integralmente sobre o código (sem execução), partindo de *parsing*/AST e passando por representações intermediárias (p.ex., J2X) ou travessias específicas (DFS pós-ordem) para derivar, respectivamente, diagramas de Classe e Sequência. Em Leatongkam, Nanthaamornphong e Rouson (2017), a mesma orientação estática se mantém ao estender o *ForUML* para Fortran OO via regras de mapeamento e exportação XMI; e em Sabir *et al.* (2019), o padrão T2M/M2M consolida o fluxo código $\rightarrow$ AST $\rightarrow$ IM $\rightarrow$ UML, com *Activity* agregada ao escopo estrutural. Ainda sob a ótica estática, Yang *et al.* (2016) não cria um novo artefato, mas trata o *pós-processamento* do diagrama de classes via métricas e *machine learning*, reduzindo a complexidade visual sem recorrer a dados de execução. Em contraste com esse predomínio, Baidada e Jakimi (2016) introduzem um caminho **Híbrido** (estático + dinâmico) para Sequência: gera-se um conjunto de entradas a partir do CFG, coletam-se traços por instrumentação/VM, sintetiza-se uma IR comportamental em *Colored Petri Nets* e, então, mapeia-se para UML 2.x, obtendo maior fidelidade comportamental, embora sem validação empírica robusta reportada. Por fim, Siala (2024) preserva o caráter **Estático** ao integrar LLMs como camada semântica (texto intermediário UML/OCL seguido de *model repair*), ampliando o objetivo para **migração** em sistemas legados e apontando uma inflexão do “estrutural puro” para um *estrutural + semântico*.

**RQ4 — Técnicas e transformações.** As abordagens convergem em um esqueleto MDRE que encadeia *Text-to-Model* e *Model-to-Model*: análise sintática do código (*parsing*) para **AST** ou **IR** textual, seguida de mapeamentos para o metamodelo UML. Ainda assim, diferem nos *intermediários*, nos operadores de fluxo usados para recuperar comportamento e no quanto incorporam *semântica* além da sintaxe. Em

Zhang (2016), o núcleo é a **J2X** (DTD/XML), uma IR (*Intermeadiate Representation*) que padroniza elementos de linguagem; o diagrama de classes surge de metadados extraídos dessa IR (Interme), enquanto o diagrama de sequência resulta da **integração OFG+CFG** (rastros de objetos + fluxo de controle) para identificar *lifelines*, *messages* e *combined fragments* (**alt/opt/loop**) de modo inteiramente estático. Fauzi, Hendradjaya e Sunindyo (2016) elimina o XML e vai direto da **AST** (JavaParser) para *Sequence*, guiado por uma travessia **DFS pós-ordem** com registro de variáveis, resolução de herança/polimorfismo e marcação de estruturas condicionais/iterativas; a apresentação é automatizada via **PlantUML**. Já Sabir *et al.* (2019) formalizam o pipeline clássico **T2M/M2M** em duas fases: da AST para um **Intermediate Model (XML/EMF)** e, então, do IM (*Intermeadiate Model*) para **UML2** (Classe + *Activity* por operação), com regras de transformação implementadas no ecossistema Eclipse/UML2. O **híbrido** de Baidada e Jakimi (2016) desloca a recuperação comportamental para uma IR executável: um **CFG** orienta a geração de entradas; execuções instrumentadas produzem *traces* filtrados; esses traços são sintetizados como **Colored Petri Nets (CPN)** e finalmente mapeados para *UML Sequence*, capturando paralelismo e operadores combinados com maior fidelidade às execuções reais. Em domínio não-Java, Leatongkam, Nanthamornphong e Rouson (2017) mantém a análise estática por **regras formais de mapeamento** (Fortran OO → UML), uma *tree node structure* análoga à AST, e geração de **XMI** para importação/visualização no ArgoUML, expandindo o ForUML para *Sequence*. Duas linhas recentes aplicam *aprendizado*: Yang *et al.* (2016) não cria um novo artefato, mas **condensa** o diagrama de classes com um pipeline *métricas* → *normalização* (*z-score*) → *k-means* → *under-sampling* → *ensemble* (*Random Forest*), priorizando classes “importantes” e reduzindo a complexidade visual; e Siala (2024) introduz **LLMs** como camada *semântica*: o código é tokenizado/simplificado, traduzido para uma **representação textual intermediária UML/OCL**, submetida a *model repair* e convertida em diagramas (PlantUML/Graphviz/Modelio).

Em termos de *trade-offs*, IRs sintáticas (J2X, XMI, EMF) maximizam portabilidade e auditabilidade do pipeline; CPNs elevam a *fidelidade comportamental* à custa de instrumentação; e LLMs ampliam a *capacidade explicativa* ao incorporar indícios semânticos (nomes, comentários, docstrings).

**RQ5 — Ferramentas/frameworks.** O ecossistema técnico das abordagens analisadas agrega *parsers*/geradores UML, frameworks MDE e utilitários de visualização/mineração. Em Zhang (2016), a cadeia J2X apoia-se na **J2UML** (orquestração), no **JavaCC** (geração do parser/AST), em **DOM4J** (manipulação XML) e no próprio **J2X (DTD/XML)** como IR; os experimentos reportam ambiente Windows 32-bit (3 GB RAM; Core 2 Duo). Em Yang *et al.* (2016), para “condensar” diagramas de classes, utilizam-se **MagicDraw** (recuperação de Classe), **SDMetrics** (métricas), e **Random Forest** (classificador), com relatos do ambiente *Windows 7* (64-bit). A Fauzi, Hendradjaya e Sunindyo (2016) (REVUML) integra **JavaParser** (AST) e **PlantUML** (renderização do Sequência), dispensando IR XML intermediária. Em Baidada e Jakimi (2016), não há ferramenta nominal de ponta a ponta: a coleta se dá por **instrumentação/JVM/debugger**, a IR comportamental usa **Colored Petri Nets** (sugerindo uso de *CPN Tools*), e o mapeamento segue **UML 2.x**. Em Lea-

tongkam, Nanthaamornphong e Rouson (2017), a extensão da **ForUML** gera **XMI (OMG)** para importação no **ArgoUML** (visualização de Sequência). No framework Sabir *et al.* (2019) (Src2MoF), o gerador baseia-se em **Eclipse+UML2/EMF** e o **JavaParser** integra o IMD; ferramentas como **Papyrus/StarUML/Rational Rose** são citadas apenas para comparação manual, não no pipeline automático. Por fim, Siala (2024) combina **AgileUML/OMG MDA** com **LLMs** (camada semântica) e usa **Graphviz**, **PlantUML** e **Modelio** para materializar *UML/OCL* (fase M2V).

**RQ6 — Validação e qualidade prática.** A avaliação varia de **estudos de caso pequenos com acurácia estrutural** (classes 96,4–100%, relações 65,0–90,4) (Zhang, 2016), a **testes sistemáticos** de geração de sequência (Fauzi; Hendradjaya; Sunindyo, 2016), e **comparação especialista** sem métricas quantitativas (Sabir *et al.*, 2019). Yang *et al.* (2016) recorre a **AUC** e testes estatísticos (Wilcoxon, Cliff’s  $\delta$ ) para condensação de classes. Baidada e Jakimi (2016) não reporta validação empírica. Em suma, há carência de avaliações *comparativas* com ground truth e métricas padronizadas na maioria dos trabalhos.

Leitura crítica (versão mais explícita). Os fluxos T2M/M2M sustentam traçabilidade e reprodutibilidade quando ancorados em IRs explícitas (J2X, EMF, XMI). Abordagens híbridas elevam a fidelidade comportamental (Petri Nets), mas dependem de instrumentação. As abordagens com LLMs (e.g., Siala 2024) inserem uma etapa semântica — código  $\rightarrow$  representação textual próxima de UML/OCL — sem quebrar a cadeia MDA: os modelos continuam conformes a metamodelos OMG (via AgileUML) e podem ser materializados/validados em ferramentas padrão (Modelio, PlantUML, Graphviz), preservando a interoperabilidade do pipeline.

**Implicações para este trabalho.** Plano estático (objetivo: casos de uso a partir de Python)

Código  $\rightarrow$  AST (IM/IR). Parser de Python para construir a AST como modelo intermediário.

Candidatos a casos de uso. Heurística estática: funções/métodos “públicos” viram use cases candidatos.

Clusterização para agrupar intenções. Embeddings de código e de AST (NFASRPR-TRANS) para representar o código fonte; K-means/HDBSCAN agrupam métodos por intenção/semântica. – O centróide do cluster nomeia o caso de uso; demais métodos viram passos/serviços/extends/includes.

Relacionamentos estáticos.

include: subrotinas/serviços invocados por  $\geq k$  casos de uso candidatos (reuso sistemático no grafo de chamadas).

extend: chamadas opcionais guardadas por condições (flags/feature toggles/validações) detectadas no AST/CFG; marcam “pontos de extensão” do caso de uso base.

generalização (atores e casos): herança/implementação e sobrecarga de nomes (métodos homônimos (Shape, TextShape, GeometryShape) em super/subclasses) indicam especializações; atores inferidos de camadas de borda (controllers, adapters, decorators de rota) - rever.

dependência entre casos: mapeada de chamadas entre métodos “públicos” → dependência entre use cases.

Geração (PlantUML). Serialização dos nós (casos, atores) e arestas (include/extend/generalização/dependência) em PlantUML.

Por que estático é suficiente (e como ancoramos)

Extração de casos de uso a partir de métodos públicos. Pereira, Martínez e Favre (2011)

Generalização por herança/nomes homônimos. O mesmo trabalho mapeia herança estática para generalização: “generalization relations are obtained from inheritance and from public methods with the same signature in different classes.”turn19file0L107-L110 Fonte usada: regras de transformação (ATL) — adotamos a mesma leitura para Python (classes e MRO).

Dependências entre casos a partir de chamadas. A transformação ATL inclui: “for each dependency between two public methods, create a dependency between the corresponding use cases.”turn19file2L1-L7 Fonte usada: regra Dependency2Dependency — base para nossas arestas de dependência/include.

Heurísticas estáticas (sem execução). Os autores salientam que a técnica é estática (propagação em grafos de dados/controle) e que o “dinâmico” só melhora classificação de dependências; manteremos apenas o estático: “we perform a propagation analysis on the data-flow graph”turn19file1L30-L37 e, mais adiante, “dynamic analysis is used to classify dependencies...” (que aqui omitimos)turn19file1L49-L57. Fonte usada: seção de análise — adotamos a parte de data-flow/AST e descartamos a parte dinâmica.

Embeddings estáticos guiados por AST. Liang e Huang (2024) descrevem um modelo com dois encoders (um para semântica lexical e outro para estrutura de AST) para sumarização de código. Assim aproveitamos os embeddings para melhorar a qualidade dos clusters.

Implicações para este trabalho. Propomos redocumentação semântica a partir de Python, combinando (i) AST como modelo intermediário (IM/IR) e (ii) embeddings sensíveis à estrutura (NFASRPR-TRANS) para inferir intenção e papel de métodos (docstrings, comentários e nomes). Casos de uso são inferidos por métodos de borda; generalizações vêm de herança/assinaturas homônimas; include decorre de subrotinas reutilizadas; extend de ramos opcionais. A saída é um Use Case Diagram em PlantUML. (Base: Pereira — extração estática por métodos públicos; embeddings orientados a AST.)

(B) Sua “arquitetura pipeline” (ajustada para 0% dinâmico)

código → AST → embeddings+clusterização → regras estáticas (include/extend/atores) → PlantUML

De onde vem: mapeamento “método público → caso de uso” e “chamada entre públicos → dependência” (Pereira)turn19file0L101-L105turn19file2L1-L7; robustez semântica dos vetores via AST-encoder.

Implementação prática (resumo)

Representação: nós = atores, casos; arestas = include, extend, generalização, dependência.

Sinais estáticos:

Atores: classes/módulos de interface (controllers/views/adapters; decorators de

rota/CLI).

include: função/método chamado por  $\geq k$  casos distintos; baixa complexidade ciclomática; sem guardas específicas.

extend: chamadas condicionais (predicados sobre entrada/estado/feature-flag) marcando “pontos de extensão”.

generalização: herança + homonímia de assinatura nos métodos.

$score = \alpha \cdot (\text{freq. de reuso}) + \beta \cdot (\text{centralidade no call graph}) - \gamma \cdot (\text{força da guarda condicional})$

Saída: .puml gerado a partir do grafo.

Citações (trechos originais)

Recovering Use Case Diagrams from Object-Oriented Code: “Each public method of a class corresponds to a use case whose name is the same as the method name.”turn19file0L101-L105

Recovering Use Case Diagrams from Object-Oriented Code: “generalization relations are obtained from inheritance and from public methods with the same signature in different classes.”turn19file0L107-L110

Recovering Use Case Diagrams from Object-Oriented Code: “for each dependency between two public methods, create a dependency between the corresponding use cases.”turn19file2L1-L7

Recovering Use Case Diagrams from Object-Oriented Code: “we perform a propagation analysis on the data-flow graph”turn19file1L30-L37

Integrating Non-Fourier and AST-Structural Relative Position Representations. . . : “made up of two different types of encoders and one decoder. . . ”turn22file3L17-L21; “. . . learn the structural information. . . ”turn22file3L29-L33; “. . . allow the model to understand the semantics and syntax of the source code.”turn22file8L1-L5

Se topár, já escrevo o esqueleto do extrator (AST  $\rightarrow$  grafo  $\rightarrow$  PlantUML) e a rotina de scoring de include/extend.

Ajuste do plano estático (ancorado no artigo)

Elementos e regras de extração (todos estáticos):

Casos de uso (UC): cada método público vira um UC com o mesmo nome do método (no seu caso, prefixe com o nome da classe para evitar colisões). Trecho-base (“Recovering Use Case Diagrams from Object Oriented Code”): “Basic use cases are extracted analyzing public methods. Each public method of a class corresponds to a use case whose name is the same as the method name.”

Generalização (entre UCs): quando houver herança e mesmo nome/assinatura entre métodos em classes distintas, gere generalização entre os UCs correspondentes: “For each pair of same-name methods which are members of different classes with a generalization between them, a generalization between use cases. . . is generated.”

Dependência entre UCs (aresta genérica): para cada chamada p.g() dentro de um método público m, crie dependência entre UC(m) e UC(g): “For each public method of a class, the method calls are analyzed to extract dependence relationships among basic use cases. Each message sent to an object corresponds to a dependence between use cases.”  $\rightarrow$  Decisão do seu trabalho (100% estático): manter apenas “Dependency” (sem classificar em «include»/«extend»), pois a própria autora afirma que o tipo (include/extend) “may be inferred by a dynamic analysis” — que você não quer usar.

Atores: não inferir automaticamente (manter passo manual/regras externas), pois “actors can not be automatically inferred”.

Passos do processo (estático): (1) gerar código abstrato/AST; (2) executar algoritmo de recuperação estática; (3) (dinâmico para classificar dependências) — omitido no seu trabalho; (4) definir UCs de alto nível.

Elevação de nível (agrupar UCs): aplicar heurísticas de clusterização para formar UCs mais abstratos: “use cases may be clustered in single more abstract use cases by applying simple heuristics”. (Heurísticas a/b do passo 4).

Observação prática: você pode manter todas as arestas como Dependency e, apenas na visualização, sinalizar candidatos a include (reuso alto/fan-in elevado) e candidatos a extend (dependências sob guarda condicional detectável no AST/CFG). Isso segue a letra do artigo (classificação formal requer dinâmica), mas entrega valor prático na redocumentação.

“Implicações para este trabalho” (versão enxuta, acadêmica, só estático)

Implicações para este trabalho. Propomos uma redocumentação estática de casos de uso para sistemas Python. O modelo intermediário (IM/IR) será a AST, da qual extrairemos: (i) casos de uso a partir de métodos/funções públicas; (ii) generalizações de UCs a partir de herança e homonímia de assinatura; e (iii) dependências entre UCs a partir de chamadas. Em coerência com Pereira et al., a classificação de dependências em «include»/«extend» é deliberadamente não automatizada (dinâmica fora de escopo); portanto, representamos “Dependency” e destacamos candidatos com heurísticas estáticas (reuso/guardas). Atores permanecem manuais. Para elevar o nível de abstração, aplicamos clusterização de UCs conforme as heurísticas de agrupamento do passo 4, gerando pacotes e UCs abstratos. A saída é um Use Case Diagram em PlantUML.

De onde veio cada regra (artigo + citação original em inglês):

Use case from public method: “Each public method of a class corresponds to a use case. . .” (Pereira et al.)

Generalization from inheritance + same-name: “For each pair of same-name methods. . . a generalization between use cases. . . is generated.”

Dependency from calls (sem tipar estáticamente): “Each message sent to an object corresponds to a dependence between use cases. The kind of relationship, include or extend, may be inferred by a dynamic analysis.”

Atores não automáticos: “actors can not be automatically inferred.”

Clusterização para alto nível: “use cases may be clustered in single more abstract use cases by applying simple heuristics.”

Concretizando no seu pipeline

Código → AST (IM/IR): ast/LibCST; extraia: classes, heranças, visibilidade/padrões “público”, assinaturas, chamadas. (Base nos “Steps 1–2” do artigo.)

UCs: um por função/método público (nome = Classe.metodo).

Arestas “Dependency”: de  $m \rightarrow g$  para cada chamada  $p.g()$  encontrada em  $m$ .

Generalização de UCs: herança + homônimo.

Atores: curadoria manual (ou mapeamento externo); não automatizar.

Clusterização: agrupe UCs seguindo as heurísticas do passo 4 (ex.: um UC que inclui exclusivamente os demais do grupo → UC abstrato).

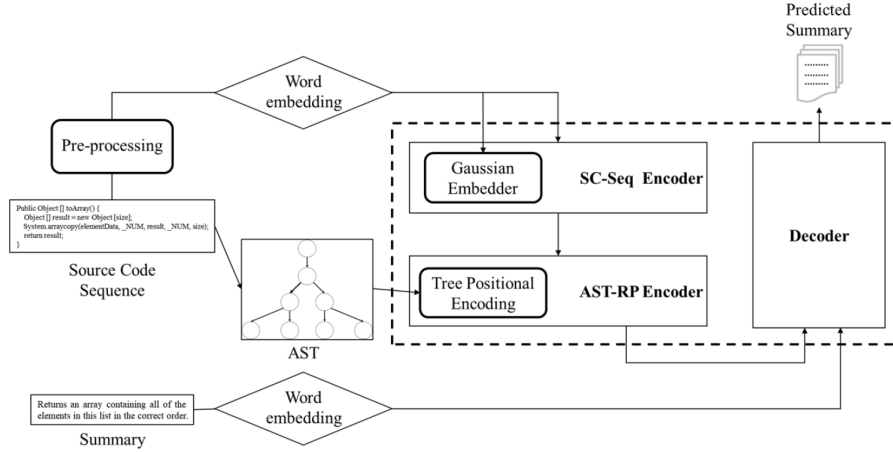


Figura 2: Fluxo de trabalho de sumarização do código-fonte do NFASRPR-TRANS.

Geração: exporte PlantUML (UCs, Dependencies, Generalizations; include/extend apenas como tags candidatos, não relações formais).

## 4 Código-fonte → AST

Adotamos Liang e Huang (2024) como referência para integrar duas representações posicionais — não-Fourier (semântica) e estrutural (AST) — no pipeline *código* → *AST* → *modelo*, usando a AST como modelo intermediário (IM/IR). O modelo NFASRPR-TRANS emprega simultaneamente o *Gaussian Embedder* e o *Tree Positional Encoding* para que o encoder aprenda, respectivamente, relações semânticas entre tokens e relações estruturais induzidas pela árvore sintática.

**Workflow.** O processo compreende: (i) pré-processamento de código/sumários; (ii) geração da AST; (iii) cálculo das duas representações relativas; (iv) alimentação dos encoders; (v) geração do resumo no *decoder*.

**Pré-processamento e AST.** Para mitigar palavras fora do vocabulário, tokens em CamelCase/snake\_case são segmentados antes do *word embedding*. As ASTs são extraídas via *javalang* (Java) e módulo *attokens* (Python).

**Representação não-Fourier.** A posição relativa entre tokens é codificada pelo *Gaussian Embedder*, com  $\sigma$  escolhido log-linearmente em  $[10^{-4}, 10^{-1}]$ ;  $\sigma$  controla o *trade-off* memorização/generalização. Adicionalmente, a injeção da posição é feita em cada camada do encoder de sequência.

**Representação estrutural (AST).** Empregamos a *Tree Positional Encoding* com travessia *Pre-order Reverse*. O procedimento é: (i) gerar a sequência *pre-order* da AST para fixar os índices dos nós; (ii) reverter essa sequência; e (iii) codificá-la pelos vetores posicionais, preservando o caminho da raiz para o nó. Ao inverter a ordem, o modelo passa a “ler” primeiro os parâmetros e depois os operadores, interpretando a

sequência como “os *subjects* executam a ação do *verb*”, o que aproxima a organização da AST da estrutura frasal “Sujeito + Verbo” em linguagem natural, sem perder a informação de programação (índices *pre-order*) que imita o processamento feito por compiladores. Note que apenas a ordem de leitura é invertida; os índices atribuídos aos nós pela travessia em pré-ordem e seus vetores de caminho da raiz ao nó são preservados (índices *pre-order*). Na prática, essa opção melhora a legibilidade e a adequação semântica das sentenças geradas em funções com estrutura complexa.

**Arquitetura e decodificação.** O sistema possui dois encoders (SC-Seq com Gaussian; AST-RP com Si-SAN e Tree) e um *decoder* Transformer padrão com *greedy* durante o teste, que seleciona a palavra com maior probabilidade.

**Evidência empírica.** Em Java e Python, NFASRPR-TRANS supera os *baselines* nas cinco métricas (2–10%) e converge mais rapidamente.

## 5 Escolha dos repositórios

Para análise foram escolhidos três repositórios independentes, dois de David Beazley e um de Brandon Rhodes, duas referências em linguagem Python. Os repositórios de David Beazley possui uma documentação completa no próprio repositório, facilitando a compreensão do software construído. Já o repositório do Brandon Rhodes não contém documentação, contudo o conteúdo é a portabilidade do jogo Colossal Cave Adventure de Fortran para Python.

### 5.1 Colossal Cave Adventure

Este trabalho utiliza como base uma reimplementação de Rhodes (2010–2015) em Python 3, que preserva o jogo original de Crowther e Don Woods, utilizando o arquivo de dados `advent.dat` Crowther e Woods (1977). O pacote permite jogar em dois modos, no *prompt* do Python e em terminal do sistema operacional. Além disso, disponibiliza *walkthroughs* automatizados na pasta de testes.

### 5.2 Descrição do jogo

*Colossal Cave Adventure*, também conhecido como *ADVENT* ou simplesmente *Adventure*, é amplamente reconhecido como o primeiro jogo de aventura baseado em texto da história, criado por Will Crowther em meados de 1975 e expandido por Don Woods em 1976.

Ambientado em uma caverna repleta de tesouros, criaturas e labirintos, o jogador interage por comandos de texto, como “*GO NORTH*” ou “*GET LAMP*”. O sistema responde com descrições que narram as consequências das ações.

Como observa Dibbell (1998), o jogo automatiza o papel do mestre (*Dungeon Master*) característico de campanhas de *Dungeons and Dragons*. Suas descrições textuais simulam a fala do mestre (“*YOU ARE IN A MAZE OF TWISTY LITTLE PASSAGES, ALL ALIKE*”).



“Como qualquer programa significativo, *Adventure* expressava a personalidade e o ambiente de seus autores.” Levy (2010)

Will Crowther e sua ex-esposa, Patricia Crowther, ambos programadores e espeleólogos, participaram do mapeamento do sistema de cavernas *Mammoth Cave*. No verão de 1974, enquanto jogava campanhas de *Dungeons and Dragons*, Will começou o desenvolvimento do seu jogo utilizando o Fortran. O mapa utilizado no jogo foi inspirado diretamente nos levantamentos realizados pelo casal durante as expedições à Mammoth Cave, construindo no código a estrutura real da caverna.

Como o próprio Will Crowther relata, a ideia do jogo surgiu da combinação entre suas experiências em espeleologia e seu interesse por *Dungeons and Dragons*: “Eu estava envolvido em um jogo de interpretação de papéis... e tive uma ideia que combinasse o meu interesse por exploração de cavernas com algo que também fosse um jogo para as crianças...” Peterson (1983).

Levy (2010) conta como inicia a colaboração de Donald Woods, um pesquisador da *Stanford Artificial Intelligence Laboratory* (SAIL), em 1976. Após ter contato com uma prévia do jogo, Woods entrou em contato com Crowther, obteve sua permissão e passou a expandir o código. Sua versão incorporou novos puzzles, criaturas e elementos de fantasia inspirados na obra de Tolkien, além de um sistema de pontuação que estabelecia um objetivo ao jogador. A versão combinada de Crowther e Woods é um marco na história da interação humano-computador.

### 5.3

Como o jogo não possui documentação original, utilizei o artigo de Jerz (2007) como referência para compreender a estrutura e o funcionamento do código. O autor recupera e examina o código-fonte escrito por Will Crowther, a partir de um backup preservado no SAIL. Jerz descreve as seis tabelas centrais que organizam os dados do jogo: descrições longas, rótulos curtos das salas, dados de mapa, vocabulário agrupado, estados estáticos e eventos ou dicas.

Essa arquitetura de dados é mantida na reimplementação em Python, embora expandida para doze seções, resultado da integração da versão de Don Woods Rhodes (2010–2015). A leitura e o processamento dessas tabelas ocorrem por meio do arquivo `advent.dat`, que preserva a semântica e a estrutura do código original.

As seis tabelas descritas por Crowther estruturam o mundo do jogo e suas interações:

1. **Long Descriptions:** textos descritivos longos que definem os ambientes e estados narrativos;
2. **Short Room Labels:** nomes curtos usados internamente para identificar locais e facilitar a navegação;
3. **Map Data:** conexões topológicas entre os ambientes e as direções de movimento possíveis;
4. **Grouped Vocabulary Keywords:** agrupamento de palavras-chave e comandos interpretados pelo sistema;

5. **Static Game States:** variáveis e condições fixas que controlam a lógica do jogo;
6. **Hints and Events:** mensagens de ajuda, eventos dinâmicos e respostas a situações específicas.

As outras seis adicionadas na versão em colaboração com Woods são:

1. *Object locations* — localização dos objetos;
2. *Action defaults* — mensagens padrão ligadas a verbos de ação;
3. *Liquid assets / flags* — COND por sala (luz, líquidos, restrições do pirata, bits de dicas);
4. *Class messages* — faixas de pontuação e mensagens de classificação do jogador;
5. *Hints* — dicas (turnos necessários, penalidade, pergunta e resposta);
6. *Magic messages* — mensagens de inicialização e manutenção.

**Tabela 1 – Long Descriptions.** A Tabela 1 contém descrições extensas dos ambientes do jogo. Com entradas identificadas de 1 a 140, ela define os textos apresentados ao jogador em diferentes locais. Cada linha representa uma sala ou estado narrativo. Parte dessas descrições refere-se diretamente a locais da caverna, como o trecho “*YOU ARE STANDING AT THE END OF A ROAD BEFORE A SMALL BRICK BUILDING*”, enquanto outras descrevem situações de falha ou eventos inesperados, como “*YOU ARE AT THE BOTTOM OF THE PIT WITH A BROKEN NECK*”.

Exemplos:

- 1 *AROUND YOU IS A FOREST. A SMALL STREAM FLOWS OUT OF THE BUILDING AND DOWN A GULLY.*
- 2 *YOU HAVE WALKED UP A HILL, STILL IN THE FOREST. THE ROAD SLOPES BACK DOWN THE OTHER SIDE OF THE HILL. THERE IS A BUILDING IN THE DISTANCE.*
- 3 *YOU ARE INSIDE A BUILDING, A WELL HOUSE FOR A LARGE SPRING.*

**Tabela 2 – Short Room Labels.** A Tabela 2 contém rótulos curtos correspondentes às localizações/ambientes do jogo. Com entradas numeradas de 1 a 130, nem todas as salas ou estados definidos em *Long Descriptions* possuem equivalentes resumidos.

Exemplos:

- 1 *YOU'RE AT END OF ROAD AGAIN.*
- 3 *YOU'RE INSIDE BUILDING.*
- 18 *YOU'RE IN NUGGET OF GOLD ROOM.*
- 19 *YOU'RE IN HALL OF MT KING.*

**Tabela 3 – Map Data.** A Tabela 3 codifica a topologia do mundo do jogo e as regras de navegação, funcionando como um grafo dirigido rotulado. A primeira coluna indica o ambiente em que o jogador se encontra, a segunda define o ambiente de destino, e as colunas subsequentes agrupam os vocabulários que podem ser utilizados para realizar a transição entre os dois pontos. O mapeamento dos vocabulários é definido na Tabela 4.

Em alguns casos, o valor do destino representa uma condição especial, e não uma simples sala. Se o número de destino for maior que 500, o jogo exibe uma mensagem da Tabela 6 e o jogador permanece no mesmo local; Se estiver entre 300 e 500, o valor indica um salto especial para um trecho de código do jogo.

Exemplos:

- 1 2 2 44 29: o jogador se desloca do ambiente 1 ao ambiente 2, se utilizados os comando 2, 44 ou 29.
- 3 1 3 11 32 44: o jogador se desloca do ambiente 2 ao ambiente 1 se utilizados os comando 3, 11, 32 ou 44.

**Tabela 4 – Grouped Vocabulary Keywords.** No código original em Fortran, toda entrada de texto era truncada nos cinco primeiros caracteres, de modo que o comando *“inventory”*, por exemplo, poderia ser digitado simplesmente como *“inven”*. A reimplementação em Python de Rhodes (2010–2015) preserva essa lógica.

Os dados da tabela 4 são divididos em 4 grupos: o primeiro com id’s entre 1 e 100 para movimento no jogo; com ids entre 1000 e 2000, trata de objetos manipuláveis ou características de cenário; com ids entre 2000 e 3000 são verbos de ação, se entre 3000 e 4000 são para casos especiais.

- 1–100: verbos de movimento, utilizados para navegação no espaço do jogo;
- 1000–2000: objetos e elementos de cenário manipuláveis;
- 2000–3000: verbos de ação (*carry*, *attack*, *drop*, etc.);
- 3000–4000: verbos de casos especiais, geralmente associados a eventos ou mensagens específicas definidas na Tabela 6.

Além dos comandos clássicos de navegação por bússola, *“EAST”/“E”*, *“WEST”/“W”*, *“NORTH”/“N”*, *“SOUTH”/“S”*, parte dos verbos de movimentos são nomes de locais da caverna como *“BEDQU”*(truncamento de *Bedquilt*), *“HOUSE”*, *“GATE”*e *“FORES”*(*forest*).

Exemplos:

- 2 *ROAD*
- 3 *ENTER*
- 3 *DOOR*
- 3 *GATE*

- 4 *UPSTR*
- 5 *DOWNNS*
- 6 *FORES*

Palavras de mesmo sentido/sinônimos possuem mesmo id, como "*ENTER*", "*DOOR*" e "*GATE*".

**Tabela 5 – Static Game States.** A Tabela 5 armazena descrições curtas que representam estados do jogo, correspondendo às mudanças permanentes no ambiente. Cada linha contém um número e uma mensagem descritiva.

Quando o identificador está entre 1 e 100, a linha define a mensagem de inventário associada a um objeto, exemplo: "*SET OF KEYS*" se refere a "*KEYS*". Quando o identificador é um múltiplo de 100, a mensagem descreve uma propriedade do objeto.

Exemplos:

- 1 SET OF KEYS
- 000 THERE ARE SOME KEYS ON THE GROUND HERE.
- 2 BRASS LANTERN
- 000 THERE IS A SHINY BRASS LAMP NEARBY.
- 100 THERE IS A LAMP SHINING NEARBY.
- 3 \*GRATE
- 000 THE GRATE IS LOCKED.
- 100 THE GRATE IS OPEN.

**Tabela 6 – Hints and Events.** A Tabela 6 reúne mensagens arbitrárias usadas como dicas e como descrições de eventos pontuais. Essas mensagens não estão relacionadas a um ambiente ou objeto específicos, elas são acionadas por outras estruturas do jogo, como as tabelas 3, 4, 8 e 11.

Exemplos:

1. 3 AXE AT YOU WHICH MISSED, CURSED, AND RAN AWAY.
2. 6 NONE OF THEM HIT YOU!
3. 13 I DON'T UNDERSTAND THAT!
4. 24 YOU ARE ALREADY CARRYING IT!
5. 33 I DON'T KNOW HOW TO LOCK OR UNLOCK SUCH A THING.

**Tabela 7 – Object Locations.** A Tabela 7 define onde cada objeto surge no mundo do jogo e se ele é móvel ou fixo. Cada linha possui o identificador do objeto, a sala inicial, e um campo opcional que indica imobilidade (-1) ou uma segunda sala quando o objeto existe simultaneamente em dois lugares

- Sala inicial = 0: o objeto não aparece no mundo no início e só será criado por algum evento ou ação do jogador.
- Terceiro campo = -1: o objeto está fixo naquela sala (não pode ser carregado).
- Terceiro campo = número de sala: o objeto está presente em duas salas ao mesmo tempo, objetos com duas localizações são tratados como imóveis.

Exemplos:

- 1 3: objeto 1 (1001 - KEY, KEYS) começam na sala 3 (INSIDE BUILDING).
- 2 3: objeto 2 (1002 - LAMP, HEADL, LANTE) começam na sala 3 (INSIDE BUILDING).
- 3 8 9: objeto 3 (1003 - grate) existe nas salas 8 e 9 simultaneamente (8 - YOU'RE OUTSIDE GRATE, 9 - YOU'RE BELOW THE GRATE.).
- (9 - DOOR) (94 - YOU ARE AT ONE END OF AN IMMENSE NORTH/SOUTH PASSAGE.)
- 9 94 -1: objeto 9 (1009 - DOOR) é fixo na sala 94 (94 - YOU ARE AT ONE END OF AN IMMENSE NORTH/SOUTH PASSAGE.).
- 15 0: objeto 15 (1015 - OYSTE) começa fora do mundo e aparece mais tarde.

**Tabela 8 – Action Defaults.** A Tabela 8 define o comportamento padrão dos verbos de ação, associando cada identificador de verbo ao índice da mensagem correspondente na Tabela 6. Cada linha contém dois valores: o primeiro é o número do verbo de ação, e o segundo é o identificador da mensagem padrão que deve ser exibida.

Exemplos:

- 1 24: o verbo de ação associado ao id 1 (2001 - CARRY, TAKE, KEEP, CATCH, STEAL, CAPTU, GET, TOTE) e a mensagem 24 da tabela 6 (YOU ARE ALREADY CARRYING IT!).
- 6 33: o verbo de ação associado ao id 6 (2006 - LOCK, CLOSE) e a mensagem 33 da tabela 6 (I DON'T KNOW HOW TO LOCK OR UNLOCK SUCH A THING.).
- 7 38: o verbo de ação associado ao id 7 (2007 - LIGHT, ON) e a mensagem 38 da tabela 6 (YOU HAVE NO SOURCE OF LIGHT.).

**Tabela 9 – Liquid Assets, Etc.** A Tabela 9 define os bits de condição associados a cada sala, controlando luz, líquidos, presença de inimigos e zonas de interesse para as rotinas de dicas. Cada linha contém um identificador de bit e uma lista de até vinte localizações nas quais esse bit é ativado. O jogo usa esses bits para determinar o comportamento dinâmico de cada ambiente.

- 0: indica que o ambiente está naturalmente iluminado.
- 1: tipo de líquido usado em conjunto com o bit 2. Quando o bit 2 está ativo, este bit diferencia óleo (1) de água (0).
- 2: marca as salas que contêm água ou óleo.
- 3: impede que o pirata apareça ali, exceto quando persegue o jogador.
- 4: jogador tentando entrar na caverna.
- 5: tentativa de capturar o pássaro.
- 6: interação com a cobra.
- 7: perdido no labirinto.
- 8: refletindo no quarto escuro.
- 9: na área final Witt's End.

Exemplos:

- 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 100 115 116 126: salas naturalmente iluminadas próximas à entrada.
- 2 1 3 4 7 38 95 113 24: presença de líquido (água ou óleo) nessas salas.
- 9 108: marca a área final do jogo, Witt's End.

**Tabela 10 – Class Messages.** A Tabela 10 contém as mensagens de classificação do jogador de acordo com a pontuação total atingida ao final da partida. Cada linha associa um limite superior de pontuação a uma mensagem que descreve o título ou o nível de habilidade alcançado.

Exemplos:

- 35: YOU ARE OBVIOUSLY A RANK AMATEUR. BETTER LUCK NEXT TIME.
- 100: YOUR SCORE QUALIFIES YOU AS A NOVICE CLASS ADVENTURER.
- 130: YOU HAVE ACHIEVED THE RATING: 'EXPERIENCED ADVENTURER'.

- 200: YOU MAY NOW CONSIDER YOURSELF A ‘SEASONED ADVENTURER’.
- 250: YOU HAVE REACHED ‘JUNIOR MASTER’ STATUS.
- 300: MASTER ADVENTURER CLASSES C.
- 330: MASTER ADVENTURER CLASSES B.
- 349: MASTER ADVENTURER CLASSES A.
- 9999: ALL OF ADVENTUREDOM GIVES TRIBUTE TO YOU, ADVENTURER GRANDMASTER!

**Tabela 11 – Hints.** A Tabela 11 associa dicas contextuais a condições determinadas de jogo. Cada linha contém cinco valores:

- O primeiro valor vincula a dica a uma condição definidos na Tabela 9.
- O segundo valor define quantos turnos o jogador deve gastar no mesmo estado antes da dica ser oferecida.
- O terceiro valor representa a penalidade subtraída da pontuação total ao aceitar a ajuda.
- Os dois últimos valores apontam para mensagens da Tabela 6: a pergunta inicial e a resposta.

Exemplos:

- 4 4 2 62 63 — Bit 4 (entrada da caverna): após 4 turnos no local, o jogo exhibe a pergunta 62 (Do you need help getting inside?) e, se aceita, mostra a resposta 63 (Perhaps you should explore the grate.), descontando 2 pontos.
- 6 8 2 20 21 — Bit 6 (cobra): depois de 8 turnos, o jogador recebe uma dica para resolver o enigma da serpente.
- 7 75 4 176 177 — Bit 7 (labirinto): após 75 turnos perdido, é oferecida uma dica de saída, com penalidade de 4 pontos.
- 8 25 5 178 179 — Bit 8 (quarto escuro): a dica surge depois de 25 turnos, custando 5 pontos.

**Tabela 12 – Magic Messages.** A Tabela 12 contém as chamadas *Magic Messages*, um conjunto de mensagens reservadas utilizadas pelos modos de inicialização, manutenção e administração do jogo. Embora seu formato seja idêntico ao da Tabela 6, elas são separadas para facilitar o acesso e o controle das rotinas especiais do sistema. Cada linha contém um identificador e um texto associado.agens internas do sistema.

Exemplos

- 1 A LARGE CLOUD OF GREEN SMOKE APPEARS IN FRONT OF YOU... HE MAKES A SINGLE PASS OVER YOU WITH HIS HANDS, AND EVERYTHING FADES AWAY INTO A GREY NOTHINGNESS.
- 2 EVEN WIZARDS HAVE TO WAIT LONGER THAN THAT!
- 3 I'M TERRIBLY SORRY, BUT COLOSSAL CAVE IS CLOSED. OUR HOURS ARE:
- 4 ONLY WIZARDS ARE PERMITTED WITHIN THE CAVE RIGHT NOW.



## Referências

LARMAN, C. *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and the Unified Process*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 2002.

YOURDON, E.; CONSTANTINE, L. L. *Structured Design: Fundamentals of a Discipline of Computer Program and Systems Design*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1979.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. *The Unified Modeling Language User Guide*. Reading: Addison-Wesley, 1999. (Addison-Wesley Object Technology Series).

FOWLER, M. *Refactoring: Improving the Design of Existing Code*. 2. ed. Boston: Pearson Education, 2018. (Addison-Wesley Signature Series (Fowler)).

SOMMERVILLE, I.; SAWYER, P. *Requirements Engineering: A Good Practice Guide*. Chichester: Wiley, 1997.

BRUNELIÈRE, H. *et al.* MoDisco: A Generic and Extensible Framework for Model Driven Reverse Engineering. *In: PROCEEDINGS of the IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM)*. Timișoara: IEEE, 2010. p. 173–182.

TONELLA, P.; POTRICH, A. *Reverse Engineering of Object-Oriented Code*. New York: Springer, 2007. (Monographs in Computer Science).

CHIKOFFSKY, E. J.; CROSS, J. H. Reverse Engineering and Design Recovery: A Taxonomy. *IEEE Software*, IEEE, v. 7, n. 1, p. 13–17, 1990.

ZHANG, H. An Approach for Extracting UML Diagram from Object-Oriented Program Based on J2X. Versão inglesa. *In: INTERNATIONAL Forum on Mechanical, Control and Automation (IFMCA 2016)*. Changchun, China: Atlantis Press, 2016. p. 266–276. Published in *Advances in Engineering Research*, vol. 113.

YANG, X. *et al.* Condensing Class Diagrams With Minimal Manual Labeling Cost. Versão inglesa. *In: PROCEEDINGS of the 40th IEEE Annual International Computers, Software and Applications Conference (COMPSAC 2016)*. Atlanta, Georgia, USA: IEEE, 2016. p. 22–31. Published in *COMPSAC 2016: Proceedings of the 40th IEEE Annual International Computers, Software and Applications Conference*.

FAUZI, E.; HENDRADJAYA, B.; SUNINDYO, W. D. Reverse Engineering of Source Code to Sequence Diagram Using Abstract Syntax Tree. *In: 2016 International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*. Denpasar, Indonesia: IEEE, 2016. p. 1–6.

BAIDADA, C.; JAKIMI, A. Towards a New Hybrid Approach of the Reverse Engineering of UML Sequence Diagram. *In: 2016 7th IEEE International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS)*. Beijing, China: IEEE, 2016. p. 164–168.

LEATONGKAM, A.; NANTHAAMORNPHONG, A.; ROUSON, D. W. WIP: Generating Sequence Diagrams for Modern Fortran. *In: 2017 IEEE/ACM 12th International Workshop on Software Engineering for Science (SE4Science)*. Buenos Aires, Argentina: IEEE, 2017. p. 22–25.

SABIR, U. *et al.* A Model Driven Reverse Engineering Framework for Generating High Level UML Models from Java Source Code. *IEEE Access*, v. 7, p. 158931–158950, 2019.

SIALA, H. A. Enhancing Model-Driven Reverse Engineering Using Machine Learning. Versão inglesa. *In: 2024 IEEE/ACM 46th International Conference on Software Engineering: Companion Proceedings (ICSE-Companion)*. Lisbon, Portugal: IEEE/ACM, 2024. p. 1–13. King’s College London, London, UK.

PEREIRA, C.; MARTÍNEZ, L.; FAVRE, L. Recovering Use Case Diagrams from Object-Oriented Code: An MDA-Based Approach. *In: 2011 Eighth International Conference on Information Technology: New Generations (ITNG)*. Las Vegas, NV: IEEE, 2011.

LIANG, H.-M.; HUANG, C.-Y. Integrating Non-Fourier and AST-Structural Relative Position Representations Into Transformer-Based Model for Source Code Summarization. *IEEE Access*, v. 12, p. 9871–9889, jan. 2024.

RHODES, B. *Adventure (Python 3 Port): A Faithful Port of Crowther and Woods’s 1977 FORTRAN Adventure*. [*S. l.: s. n.*], 1 jan. 2010–31 dez. 2015.

CROWTHER, W.; WOODS, D. *Original Adventure Sources (FORTRAN) and Data*. [*S. l.: s. n.*], 1977. Archive of original sources. Linked from the historical page curated by Rick Adams.

DIBBELL, J. *My Tiny Life: Crime and Passion in a Virtual World*. New York: Holt, 1998.

LEVY, S. *Hackers: Heroes of the Computer Revolution*. 25th Anniversary Edition. Sebastopol: O’Reilly Media, 2010.

PETERSON, D. *Genesis II: Creation and Recreation with Computers*. Reston, VA: Reston Publishing Company, 1983.

JERZ, D. G. Somewhere Nearby is Colossal Cave: Examining Will Crowther’s Original “Adventure” in Code and in Kentucky. Versão inglesa. *Digital Humanities Quarterly*, 2007.