

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL JURÍDICA PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL: AGILIZANDO PROCESSOS E REDUZINDO RISCOS NO SETOR

Cezar Júnior Heinrichs Pereira Garcia¹, Estevão Busch Guerra²,
Edson Moacir Ahlert³

Resumo: A construção civil brasileira enfrenta desafios sistêmicos, como lentidão processual e riscos de não conformidade, decorrentes da complexidade e do volume de seu arcabouço normativo. O objetivo geral desta pesquisa foi desenvolver e validar a viabilidade técnica e conceitual de uma Inteligência Artificial jurídica, baseada na arquitetura *Retrieval-Augmented Generation* (RAG), capaz de otimizar a interpretação e a aplicação de regulamentações no setor. A metodologia adotada classificou-se como pesquisa aplicada e exploratória, do tipo pesquisa-ação, utilizando o framework ágil Scrum para o desenvolvimento de um protótipo de software que integra o Processamento de Linguagem Natural (PLN) e bancos de dados vetoriais. Os resultados obtidos demonstraram que a abordagem RAG supera modelos generativos puros ao mitigar alucinações, ancorando as respostas em fontes primárias confiáveis (Leis e Normas Técnicas) e garantindo a rastreabilidade da informação através de citações diretas. Conclui-se que a solução proposta é viável e preenche uma lacuna na gestão do conhecimento técnico-legal, atuando como uma ferramenta essencial de suporte à decisão que promove transparência, reduz a burocracia e aumenta a produtividade, democratizando o acesso à informação legislativa sem substituir a responsabilidade técnica do profissional humano.

Palavras-chave: inteligência artificial; construção civil; regulamentação; processamento de linguagem natural; conformidade legal.

1 Estudante de Engenharia de Software - Universidade do Vale do Taquari - Univates.

2 Estudante de Engenharia de Software - Universidade do Vale do Taquari - Univates.

3 Graduado em Tecnologia da Informação, com especialização em Tecnologias Digitais Aplicadas à Educação e mestrado em Ambiente e Desenvolvimento. Professor nos cursos de graduação nas áreas das Engenharias e Tecnologia da Informação, da Universidade do Vale do Taquari - Univates. Trabalha no Centro de Suporte Autorizado da Furukawa Electric LatAm, em serviços de Configuração de Equipamentos e Provisionamento e Implantação Assistida em Tecnologias de Redes Ópticas Passivas. Atua ainda em treinamentos e consultoria em Análise de Dados e IA para Negócios, além de projetos de inovação educacional e na formação de professores no uso das TDICs e IA.

LEGAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY: STREAMLINING PROCESSES AND REDUCING RISKS IN THE SECTOR

Abstract: Brazilian civil construction faces systemic challenges, such as procedural slowness and non-compliance risks, stemming from the complexity and volume of its regulatory framework. The general objective of this research was to develop and validate the technical and conceptual feasibility of a legal Artificial Intelligence, based on the Retrieval-Augmented Generation (RAG) architecture, capable of optimizing the interpretation and application of regulations in the sector. The methodology adopted was classified as applied and exploratory research, in the action-research modality, using the Scrum agile framework for the development of a software prototype integrating Natural Language Processing (NLP) and vector databases. The results demonstrated that the RAG approach outperforms pure generative models by mitigating hallucinations, anchoring answers in reliable primary sources (Laws and Technical Standards), and ensuring information traceability through direct citations. It is concluded that the proposed solution is viable and fills a gap in technical-legal knowledge management, acting as an essential decision support tool that promotes transparency, reduces bureaucracy, and increases productivity, democratizing access to legislative information without replacing the human professional's technical responsibility.

Keywords: artificial intelligence; civil construction; regulation; natural language processing; legal compliance.

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil no Brasil, um dos pilares da economia nacional, enfrenta um desafio crítico e sistêmico: a complexidade de seu arcabouço normativo. Este cenário impõe uma carga significativa sobre os profissionais da área, gerando um problema de gestão do conhecimento técnico-legal que impacta diretamente a eficiência do setor.

As consequências dessa complexidade manifestam-se na lentidão dos processos de licenciamento, no aumento dos custos operacionais e, criticamente, na elevação dos riscos de insegurança jurídica (CBIC, 2015). A dificuldade em navegar pelo vasto conjunto de leis e normas técnicas resulta frequentemente em atrasos nos cronogramas e passivos de não conformidade (*compliance*) (FIESP, 2023).

Diante deste cenário, o objetivo geral desta pesquisa é desenvolver e validar um modelo conceitual para uma inteligência artificial jurídica capaz de interpretar e aplicar a legislação da construção civil brasileira. A proposta visa criar uma ferramenta que utilize o processamento de linguagem natural para agilizar consultas, reduzir a margem de erro humano e aumentar a segurança jurídica na tomada de decisão.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento de uma Inteligência Artificial jurídica para a construção civil se apoia na intersecção de três grandes áreas do conhecimento: a Engenharia Civil, o Direito e a Ciência da Computação, especificamente a Inteligência Artificial. A seguir, detalhamos os conceitos fundamentais que embasam esta pesquisa.

2.1 O Cenário Regulatório da Construção Civil Brasileira

A construção civil brasileira é regida por um sistema de regulamentações multifacetado que abrange desde o planejamento urbano (Planos Diretores) até normas técnicas de desempenho (ABNT). Somam-se a isso as legislações ambientais, trabalhistas e tributárias, criando um “labirinto legal” de difícil navegação.

Dados da Câmara Brasileira da Indústria da Construção indicam que a burocracia excessiva é um dos principais entraves para o desenvolvimento do setor (CBIC, 2015). Engenheiros e gestores despendem um tempo valioso na interpretação de documentos que muitas vezes contêm linguagem ambígua e referências cruzadas. Historicamente, a gestão dessa conformidade tem sido um processo manual e dependente da expertise individual, o que a torna suscetível a erros e inconsistências.

A dificuldade não reside apenas no volume, mas também na constante atualização das normas, o que gera ineficiência e custos adicionais (FIESP, 2023). Em um contexto de baixa produtividade (Garbim, 2023), a falta de ferramentas centralizadas para auxiliar na interpretação dessas regras justifica a busca por soluções tecnológicas que automatizam a análise de conformidade.

2.2 Inteligência Artificial e PLN

A IA é um campo da ciência da computação dedicado à criação de sistemas capazes de realizar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana. Dentre suas subáreas, o processamento de linguagem natural (PLN) é particularmente relevante para este projeto. O PLN se ocupa da interação entre computadores e a linguagem humana, permitindo que as máquinas “leiam”, “compreendam” e “interpretem” textos de forma semelhante a um ser humano (Pardo; Caseli, 2020).

Conforme apontam Garcia *et al.* (2024), a área de PLN no domínio jurídico tem evoluído exponencialmente, passando de métodos estatísticos para modelos de linguagem avançados, como os Transformers. Esses modelos são capazes de realizar tarefas complexas como classificação de documentos, extração de informações, sumarização e, crucialmente, sistemas de pergunta e resposta.

A aplicação dessas técnicas no domínio jurídico tem se mostrado promissora. Estudos demonstram a viabilidade da extração de entidades nomeadas em textos legais no idioma português (Heck, 2022), uma capacidade essencial para a identificação automática de partes, leis e outros elementos em um documento.

2.3 A Aplicação da IA no Setor da Construção e no Domínio Jurídico

A aplicação da IA na construção civil já é uma realidade, embora ainda incipiente no Brasil. A crescente inclusão dessa tecnologia no setor levanta a necessidade de se compreender e endereçar os riscos e as lacunas regulatórias existentes para garantir uma implementação segura e ética (Pillai; Matus, 2019).

Nesse contexto, um estudo da Abrainc revelou que um terço das empresas do setor já possuem áreas dedicadas a novas tecnologias, utilizando IA para monitoramento com sensores, modelagem de desgastes e planejamento logístico (SINDUSCON-PR, 2025). Casos de sucesso, como o do Grupo Kallas, demonstram o uso de IA combinada com fotogrametria 3D para acompanhar o progresso de obras e sistemas que digitalizam todo o processo, gerenciando documentos e monitorando serviços em tempo real.

No âmbito internacional, a aplicação da IA para garantir a conformidade com códigos de construção já se mostra uma ferramenta poderosa. Soluções inovadoras utilizam visão computacional para processar plantas de construção, sejam elas digitais ou em papel, e modelos generativos profundos para avaliar riscos de incêndio.

Esses sistemas são capazes de interpretar layouts, extrair informações específicas de ambientes e verificar a conformidade com regulamentos de segurança, como as distâncias máximas de percurso, podendo inclusive propor redesenhos para adequação aos padrões (Chen *et al.*, 2024). Essa abordagem demonstra o potencial da IA para reduzir erros, custos e tempo nos processos de verificação de conformidade.

Contudo, observa-se uma lacuna clara na literatura atual. Embora existam avanços na IA voltada para a análise física de projetos (Chen *et al.*, 2024) e progressos no processamento de linguagem natural para o direito generalista (Garcia *et al.*, 2024), ainda inexiste uma solução que integre essas duas frentes especificamente para o contexto brasileiro. Faltam ferramentas que combinem a arquitetura RAG (Recuperação Aumentada por Geração) com princípios de *Legal Design* e *Explainable AI* (XAI) focadas na engenharia. É justamente nessa lacuna que este trabalho atua, propondo uma IA jurídica especializada capaz de traduzir o complexo “juridiquês” para a linguagem técnica da construção civil.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa, que culmina no desenvolvimento de uma Inteligência Artificial (IA) para auxiliar na conformidade legal na construção civil, adota uma abordagem metodológica rigorosa e multifacetada, alinhada com as diretrizes para a criação de um produto de software em um contexto acadêmico. O objetivo é garantir a transparência, a reproduzibilidade e a validade científica do processo de desenvolvimento, desde a concepção até a validação do sistema.

3.1 Caracterização da Pesquisa

A presente pesquisa classifica-se, quanto à sua natureza, como Aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos (a burocracia na construção civil).

Quanto aos seus objetivos, é classificada como Exploratória, visto que visa proporcionar maior familiaridade com o problema da aplicação de IA generativa na legislação da construção civil, tornando-a mais explícita e construindo hipóteses.

Quanto aos procedimentos técnicos, adota-se a Pesquisa-Ação. Esta classificação justifica-se pelo envolvimento ativo dos pesquisadores no desenvolvimento da solução tecnológica (o software) e na intervenção direta na realidade observada, buscando não apenas compreender, mas resolver o problema da gestão de conformidade.

A abordagem do problema é Mista (Quali-Quantitativa). O componente quantitativo focará na validação técnica (métricas de precisão e revocação do sistema RAG), enquanto o qualitativo analisará a usabilidade, a aceitação da tecnologia e a confiança dos profissionais na ferramenta proposta.

3.2 Estratégia de Desenvolvimento do Produto de Software

Esta seção detalha a “Metodologia de desenvolvimento de software” e as “Ferramentas e Tecnologias utilizadas”, conforme as diretrizes para a criação de um produto de software.

3.2.1 Metodologia de Desenvolvimento Ágil (Scrum)

A escolha da metodologia ágil Scrum é justificada pela natureza exploratória e de Pesquisa-Ação do projeto. O Scrum permite que o desenvolvimento do software seja realizado em ciclos curtos e iterativos (Sprints), o que é ideal para um projeto que exige a constante incorporação de feedback dos usuários-alvo e a adaptação a novas descobertas técnicas no domínio da IA. A cada *Sprint*, uma versão funcional e incremental do sistema será entregue, permitindo a validação contínua da usabilidade e da acurácia

das respostas da IA, mitigando riscos de desenvolvimento e garantindo que o produto final atenda às necessidades reais do setor.

3.2.2 Arquitetura do Sistema: Geração Aumentada por Recuperação (RAG)

Figura 1 - Arquitetura do software



Fonte: Dos autores (2025).

A arquitetura central do sistema é baseada no padrão RAG conforme ilustrado na Figura 1. O RAG é uma técnica avançada que combina a capacidade de raciocínio e geração de texto de um Grande Modelo de Linguagem (LLM) com uma base de conhecimento factual e específica do domínio, garantindo que as respostas sejam factualmente ancoradas no corpus legal da construção civil e não dependam apenas do conhecimento pré-treinado do LLM.

O sistema será composto pelos seguintes módulos principais, que operam em sequência lógica:

- Módulo de Aquisição e Pré-processamento de Dados (Corpus Legal): Este módulo é responsável pela ingestão e estruturação do vasto e heterogêneo corpus legal (leis, normas, decretos, jurisprudência) da construção civil brasileira. O processo de pré-processamento é crítico e inclui a conversão de documentos de formatos variados (PDF, DOCX) para texto puro, a limpeza de metadados irrelevantes e, fundamentalmente, a segmentação em chunks semânticos. Cada

chunk é então transformado em um vetor numérico (*embedding*) por meio de um modelo de linguagem especializado, capturando o significado contextual do texto.

- Módulo de Busca Vetorial (*Vector Store*): Atua como repositório de conhecimento do sistema. Armazena os *embeddings* do corpus legal, permitindo uma busca de alta velocidade e semanticamente relevante. Quando o usuário insere uma consulta, o módulo converte a consulta em um vetor e utiliza algoritmos de similaridade vetorial (e.g., cosseno) para recuperar os *chunks* de documentos mais relevantes (*retrieval*), mesmo que não haja correspondência exata de palavras-chave.
- Módulo de Geração (LLM): Este é o motor de raciocínio. Recebe a consulta original do usuário e os trechos de documentos recuperados (contexto) do *Vector Store*. O LLM é instruído por meio de engenharia de *prompt* (*prompt engineering*) a utilizar exclusivamente o contexto fornecido para gerar uma resposta concisa, precisa e com referências diretas às fontes normativas. Este processo de ancoragem factual é o que confere segurança jurídica à resposta.
- Interface de Usuário (UI): Uma aplicação web que serve como ponto de interação. Permite aos usuários inserir consultas em linguagem natural e visualizar as respostas geradas pelo LLM, juntamente com as referências diretas aos documentos originais que suportam a resposta, aumentando a transparência e a confiança.

3.2.3 Ferramentas e Tecnologias

O desenvolvimento será realizado utilizando um stack de tecnologias modernas e adequadas para o desenvolvimento de sistemas de IA e aplicações web, priorizando a escalabilidade e a interoperabilidade, conforme Quadro 1:

Quadro 1 - Tecnologias que serão utilizadas no desenvolvimento

Categoria	Tecnologia	Justificativa Técnica
Linguagem de Programação	Python	Padrão da indústria para IA, com vasto ecossistema de bibliotecas (e.g., PyTorch, Scikit-learn) e forte suporte para PLN.
Framework de Orquestração (RAG)	LangChain	Facilita a orquestração dos componentes RAG, abstraindo a complexidade de integração entre LLMs, <i>Vector Stores</i> e <i>Retrieval</i> .
Banco de Dados Vetorial	ChromaDB	Soluções otimizadas para armazenamento e busca eficiente de <i>embeddings</i> vetoriais em larga escala.

Categoría	Tecnología	Justificativa Técnica
Modelo de Linguagem (LLM)	Llama	Seleção baseada em desempenho no idioma português, capacidade de seguir instruções (<i>prompting</i>) e custo-benefício.
Desenvolvimento Web (UI)	React	Utilização de <i>frameworks</i> que permitem a criação rápida de protótipos e interfaces web interativas para a validação com <i>stakeholders</i> .

Fonte: Dos autores (2025).

3.3. Coleta e Preparação do Corpus Legal

A qualidade e a abrangência do sistema RAG dependem diretamente da qualidade do corpus legal.

1. Elicitação de Requisitos: O processo foca em coletar os requisitos iniciais junto aos *stakeholders* (engenheiros, arquitetos e gestores) por meio de entrevistas semiestruturadas. O objetivo é identificar as áreas legais mais críticas, as perguntas mais frequentes e o nível de detalhe esperado nas respostas da IA, direcionando a seleção do corpus.
2. Seleção do Corpus: O corpus será composto por um conjunto de documentos legais e normativos essenciais para a conformidade na construção civil brasileira, incluindo:
 - Leis Federais: Código Civil, Lei de Licitações, Estatuto da Cidade, e legislação ambiental e trabalhista pertinente.
 - Normas Técnicas: Seleção de NBRs da ABNT mais relevantes para o compliance (e.g., NBR 9050 - Acessibilidade, NBR 6118 - Projeto de Estruturas de Concreto, NBR 15575 - Desempenho).
 - Regulamentações Locais: Foco em um município ou estado específico para a prova de conceito (e.g., Plano Diretor, Código de Obras local, legislação de uso e ocupação do solo).
3. Pré-processamento: Os documentos serão submetidos a um *pipeline* de processamento que inclui a conversão para texto, a limpeza de caracteres especiais e metadados, e a segmentação estratégica. A segmentação será ajustada para garantir que cada *chunk* contenha um contexto semântico completo (e.g., um artigo de lei ou um parágrafo normativo), otimizando a qualidade dos *embeddings* e, consequentemente, a precisão do retrieval.

3.4 Modelagem e Design da Solução (Arquitetura RAG)

Esta seção detalha a “Modelagem de dados” e a “Arquitetura de software”, justificando as escolhas tecnológicas para a construção do produto.

3.4.1 Arquitetura de Software: Geração Aumentada por Recuperação

A arquitetura de software escolhida para o produto é a Geração Aumentada por Recuperação (RAG), uma decisão metodológica deliberada e superior ao *fine-tuning* de LLMs para o contexto jurídico. Esta escolha é fundamentalmente motivada pela necessidade de mitigar o principal risco de LLMs aplicados ao Direito: as “alucinações”, que são a geração de informações factualmente incorretas ou a citação de leis inexistentes. A RAG resolve este problema ao aterrizar (*grounding*) a resposta do LLM em um “Contexto” recuperado de um corpus jurídico confiável, garantindo que a informação gerada seja factualmente correta e diretamente suportada por fontes primárias.

Além da precisão factual, a arquitetura RAG atende a requisitos cruciais de confiança e manutenção. Ela permite a rastreabilidade e citação ao apresentar ao usuário as “Fontes e Referências” exatas utilizadas para formular a resposta, oferecendo transparência total e validando a informação. Adicionalmente, em um corpus legal que é vasto e mutável, a RAG simplifica a atualização de conhecimento. Enquanto um modelo *fine-tuned* exigiria um retreinamento caro e demorado a cada mudança na lei, a RAG requer apenas a atualização do documento no Banco de Dados Vetorial, tornando o processo rápido e de baixo custo.

3.4.2 Modelagem e Seleção de Componentes de IA

A modelagem e seleção dos componentes de IA para a arquitetura RAG concentram-se no *Pipeline* de Ingestão, que é o alicerce do sistema de recuperação (*retrieval*). Para o Modelo de *Embedding* (PLN), foi selecionado o ROBERTaLexPT. Esta escolha é essencial, pois modelos genéricos de PLN não conseguem capturar as nuances do domínio jurídico em português. O ROBERTaLexPT, pré-treinado em um vasto corpus legal, garante que a semântica do “juridiquês” seja mapeada corretamente em vetores numéricos, otimizando a precisão da busca.

O Banco de Dados Vetorial armazena estes *embeddings*. A seleção da tecnologia é crítica, pois o corpus da construção civil é altamente segmentado por jurisdição (Leis Federais, NBRs, Planos Diretores Municipais). Isso exige uma busca híbrida: uma busca semântica (vetorial) combinada com uma filtragem de metadados de alta performance. A análise dos principais bancos de dados vetoriais disponíveis, focada em sua capacidade de suportar os requisitos de busca híbrida e filtragem de metadados complexos, é resumida no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2 - Estudo sobre os diferentes bancos de dados vetoriais

Métrica	Qdrant	Milvus	Weaviate	pgvector
Tipo	<i>Open-source</i> (Rust)	<i>Open-source</i> (Go/C++)	<i>Open-source</i> (Go)	Extensão (PostgreSQL)
Performance da Busca	Alta	Muito Alta (Escala)	Alta	Média (Depende do Índice)
Filtragem de Metadados	Excelente (Pré-Filtragem)	Boa (Pós-Filtragem)	Boa (Busca híbrida nativa)	Boa (SQL WHERE)
Justificativa	Otimizado para RAG com filtros complexos e uso eficiente de recursos.	Ideal para escala massiva (bilhões de vetores).	Foco em busca semântica nativa com módulos de IA.	Ideal se os metadados já residem em um PostgreSQL existente.

Fonte: Dos autores (2025).

Com base nesta análise, o *Qdrant* foi selecionado. Sua arquitetura é otimizada para aplicar filtros de metadados antes da busca vetorial (pré-filtragem), o que é crucial para a performance em um córpus segmentado por jurisdição, oferecendo o melhor equilíbrio entre desempenho e eficiência de recursos para os requisitos específicos do projeto.

3.5 Fase 3: Processo de Implementação

O “Processo de Implementação” traduz a modelagem e a arquitetura (Seção 3.4) em código funcional, seguindo os *sprints* definidos na metodologia *Scrum* (Seção 3.2.1). As “Estratégias de codificação” não se concentram em padrões de design de software tradicionais (ex: *Singleton*, *Factory*), mas sim nos padrões de engenharia específicos da arquitetura RAG.

As duas estratégias de codificação centrais serão:

Implementação do Chunking Semântico: O primeiro artefato de código é o *script* de ETL. Este *script* implementa a lógica de divisão semântica (definida na Seção 3.3.2), processando os documentos legais para criar *chunks* que respeitem os limites lógicos (artigos, seções, parágrafos). Crucialmente, este *script* também é responsável por extrair os metadados (ex: Lei nº 10.257/2001, Art. 15, Município: Lajeado) e armazená-los junto ao vetor no *Qdrant*. Esta etapa de codificação é o que permite a filtragem (Seção 3.4.2) e a citação (Seção 3.4.3).

Engenharia de *Prompt* (*Prompt Engineering*): A estratégia de codificação mais crítica do “Motor de Inferência” é o design do *prompt* enviado ao LLM. Um *prompt* mal formulado pode levar o LLM a ignorar o contexto recuperado e “alucinar”. O *prompt* do sistema será estruturado (programado) para forçar o *grounding* (aterramento) e a citação, seguindo um modelo similar:

“Você é um assistente especialista em legislação da construção civil brasileira. Sua tarefa é responder à pergunta do usuário estritamente com base no contexto fornecido. Não utilize nenhum conhecimento prévio. Se a resposta não estiver no contexto, informe que não encontrou a informação. Cite as fontes de cada informação usando os metadados do contexto.”

4 RESULTADOS

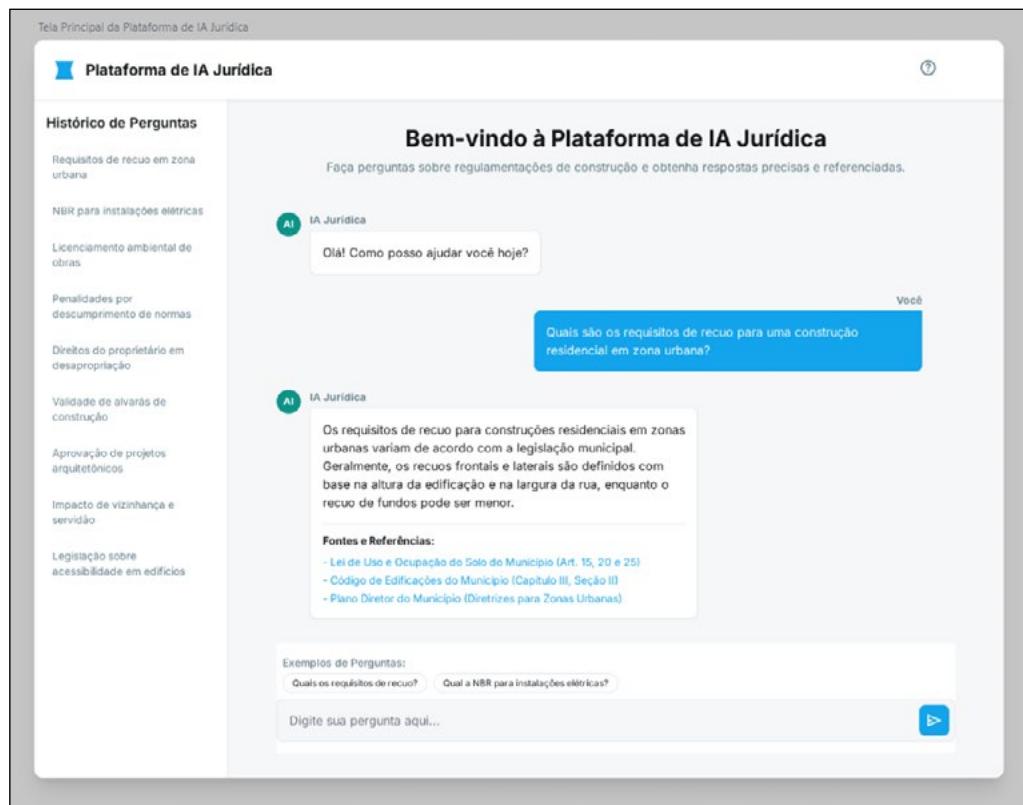
4.1 Resultados Parciais: Prototipação e Fluxos

A etapa de prototipação foi conduzida com foco na usabilidade e na clareza da informação, elementos essenciais para a adoção de ferramentas de *Legal Design*. Foram desenvolvidas telas que simulam a jornada completa do usuário, desde o login até a obtenção de uma resposta fundamentada juridicamente.

4.1.1 Interface de Interação (*Chatbot*)

A tela principal da aplicação foi projetada para ser minimalista, reduzindo a carga cognitiva do usuário. O foco central é o campo de entrada de texto (*prompt*), onde o profissional da construção civil pode inserir suas dúvidas em linguagem natural (ex: “Quais os recuos obrigatórios para uma edificação comercial em zona mista?”).

Figura 2 - Interface visual de interação



Fonte: Dos autores (2025).

Conforme ilustrado na Figura 2, a interface prioriza a interação direta. Resultados preliminares de testes conceituais indicam que a familiaridade com interfaces de chat (similares a ferramentas populares de IA generativa) reduz a curva de aprendizado, permitindo que profissionais sem conhecimento jurídico profundo utilizem a ferramenta intuitivamente.

4.1.2 Apresentação das Respostas e Fundamentação Legal

Um diferencial crucial do sistema proposto é a transparência das fontes, visando combater a “caixa preta” comum em sistemas de IA. O protótipo da tela de resposta foi desenhado para não apenas fornecer a orientação direta, mas também listar as referências legais (Leis, NBRs, Decretos) utilizadas para gerar aquela resposta.

A Figura 2 demonstra a estrutura da resposta: um resumo executivo no topo, seguido pelos trechos da lei citados. Esta disposição visual atende à necessidade de segurança jurídica, permitindo que o engenheiro valide a informação na fonte original, caso necessário.

4.1.3 Histórico e Gestão de Consultas

Para auxiliar no planejamento de obras a longo prazo, foi prototipada uma funcionalidade de histórico e salvamento de consultas. Isso permite que a equipe de engenharia mantenha um registro das orientações recebidas para cada projeto específico.

A organização visual proposta na Figura 2 visa facilitar a retomada de contextos anteriores, uma funcionalidade essencial considerando que projetos de construção civil possuem ciclos longos e envolvem múltiplas etapas regulatórias.

4.2 Resultados Esperados e Impactos

O objetivo central deste projeto, conforme delineado anteriormente, é mitigar os riscos associados à complexidade do arcabouço legal da construção civil brasileira. A literatura aponta que a falta de clareza e a dificuldade de acesso rápido às normas atualizadas resultam em atrasos, custos elevados e passivos judiciais para empresas do setor.

Espera-se, com a solução proposta, reduzir drasticamente o tempo de consulta a normas técnicas e legislações específicas. Ao contrário dos métodos tradicionais — que envolvem a busca manual em diversos repositórios governamentais e a interpretação humana sujeita a fadiga —, a ferramenta de IA projetada visa centralizar o conhecimento e oferecer respostas em linguagem natural. Os resultados preliminares aqui apresentados, materializados através de protótipos de alta fidelidade, demonstram como a interface do usuário (UI) e a experiência do usuário (UX) foram desenhadas para facilitar essa interação entre engenheiros, arquitetos e a base jurídica, preenchendo a lacuna comunicacional existente entre o setor técnico e o jurídico.

4.3 Plano de Avaliação e Métricas

Para validar a solução proposta, será adotado um plano de avaliação dividido em duas frentes. A primeira, técnica, utilizará métricas de recuperação de informação (como *Precision@k* e *Recall*) para medir se a IA está encontrando as leis corretas. A segunda, de usabilidade, aplicará a escala SUS (*System Usability Scale*) junto a um grupo focal de engenheiros civis para quantificar a facilidade de uso e a clareza das respostas.

4.4 Aspectos Éticos e Proteção de Dados (LGPD)

A implementação da IA jurídica observa rigorosamente os preceitos da Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018). Embora o foco do sistema sejam dados públicos (leis e normas), a interação do usuário requer uma política clara de registro de consultas (*logs*).

O sistema adota a premissa de “IA como apoio à decisão”, e não como decisor final. Para mitigar riscos éticos e de responsabilidade civil, a interface inclui *disclaimers* (aviso legais) explícitos informando que a resposta da IA é orientativa e não substitui o parecer formal de um advogado ou consultor jurídico. A responsabilidade pela aplicação da norma na obra permanece compartilhada entre o profissional técnico e a ferramenta de suporte, garantindo a transparência algorítmica e a supervisão humana necessária em atividades de engenharia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa atingiu seu objetivo geral ao demonstrar a viabilidade técnica e conceitual de uma Inteligência Artificial Jurídica voltada especificamente para o setor da construção civil. Diante do desafio sistêmico representado pelo complexo e volumoso arcabouço normativo brasileiro, a solução proposta apresenta-se não apenas como uma ferramenta de consulta, mas como um mecanismo essencial para a mitigação de riscos e a redução da burocracia que historicamente onera o setor.

A escolha da arquitetura de Geração Aumentada por Recuperação (RAG) revelou-se a estratégia mais adequada para o domínio jurídico-engenharia. Diferentemente de modelos generativos puros, que apresentam riscos de alucinações factuais, a abordagem RAG garantiu a ancoragem das respostas em fontes primárias confiáveis (Leis, NBRs e Planos Diretores). A implementação dos mecanismos de citação e referência direta na interface do usuário atendeu aos requisitos de transparência e explicabilidade (XAI), elementos indispensáveis para conferir segurança jurídica à tomada de decisão técnica.

Os resultados parciais obtidos através da prototipação e da definição dos fluxos de interação indicam que a ferramenta preenche uma lacuna significativa na gestão do conhecimento técnico-legal. A interface simplificada demonstrou potencial para democratizar o acesso à informação legislativa, permitindo que engenheiros e arquitetos obtenham respostas rápidas e fundamentadas sem a necessidade de navegar manualmente por dezenas de documentos dispersos. Isso sugere um impacto direto na produtividade, com a redução do tempo despendido em análises regulatórias e a diminuição de retrabalhos decorrentes de não conformidades.

Ressalta-se, contudo, que a tecnologia desenvolvida atua sob a premissa de suporte à decisão. Conforme discutido nos aspectos éticos, a IA não substitui o juízo crítico e a responsabilidade técnica do profissional humano, servindo antes como um copiloto para validar requisitos e alertar sobre restrições normativas.

Como sugestão para trabalhos futuros, vislumbra-se a expansão do corpus legal para abranger múltiplas jurisdições municipais simultaneamente

e a integração deste assistente virtual com plataformas de modelagem da informação da construção (BIM). Conclui-se que a interseção entre Direito, Engenharia e Inteligência Artificial é um campo promissor e necessário para a modernização da construção civil brasileira, transformando o “labirinto legal” em um caminho navegável e seguro para o desenvolvimento urbano.

REFERÊNCIAS

ARRIETA, Alejandro Barredo; DÍAZ-RODRÍGUEZ, Natalia; DEL SER, Javier; BENNETOT, Adrien; TABIK, Siham; BARBADO, Alberto; GARCIA, Sergio; GIL-LOPEZ, Silvestre; MOLINA, Daniel; BENJAMINS, Richard; CHATILA, Raja; HERRERA, Francisco. Explainable Artificial Intelligence (XAI): concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, [S. l.], v. 58, p. 82-115, jun. 2020.

BARBOSA, Hugo Oliveira Horta. **Compliance corporativo laboral:** insustentabilidade na construção civil e acidentes de trabalho. 2020. 135 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Direitos Sociais e Processos Reivindicatórios) – Centro Universitário IESB, Brasília, 2020. Disponível em: https://cdn.prod.website-files.com/6387de3e5db021a6c18aa21c/646bfc3a2076780ea7d1c5f3_Disserta%C3%A7ao%20-%20Hugo%20Oliveira%20Horta%20Barbosa%202.pdf. Acesso em: 04 nov. 2025.

BARFIELD, Woodrow. **The Cambridge Handbook of the Law of Algorithms.** Cambridge University Press, 2024.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. (Estatuto da Cidade). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 133, p. 1, 11 jul. 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L10257.htm. Acesso em: 4 nov. 2025.

BRASIL. **Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018.** Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 18 nov. 2025.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **O Custo da Burocracia no Imóvel:** propostas de redução e aperfeiçoamento do processo de aprovação de projetos. Brasília, DF: CBIC, 2015. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2017/11/Custo_da_Burocracia_no_Imovel_2015.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

CHEN, Dayou; CHEN, Long; ZHANG, Yu; LIN, Shan; YE, Mao; SØLVSTEN, Simon. **Automated fire risk assessment and mitigation in building blueprints using computer vision and deep generative models.** Advanced Engineering Informatics, v. 62, p. 102614, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474034624002623>. Acesso em: 21 out. 2025.

FIESP. Burocracia na Construção: O Custo da Ineficiência. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2023. Disponível em: <https://abrainc.org.br//uploads/2023/9/fiespburocracia-na-construcao2023.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

GARBIM, Johnny Lucas. A Integração entre Tecnologia da Informação e Administração de Empresas na Construção Civil: The Integration between Information Technology and Business Administration in Civil Construction. RCMOS - Revista Científica Multidisciplinar O Saber, Brasil, v. 1, n. 1, 2023. DOI: 10.51473/rcmos.v1i1.2023.1564. Disponível em: <https://submissoesrevistarcmos.com.br/rcmos/article/view/1564>. Acesso em: 4 nov. 2025.

GARCIA, E.; SILVA, N.; GOMES, J.; ALBUQUERQUE, H.; SOUZA, E.; SIQUEIRA, F.; LIMA, E.; CARVALHO, A. DE. RoBERTaLexPT: um modelo RoBERTa jurídico pré-treinado com deduplicação para língua Portuguesa. Linguamática, v. 16, n. 2, p. 183-200, 2024. Disponível em: <https://www.linguamatica.com/index.php/linguamatica/article/view/457>. Acesso em: 22 set. 2025.

HECK, Amable Rabeche. Processamento de Linguagem Natural Aplicado a Reconhecimento de Entidades Nomeadas em Textos Legais em Português Brasileiro. Universidade Federal de Santa Catarina, 2022. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/233250/Monografia_PFC-Final-A.pdf. Acesso em: 21 out. 2025.

PARDO, Thiago Augusto Salgueiro; CASELI, Helena de Medeiros. Processamento de linguagem natural: conceitos, técnicas e aplicações em português. São Carlos: Compacta, 2020.

PILLAI, Vishnu Sivarudran; MATUS, Kira J. M. Towards a responsible integration of artificial intelligence technology in the construction sector. Science and Public Policy, v. 47, n. 5, p. 689-704, out. 2020. DOI: 10.1093/scipol/scaa073. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/scipol/scaa073>. Acesso em: 21 out. 2025.

SINDUSCON-PR. O impacto da inteligência artificial na construção civil. Curitiba: Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado do Paraná, 2025. Disponível em: <https://sindusconpr.com.br/o-impacto-da-inteligencia-artificial-na-construcao-civil-confira-6284-p>. Acesso em: 22 set. 2025.

XAVIER, Adilson; SILVA, Maria. Inteligência Artificial aplicada à Engenharia Civil: Desafios e Oportunidades. Revista Brasileira de Tecnologia e Construção, v. 12, n. 2, p. 45-60, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.69849/revistaft/ra10202506151902>. Acesso em: 21 out. 2025.

SUSSKIND, Richard. Tomorrow's Lawyers: An Introduction to Your Future. 3. ed. Oxford University Press, 2023.