

Padronização técnica em MLOps: mediação ética, autonomia profissional e governança sociotécnica

Francismaile Macedo de Oliveira¹, Gustavo Alberto Giménez-Lugo¹, Juliana Lopes Silva¹

¹Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - Curitiba - Paraná - Brasil

francismailemacedo@alunos.utfpr.edu.br, gustavogl@utfpr.edu.br,
jlsilva@professores.utfpr.edu.br

Resumo

Este artigo visa demonstrar que a padronização técnica em MLOps não é neutra: ela incorpora valores éticos, redistribui autonomia profissional e atua como mecanismo de governança sociotécnica. A análise de repositórios públicos do GitHub mostra que padrões como versionamento, CI/CD, monitoramento e automação de *deploy* materializam valores como segurança, auditabilidade e responsabilização. Esses padrões restringem a discricionariedade dos profissionais por meio de configurações pré-definidas, mecanismos automáticos de orientação ética e dependência tecnológica criada pela adoção dominante de certas ferramentas. O estudo conclui que padrões técnicos funcionam como vetores normativos e que a governança deve combinar automação com revisão humana e documentação justificativa para equilibrar eficiência, autonomia e responsabilidade.

Palavras-chave: Modelos; MLOps; Infraestrutura; Automação

Abstract

This article seeks to demonstrate that technical standardization in MLOps is not neutral: it embeds ethical values, redistributes professional autonomy, and operates as a sociotechnical governance mechanism. The analysis of public GitHub repositories shows that patterns such as versioning, CI/CD, monitoring, and deployment automation materialize values like security, auditability, and accountability. These standards constrain professional discretion through predefined configurations, automatic mechanisms of ethical guidance, and technological dependence created by the dominant adoption of certain tools. The study concludes that technical standards function as normative vectors and that governance should combine automation with human review and justificatory documentation to balance efficiency, autonomy, and responsibility.

Key words : Models; Mlops; Infrastructure; Automation

1. Introdução

A crescente adoção de práticas de MLOps tem transformado profundamente o desenvolvimento e a operação de sistemas de inteligência artificial. À medida que *pipelines*, *frameworks* e ferramentas se consolidam como infraestruturas centrais para treinar, versionar, implantar e monitorar modelos, observa-se um movimento acelerado

de padronização técnica. Esses padrões, muitas vezes incorporados em bibliotecas amplamente utilizadas e em *pipelines* automatizados, orientam decisões de projeto, definem fluxos de trabalho e moldam a própria prática profissional de cientistas de dados e engenheiros de *machine learning* [Google Cloud 2024]. Apesar de sua relevância crescente, a padronização em MLOps é frequentemente tratada como um fenômeno estritamente técnico, desprovido de implicações sociais.

Essa percepção tecnicista contrasta com debates em ética da tecnologia, que apontam que escolhas de *design* não são neutras. Infraestruturas técnicas carregam valores, distribuem responsabilidades, condicionam graus de autonomia e influenciam práticas profissionais [Winner 1980]. No entanto, a literatura sobre ética em IA ainda dedica pouca atenção ao papel ético desempenhado pelos padrões técnicos que estruturam o desenvolvimento de sistemas de *machine learning*. A maior parte das discussões concentra-se em modelos, dados ou impactos sociais, deixando em segundo plano os mecanismos infraestruturais que moldam silenciosamente o que é possível, permitido ou incentivado no processo de criação desses sistemas [Selbst, Boyd, Friedler, Venkatasubramanian e Vertesi 2019].

Diante dessa lacuna, este artigo investigou como padrões técnicos presentes em ferramentas e *pipelines* de MLOps tendem a incorporar valores éticos e influenciar a autonomia decisória de profissionais envolvidos no desenvolvimento de sistemas de IA. Ao analisar repositórios públicos de código (GitHub) buscou-se compreender como decisões de *design*, configurações padrão, automatizações e estruturas de governança embutidas nessas ferramentas orientam práticas e comportamentos, funcionando como mecanismos de ética incorporada na infraestrutura técnica.

A contribuição central deste estudo é evidenciar que a ética em IA não se limita a diretrizes abstratas ou avaliações posteriores ao desenvolvimento, mas está inscrita nas próprias ferramentas que estruturam o trabalho cotidiano. Ao revelar como padrões técnicos moldam práticas éticas e distribuem autonomia, o artigo amplia o escopo das discussões sobre responsabilidade, governança e valores em sistemas de IA, ao destacar a importância de analisar a infraestrutura como *locus* de ação moral.

A investigação foi guiada pela seguinte pergunta de pesquisa: “Como padrões técnicos em MLOps moldam práticas éticas no desenvolvimento de sistemas de IA?”.

2. Referencial teórico

2.1 Valores incorporados em artefatos

A compreensão contemporânea da relação entre tecnologia e sociedade exige reconhecer que sistemas computacionais incorporam valores e que essa incorporação tem consequências normativas e práticas para o desenho, a implementação e a regulação tecnológica. Nissenbaum (2001) destaca a distinção entre duas tradições de investigação: uma que analisa como tecnologias desafiam valores sociais preexistentes e outra que investiga os valores embutidos na própria estrutura técnica dos sistemas. Para compreender esses valores incorporados é preciso examinar a interação entre o artefato, quem o projeta, as intenções subjacentes, as condições de uso e os contextos natural, cultural, social e político. Essa perspectiva implica que humanistas não podem ignorar detalhes técnicos e que engenheiros não podem desconsiderar dimensões éticas, pois controvérsias públicas mostram que decisões técnicas frequentemente encobrem conflitos normativos sobre privacidade, justiça, transparência, confiança e discriminação.

O *Value Sensitive Design* (VSD), descrita por Friedman, Kahn e Borning (2006), busca operacionalizar essa visão ao propor uma concepção ampla de valores, e ao oferecer

um método integrado para articular valores ao longo de todo o ciclo de *design*. A metodologia tripartite do VSD articula investigações conceituais, empíricas e técnicas. As investigações conceituais identificam *stakeholders* diretos e indiretos, valores implicados e conflitos normativos, além de clarificar conceitos filosóficos como confiança e consentimento informado, as investigações empíricas mobilizam métodos das ciências sociais para mapear percepções, prioridades e práticas reais de uso, e as investigações técnicas examinam como propriedades tecnológicas suportam ou dificultam valores, reconhecendo que uma dada tecnologia tende a ser mais adequada a certas atividades e valores, ao mesmo tempo em que torna outros mais difíceis de realizar. A força do VSD reside na iteração e integração dessas três dimensões, de modo que conceituação, evidência empírica e soluções técnicas se moldem reciprocamente durante o processo de projeto.

Os estudos de caso empregados pelo VSD ilustram essa integração: no projeto sobre *cookies* e consentimento informado, a análise conceitual do consentimento orientou investigações técnicas retrospectivas sobre navegadores e levou ao desenvolvimento de mecanismos como *awareness* periférica e gestão *just-in-time* para reduzir a sobrecarga cognitiva e melhorar a compreensão do usuário, no estudo dos painéis de plasma como “janelas artificiais”, a combinação de medidas fisiológicas, comportamentais e entrevistas revelou benefícios potenciais para bem-estar e criatividade, ao mesmo tempo em que expôs riscos de privacidade para indivíduos filmados sem saber, e em sistemas de simulação para deliberação pública, valores como justiça, responsabilização e suporte ao processo democrático orientaram o desenho de interfaces e funcionalidades que favorecem participação informada e equidade na deliberação [Friedman *et al.* 2006].

Verbeek (2006) amplia o quadro ao argumentar que tecnologias não são meras ferramentas neutras, mas mediadoras morais que moldam percepções, ações e experiências humanas. A partir do conceito de *script*, Verbeek (2006) mostra que artefatos inscrevem prescrições de ação, isto é, orientam e restringem comportamentos de modos não apenas simbólicos, mas materiais, e que, ao mediar a percepção, tecnologias amplificam certos aspectos do mundo e reduzem outros, enquanto, ao mediar a ação, convidam ou inibem comportamentos específicos. Dado esse papel constitutivo, projetar tecnologias é uma atividade moral: os designers, ao materializarem intenções e prescrições, realizam uma forma de ética por meios técnicos.

Assim, Verbeek (2006) defende tanto a avaliação crítica de mediações indesejadas quanto o projeto deliberado de mediações, ao reconhecer que a complexidade e a imprevisibilidade do uso em contextos diversos. Por isso, propõe análises de mediação e versões ampliadas de avaliação construtiva que incorporem múltiplos atores e democratizem a moralização tecnológica.

Latour (1992) complementa e radicaliza essa perspectiva ao afirmar que os artefatos constituem a “massa faltante” da sociologia: objetos técnicos têm agência social e moral na medida em que prescrevem comportamentos, impõem normas e materializam moralidades. Para esse autor, a moralidade não está apenas nos humanos, mas distribuída entre humanos e não humanos; artefatos carregam *scripts* que selecionam usuários, discriminam capacidades e moldam rotinas sociais. Assim, a análise sociológica deve incluir as “massas não humanas” que sustentam a ordem social, reconhecendo que a delegação de tarefas e normas a objetos técnicos transforma relações de poder, tempo e responsabilidade.

2.2 Padronização técnica e autonomia profissional

A padronização técnica, entendida como a adoção sistemática de práticas, ferramentas e *pipelines* que tornam previsível e repetível o desenvolvimento e a operação de sistemas de aprendizado de máquina, transforma profundamente a autonomia profissional ao deslocar decisões antes tomadas por especialistas para regimes técnicos e organizacionais codificados. Estudos empíricos mostram que a consolidação de práticas de engenharia específicas para *machine learning*, reduz incertezas e acelera a entrega de valor, mas também impõe novos padrões de trabalho que limitam a margem de discricionariedade dos cientistas e engenheiros de dados [Serban *et al.* 2020; Testi *et al.* 2022]. Essa padronização, quando institucionalizada via MLOps, cria um conjunto de procedimentos obrigatórios que orientam o que conta como trabalho legítimo, quais artefatos devem ser preservados e quais métricas definem sucesso, deslocando parte da autoridade técnica do indivíduo para o processo e para a infraestrutura [Serban *et al.*, 2020; Testi *et al.* 2022].

Do ponto de vista da teoria do trabalho, a padronização técnica funciona como um mecanismo de controle racionalizado: ao transformar práticas profissionais em fluxos automatizados e verificáveis, empregadores ampliam sua capacidade de direção, avaliação e disciplina sobre o trabalho, reduzindo a autonomia tácita que historicamente caracterizou profissões técnicas [Kellogg, Valentine e Christin 2020]. A literatura sobre controle algorítmico evidencia que algoritmos e *pipelines* operam como instrumentos que restringem, recomendam, registram, avaliam, recompensam e, por vezes, substituem trabalhadores — efeitos que se intensificam quando práticas padronizadas são integradas em plataformas de produção e monitoramento contínuo (Kellogg *et al.*, 2020). Assim, a padronização técnica não é neutra: ela reconfigura relações de poder no interior das equipes, define rotinas observáveis e cria critérios técnicos que passam a legitimar decisões gerenciais sobre desempenho e alocação de tarefas [Kellogg *et al.* 2020; Testi *et al.* 2022].

Ao mesmo tempo, a padronização pode produzir efeitos ambíguos sobre competência profissional. Por um lado, ela reduz tarefas repetitivas e erros humanos, facilita colaboração entre disciplinas e permite que equipes menores entreguem sistemas complexos com maior previsibilidade [Testi *et al.* 2022]. Por outro, tende a desqualificar ou reduzir a complexidade de certas atividades e a deslocar expertise para quem controla as ferramentas e os *pipelines*: o conhecimento passa a residir em artefatos técnicos e em papéis emergentes que mediam entre pesquisa e produção [Kellogg *et al.* 2020; Testi *et al.* 2022]. Essa redistribuição de competências pode gerar exclusão profissional, ao privilegiar perfis com habilidades em infraestrutura e automação em detrimento de perfis orientados à experimentação científica, e impõe novos requisitos de formação e governança interna [Serban *et al.*, 2020].

A análise sociotécnica reforça que a padronização técnica materializa valores e normas: tecnologias e procedimentos codificados carregam *scripts* que prescrevem comportamentos e expectativas, tornando-se vetores de moralidade técnica. Verbeek (2006) argumenta que artefatos mediam percepções e ações e, portanto, projetar ou padronizar processos é, em si, uma atividade ética.

Já Latour (1992) acrescenta que ao mostrar que a delegação de tarefas a não humanos desloca trabalho e disciplina para a infraestrutura, criando uma “massa não humana” que sustenta a ordem social e profissional: a padronização técnica, nesse sentido, é uma forma de delegação que estabiliza comportamentos e reduz a necessidade de disciplina humana contínua. Esses enquadramentos explicam por que a adoção de padrões MLOps e de práticas de engenharia não é apenas uma questão de eficiência, mas também de política organizacional e de definição de autoridade técnica.

Desse modo, as implicações normativas e regulatórias são igualmente relevantes: a tendência à padronização aumenta a opacidade institucional quando decisões técnicas passam a ser tomadas por *pipelines* automatizados e por modelos cuja lógica interna é difícil de interpretar; isso tensiona direitos de transparência e contestação previstos em regimes regulatórios, que exige informações significativas sobre a lógica de decisões automatizadas. A exigência de informação significativa implica que padronizações técnicas devem incorporar mecanismos de explicabilidade e documentação que permitam ao profissional e ao usuário compreender como decisões são produzidas e corrigidas, sob pena de transferir responsabilidade para artefatos técnicos sem meios adequados de Ademais, a literatura sobre justiça algorítmica alerta que padrões técnicos universais podem cair nas armadilhas da abstração: métricas e *pipelines* concebidos para um contexto podem ser inadequados ou injustos em outro, exigindo que a padronização seja sensível a variações contextuais e a valores sociais locais [Selbst e Powles 2017].

Finalmente, a padronização técnica abre espaço tanto para novas formas de agência profissional quanto para resistência. A institucionalização de MLOps cria papéis especializados que negociam requisitos técnicos, métricas de negócio e salvaguardas éticas, oferecendo trajetórias profissionais que combinam conhecimento técnico e governança, simultaneamente, trabalhadores e comunidades técnicas desenvolvem táticas de contorno, práticas de auditoria interna e formas de contestação que reivindicam autonomia sobre decisões críticas [Kellogg *et al.* 2020; Gillespie 2018].

2.3 Governança e mecanismos de responsabilização sociotécnica

A governança deve ser concebida como parte integrante do desenho sociotécnico, não apenas como um conjunto de normas externas aplicadas a posteriori: trata-se de um arranjo de mecanismos institucionais que tornam escolhas técnicas passíveis de contestação, explicação e correção. Esses mecanismos incluem documentação que registra hipóteses e *trade-offs* normativos, pontos formais de revisão humana em etapas críticas dos *pipelines*, auditorias independentes que combinem avaliações automatizadas e revisões qualitativas, e indicadores de governança que incorporem métricas de equidade, robustez e impacto social. Shin (2019) demonstra que, em contextos nacionais com forte investimento estatal em IA, a ausência desses instrumentos amplia lacunas regulatórias e fragiliza salvaguardas públicas. Por isso, a governança operacional deve articular controles técnicos com responsabilidades institucionais claras.

A tipologia de Yeung (2017) fornece um quadro analítico útil para calibrar mecanismos de responsabilização conforme a configuração do sistema algorítmico: sistemas adaptativos e preditivos com execução automática exigem salvaguardas mais rigorosas de contestabilidade e auditoria, enquanto arquiteturas que preservam a decisão humana mediada por recomendações demandam procedimentos explícitos de supervisão e vias de recurso. Green (2021) alerta que, sem esses instrumentos, códigos e comitês de ética tendem a permanecer abstratos e suscetíveis à cooptação corporativa e que, portanto, a eficácia da ética aplicada depende tanto de procedimentos técnicos quanto de arranjos políticos que assegurem transparência, poderes de revisão e participação dos afetados.

Implementar governança sociotécnica implica enfrentar *trade-offs* práticos: aumentar documentação e revisão humana eleva custos e tempo de desenvolvimento; reduzir automação para preservar contestabilidade pode comprometer escalabilidade; delegar revisão a instâncias externas pode conflitar com segredos comerciais. Por isso, modelos híbridos que combinam automação com pontos de controle humanos, regras

claras para intervenção e processos de apelação costumam ser os mais viáveis para conciliar confiabilidade operacional e julgamento ético situado. Metodologicamente, a validação desses arranjos requer triangulação entre análise documental, entrevistas com atores públicos e privados e avaliações de impacto integradas aos ciclos de desenvolvimento, de modo a transformar princípios em práticas verificáveis e contestáveis [Shin 2019; Yeung 2017; Green 2021].

3. Metodologia

A pesquisa foi conduzida de forma remota, com acesso aos repositórios públicos disponibilizados na plataforma GitHub. A coleta e a análise dos dados ocorreram entre final de agosto e início de setembro de 2025, utilizando infraestrutura computacional local e serviços em nuvem para o processamento das informações e o armazenamento dos resultados. A população-alvo compreendeu repositórios de código relacionados a projetos de *machine learning* hospedados no GitHub, abrangendo ambientes corporativos e acadêmicos que implementam ou utilizam ferramentas de MLOps.

O desenho inicial desta pesquisa previa uma análise quantitativa de padrões de padronização em *pipelines* de MLOps a partir do acesso a bancos de dados públicos de grandes empresas de tecnologia (*Big Techs*), dentro do repositório GitHub, com o objetivo de examinar em escala como processos técnicos moldam a autonomia decisória de cientistas de dados. Contudo, durante a implementação, tornou-se claro que tais dados são inacessíveis para investigação acadêmica, pois as *Big Techs* tratam configurações de *pipelines*, métricas operacionais e práticas de engenharia de *machine learning* como ativos estratégicos e segredos comerciais. Ou seja, os dados dessas empresas não são públicos.

Em resposta a essa limitação estrutural, optou-se por uma estratégia alternativa centrada na análise de repositórios públicos do GitHub, como os ecossistemas relacionados a ferramentas de MLOps e *frameworks* acadêmicos de *machine learning*, os quais fornecem evidências indiretas sobre práticas de padronização técnica.

O GitHub foi escolhido por oferecer indicadores empíricos relevantes, como *stars*, *forks*, contribuições, frequência de atualizações e dependências, que permitem observar padrões de adoção, colaboração e maturidade tecnológica, preservando a capacidade de investigar como escolhas de *design* e infraestrutura moldam práticas profissionais e incorporam valores éticos.

A seleção dos repositórios seguiu critérios destinados a garantir representatividade sociotécnica: popularidade e adoção (número de *stars*, *forks* e usuários ativos); colaboração e comunidade (volume e diversidade de contribuições, frequência de *pull requests*); atividade e maturidade (regularidade de *commits*, *releases* e manutenção); relevância temática (presença de tópicos sobre MLOps, *pipelines*, automação e governança de modelos); e integração ao ecossistema (dependências e compatibilidade com outras ferramentas).

A amostragem foi realizada por conveniência, considerando popularidade, relevância temática e acessibilidade dos dados. A amostra final totalizou 142 repositórios, sendo 78 pertencentes ao ecossistema corporativo de MLOps e 64 ao ecossistema acadêmico. Esses critérios permitiram identificar projetos que funcionam não apenas como artefatos técnicos, mas como espaços onde valores, práticas e padrões de *design* são negociados e incorporados.

A análise adotou um desenho misto. Quantitativamente, foram extraídas métricas estruturais, como: número de *stars*, *forks*, *issues*, frequência de *commits* e *releases*, distribuição de contribuidores e dependências tecnológicas, por meio de scripts em

Python, com o objetivo de mapear padrões de adoção, centralidade e maturidade. Qualitativamente, a documentação dos repositórios também foi analisada de forma automatizada: *scripts* em Python coletaram e processaram *READMEs*, guias, tutoriais, discussões em *issues* e *pull requests*, além de arquivos de configuração e exemplos de *pipeline*. A partir desses dados textuais extraídos programaticamente, buscaram-se evidências de decisões de *design*, debates sobre governança, segurança e responsabilidade, bem como formas pelas quais valores éticos são incorporados ou tensionados.

Reconhecem-se limitações importantes dessa abordagem: trata-se de evidência indireta que não substitui a observação de práticas internas em ambientes corporativos, pois repositórios públicos podem refletir vieses de visibilidade, privilegiando projetos amplamente adotados, mas não necessariamente representativos de toda a prática profissional.

Além disso, documentação e discussões públicas nem sempre capturam motivações, negociações e decisões internas não formalizadas. Ainda assim, a combinação de métricas estruturais e análise qualitativa, mesmo que automatizada, oferece uma janela empírica consistente para identificar o que é padronizado, como essas padronizações emergem e quais implicações éticas e de autonomia profissional elas carregam, servindo como base para estudos complementares que envolvam parcerias institucionais, entrevistas etnográficas e auditorias sociotécnicas integradas.

4. Resultados e Discussão

A análise dos repositórios públicos demonstra que os padrões técnicos em MLOps não são meramente convenções de engenharia, mas atuam como vetores de normatividade que moldam práticas éticas e reconfiguram a autonomia profissional. Do total de repositórios examinados, 70,4% pertencem ao ecossistema acadêmico e 29,6% ao ecossistema MLOps, uma divisão que traduz comunidades com vocabulários, prioridades e sistemas de reconhecimento distintos; essa assimetria acompanha diferenças marcantes de visibilidade, em que bibliotecas de pesquisa alcançam picos de 191.000 *stars*, enquanto ferramentas MLOps consolidadas como *Kubeflow* e *MLflow* apresentam cerca de 22.000 e 18.000 *stars*, respectivamente, evidenciando hierarquias de influência que condicionam quais padrões se tornam dominantes.

Nos repositórios associados a práticas de produção, MLOps, emergem de modo recorrente um conjunto de módulos e rotinas como versionamento de dados e modelos; integração contínua e entrega contínua (CI/CD); monitoramento e alertas em produção; *logging* e registro de predições com metadados; automação de *deploy* — elementos que se repetem em *READMEs*, *templates* e arquivos de configuração. A análise automatizada desses artefatos, realizada por meio de *scripts* em Python que coletaram e processaram tais documentos, sinaliza que a padronização técnica se materializa em componentes reutilizáveis que reduzem a variabilidade entre equipes e orientam práticas operacionais.

Esses padrões não apenas organizam o trabalho, mas traduzem preocupações éticas em requisitos técnicos: controles de acesso, políticas de dependência e testes automatizados materializam a preocupação com segurança; versionamento, *experiment tracking* e *logging* materializam auditabilidade; *pipelines* automatizados e políticas de *rollback* materializam confiabilidade e resiliência; e *dashboards* e métricas materializam responsabilização e governança [Testi *et al.* 2022; Selbst *et al.* 2017].

Desse modo, a incorporação de valores por meio de elementos de *design* tem efeitos ambíguos sobre a autonomia profissional, pois observa-se que a padronização reduz a latitude de decisão por três mecanismos observáveis: decisões pré-configuradas (*templates* e *defaults* que padronizam escolhas de arquitetura e *thresholds*), *defaults* éticos

(configurações automáticas, como *rollback* ao detectar deriva, que impõem respostas sem revisão humana imediata) e restrições de escolha (efeitos de *lock-in* tecnológico decorrentes da predominância de certas ferramentas, que limitam experimentação e alternativas) [Kellogg *et al.* 2020; Serban *et al.* 2020].

Na prática, o julgamento contextual do especialista tende a ser deslocado para a conformidade com *pipelines* e métricas, reduzindo a capacidade de adaptação a contingências locais e a possibilidade de reavaliar *trade-offs* normativos caso a operação exija sensibilidade contextual. Entender como a padronização técnica funciona como mecanismo ético exige reconhecer que padrões operam como normas técnicas que promovem e priorizam valores: exigir *logging* e versionamento promove responsabilização; automatizar testes de *fairness* operacionaliza preocupações de equidade; definir políticas de segurança como *default* prioriza proteção sobre experimentação.

Em termos sociotécnicos, esses padrões codificam *scripts* que prescrevem comportamentos e redistribuem responsabilidades entre humanos e artefatos, de modo que a ética passa a ser praticada por meio de rotinas técnicas tanto quanto por deliberação humana [Verbeek 2006; Latour 1992]. Assim, a padronização não é neutra: ela materializa escolhas normativas e estabiliza formas de ação que, uma vez incorporadas em *pipelines*, tornam-se difíceis de reinterpretar sem intervenção deliberada.

Os dados quantitativos contextualizam e aprofundam essa discussão: a predominância do ecossistema acadêmico (70,4%) e a diferença de *stars* (191.000 versus 22.000/18.000) não apenas quantificam visibilidade, mas explicam dinâmicas de influência e difusão. Ecossistemas acadêmicos, com maior diversidade de contribuidores, preservam pluralidade algorítmica e vocabulários de pesquisa; o bloco MLOps, menor em representação pública (29,6%), concentra práticas orientadas a *deployment*, *pipeline* e produção, cristalizando *defaults* operacionais que se difundem em ambientes corporativos, onde métricas internas de robustez e confiabilidade substituem, muitas vezes, a visibilidade pública como mecanismo de legitimação. A relação entre popularidade (*stars*) e engajamento ativo (*forks*) também tende a indicar que ferramentas dominantes moldam trajetórias profissionais e limitam a diversidade de abordagens adotáveis, com implicações diretas para autonomia e justiça técnica.

Esses achados colocam em evidência tensões inevitáveis entre eficiência, governança e autonomia. A busca por eficiência e escalabilidade favorece automação e regras rígidas; a governança exige rastreabilidade e controles formais; e a autonomia profissional demanda espaço para julgamento e experimentação. Otimizar para eficiência tende a reduzir autonomia; priorizar governança pode aumentar burocracia e custo de inovação; e preservar autonomia sem padrões fragiliza auditabilidade e segurança. A evidência empírica sugere que arquiteturas híbridas — como *pipelines* automatizados com pontos de controle humanos, documentação justificativa e comitês multidisciplinares — são necessárias para mitigar esses *trade-offs* e assegurar que padrões técnicos funcionem como infraestrutura de responsabilidade, e não como mecanismo que tende a retirar a autonomia e a capacidade de decisão dos profissionais.

A comparação com a literatura de ética no *design* confirma e qualifica essas conclusões: a VDS recomenda integrar investigações conceituais, empíricas e técnicas para que padrões reflitam valores socialmente negociados; críticas ao formalismo e à abstração alertam que métricas isoladas não capturam justiça procedimental e contextualidade; além de estudos sobre plataformas e controle algorítmico que mostram que infraestruturas técnicas reconfiguram poder e responsabilidade [Friedman *et al.* 2006].

Em consonância com essas perspectivas, as recomendações práticas derivadas dos resultados incluem documentação obrigatória das justificativas de *design*, pontos de revisão humana em *pipelines* críticos, ciclos de avaliação sociotécnica iterativos e KPIs ampliados que incorporem robustez, equidade e impacto social, além de métricas de desempenho [Friedman *et al.* 2006; Selbst *et al.* 2019; Verbeek 2006; Gillespie 2018; Selbst *et al.* 2017].

Portanto, os padrões técnicos em MLOps parecem moldar práticas éticas ao codificar valores em artefatos operacionais, reconfigurar autoridade profissional e criar *trade-offs* entre eficiência, governança e autonomia. A resposta normativa e técnica exige projetar padrões como instrumentos abertos, sujeitos a revisão humana e avaliação sociotécnica contínua, de modo a preservar tanto a confiabilidade operacional quanto a capacidade de julgamento ético situado. Essa dinâmica é evidenciada pela distribuição observada nos repositórios públicos — 70,4% no ecossistema acadêmico e 29,6% no ecossistema MLOps — e pela assimetria de visibilidade entre bibliotecas de pesquisa, com picos de 191.000 *stars*, e ferramentas de produção, como *Kubeflow* com 22.000 *stars* e *MLflow* com 18.000 *stars*, o que cria hierarquias de influência que condicionam quais padrões se difundem e quais prioridades técnicas e normativas se consolidam [Serban *et al.* 2020; Testi *et al.* 2022].

6. Considerações finais

A síntese dos resultados indica que a padronização técnica em MLOps opera como um vetor normativo que transforma decisões profissionais em artefatos operacionais e, ao mesmo tempo, cristaliza valores por meio de *templates*, configurações e métricas.

Esses achados permitem responder à pergunta que orientou esta investigação — Como padrões técnicos em MLOps moldam práticas éticas no desenvolvimento de sistemas de IA? — ao evidenciar que tais padrões funcionam como mecanismos de incorporação de valores e de redistribuição de autonomia. Os padrões recorrentes identificados — como o versionamento de dados e modelos, integração contínua/entrega contínua (CI/CD), monitoramento e alertas em produção, *logging* e registro de predições com metadados, e automação de *deploy* — não apenas reduzem a variabilidade técnica entre equipes, mas também traduzem preocupações éticas em requisitos concretos: controles de acesso, políticas de dependência e testes automatizados materializam segurança; versionamento e *experiment tracking* materializam auditabilidade; *pipelines* automatizados e políticas de *rollback* materializam confiabilidade e resiliência; e *dashboards* e métricas materializam responsabilização e governança.

Essa incorporação de valores por meio do *design* técnico tem efeitos ambíguos sobre a autonomia profissional. A padronização reduz a latitude de decisão por meio de decisões pré-configuradas, além de mecanismos automáticos que impõem orientações éticas previamente definidas e de efeitos de dependência tecnológica criados pela predominância de certas ferramentas, deslocando o julgamento contextual do especialista para a conformidade com *pipelines* e métricas e, assim, limitando a capacidade de adaptação a contingências locais [Kellogg *et al.* 2020; Serban *et al.* 2020].

Do ponto de vista conceitual, a padronização técnica funciona como mecanismo ético na medida em que codifica *scripts* normativos: ao exigir *logging* e versionamento, um padrão promove responsabilização; ao automatizar testes de *fairness*, um padrão operacionaliza preocupações de equidade; ao definir políticas de segurança como *default*, um padrão prioriza proteção sobre experimentação. Essa materialização da norma técnica confirma abordagens teóricas que tratam artefatos como mediadores morais e agentes

sociotécnicos, de modo que projetar *pipelines* equivale a projetar formas de ação e de responsabilidade social [Verbeek 2006; Latour 1992].

As tensões entre eficiência, governança e autonomia emergem como *trade-offs* centrais: a busca por eficiência e escalabilidade favorece automação e regras rígidas; a governança exige rastreabilidade e controles formais; e a autonomia profissional demanda espaço para julgamento e experimentação. Otimizar para eficiência tende a reduzir autonomia; priorizar governança pode aumentar burocracia e custo de inovação; preservar autonomia sem padrões fragiliza auditabilidade e segurança.

A evidência empírica aponta para a necessidade de arquiteturas híbridas, com *pipelines* automatizados com pontos de controle humanos, documentação justificativa e comitês multidisciplinares, os quais permitam conciliar reprodutibilidade e responsabilidade com uma margem de decisão ajustada ao contexto.

Em diálogo com a literatura de ética no *design*, os achados reforçam recomendações centrais: A VSD exige a integração de investigações conceituais, empíricas e técnicas para que padrões reflitam valores socialmente negociados; as críticas ao formalismo e à abstração alertam que métricas isoladas não capturam justiça procedimental e contextualidade. Os estudos sobre plataformas e controle algorítmico mostram que infraestruturas técnicas reconfiguram poder, autoridade e responsabilidade, exigindo governança proporcional ao papel público dessas infraestruturas [Friedman *et al.* 2006; Selbst *et al.* 2019; Verbeek 2006; Gillespie 2018].

Desse modo, as implicações para a ética em IA são práticas e normativas: padrões MLOps podem operacionalizar princípios éticos apenas se forem deliberadamente projetados para explicitar valores e justificativas. Caso contrário, correm o risco de reproduzir armadilhas da abstração e de uma confiança excessiva em soluções técnicas, impondo configurações pré-definidas que podem gerar injustiças ou efeitos colaterais indesejados.

Contudo, as limitações deste estudo derivam da dependência de evidências públicas extraídas de repositórios GitHub: trata-se de evidência indireta que pode não refletir integralmente práticas internas de MLOps em empresas, visto que há vieses de visibilidade que privilegiam projetos populares, e a documentação pública nem sempre captura negociações internas, motivações ou decisões normativas não formalizadas, o que restringe a generalização dos achados e demanda triangulação com estudos de campo e dados internos.

Por isso, como caminhos futuros, podem ser incluídos estudos etnográficos e entrevistas com equipes de MLOps para mapear decisões não documentadas e dinâmicas de autoridade; avaliações de impacto sociotécnico integradas aos *pipelines*; o desenvolvimento de padrões abertos e participativos que exijam documentação justificativa, pontos de revisão humana e mecanismos de apelação técnica; além de métricas ampliadas que incorporem KPIs de equidade, robustez e impacto social; e, também, pesquisas longitudinais sobre os efeitos da dependência tecnológica e da difusão de configurações pré-definidas em setores regulados.

Assim, para que a padronização técnica contribua efetivamente para uma ética em IA operacional, é necessário concebê-la como um processo normativo e iterativo: padrões devem tornar explícitos valores e hipóteses, ser sujeitos a revisão humana e avaliação sociotécnica contínua, e integrar mecanismos institucionais que preservem tanto a confiabilidade operacional quanto a capacidade de julgamento ético situado.

7. Referências

- Friedman, B., Kahn, P. H., Jr., & Borning, A. (2006). Value Sensitive Design and Information Systems. Disponível em <https://faculty.washington.edu/pkahn/articles/vsd.pdf>. Acessado em 22/02/2026.
- Gillespie, T. (2018). Platforms are not intermediaries. *Georgetown Law Technology Review*, 2(2), 198–217.
- Google Cloud (2024) MLOps: pipelines de entrega contínua e automação no aprendizado de máquina. Disponível em <https://docs.cloud.google.com/architecture/mlops-continuous-delivery-and-automation-pipelines-in-machine-learning?hl=pt-br>. Acessado em 22/02/2026.
- Green, B. (2021). The Contestation of Tech Ethics: A Sociotechnical Approach to Technology Ethics in Practice. *Journal of Social Computing*, 2(3), 209–225.
- Kellogg, K. C., Valentine, M. A., & Christin, A. (2020). Algorithms at work: The new contested terrain of control. *Academy of Management Annals*, 14(1), 366–410.
- Latour, B. (1992). Where are the missing masses? The sociology of a few mundane artifacts. In W. E. Bijker & J. Law (Eds.), *Shaping Technology / Building Society: Studies in Sociotechnical Change* (pp. 225–258). MIT Press.
- Nissenbaum, H. (2001). How computer systems embody values. *Computer*, 34(3), 119–120.
- Selbst, A. D., boyd, d., Friedler, S. A., Venkatasubramanian, S., & Vertesi, J. (2019). Fairness and abstraction in sociotechnical systems. In *Proceedings of the Conference on Fairness, Accountability, and Transparency (FAT '19)**. ACM.
- Selbst, A. D., & Powles, J. (2017). Meaningful information and the right to explanation. *International Data Privacy Law*, 7(4), 233–242.
- Serban, A., van der Blom, K., Hoos, H., & Visser, J. (2020). Adoption and effects of software engineering best practices in machine learning. In *Proceedings of the ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM '20)* (pp. 1–12). ACM.
- Shin, D. D. H. (2019). Socio-Technical Design of Algorithms: Fairness, Accountability, and Transparency. Trabalho apresentado no 30th European Conference of the International Telecommunications Society (ITS), Helsinque.
- Testi, M., Ballabio, M., Frontoni, E., Iannello, G., Moccia, S., Soda, P., & Vessio, G. (2022). MLOps: A taxonomy and a methodology. *IEEE Access*, 10, 63606–63628.
- Verbeek, P.-P. (2006). Materializing morality: Design ethics and technological mediation. *Science, Technology, & Human Values*, 31(3), 361–380.
- Winner, L. (1980). Do artifacts have politics? *Daedalus*, 109(1), 121–136.
- Yeung, K. (2017). Algorithmic regulation: A critical interrogation. *Regulation & Governance*, 12(4), 505–523.