DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.2/7

Automação da Extração de Dados Geotécnicos Históricos com *Document Intelligence* e OCR Avançado

Rafael Cristiano Piton
Engenheiro Sênior, VALE S.A., Parauapebas, Brasil, rafael.piton@vale.com

Helena Paula Nierwinski
Docente, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, Brasil, helena.paula@ufsc.br

Gabriel de Barros Valim
Cientista de Dados, MOGAI, Rio de Janeiro, Brasil, c0709322@vale.com

Danúbia Vieira Dias de Oliveira
Analista Tecnologia da Informação Master, VALE S.A., Belo Horizonte, Brasil, Danubia.Oliveira1@vale.com

Darlis Devise
Engenheira Sênior, Concremat, Navegantes, Brasil, c0701140@vale.com

RESUMO: Acervos geotécnicos históricos, em geral dispersos e não estruturados (PDFs digitalizados e documentos manuscritos), impõem alto esforço de transcrição e dificultam a reutilização de dados em modelos e projetos. Este trabalho apresenta a aplicação de *Document Intelligence* com OCR avançado e orientado a *layout* para extrair, padronizar e validar informações de boletins de sondagem e ensaios *in situ*, com saídas em tabelas e JSON aderentes a princípios de AGS. O fluxo contempla pré-processamento, segmentação e extração estruturada de campos (profundidade, Nspt, nível d'água, litologia), seguidos de QA/QC com sinalização de revisão. Em ensaios com boletins simples, a latência ponta a ponta ficou entre 1 e 5 s por documento, enquanto a transcrição humana de referência levou ≈ 10–20 min (e até 40 min, em casos complexos). Na amostra de Sondagem à Percussão (SP), a acurácia global atual é de aproximadamente 65%, com meta operacional ≥ 95%. As principais fontes de erro residem em metadados geodésicos ausentes (ex., sistema de referência), variação/omissão do método de avanço e elementos gráficos (ex., Nspt) que exigem interpretação humana. Conclui-se que a automação reduz significativamente o tempo de processamento e cria uma base auditável para retroanálises e calibração, cabendo evoluções em dicionários, normalizações e regras de consistência para atingir a meta de acurácia.

PALAVRAS-CHAVE: OCR, *document intelligence*, geotecnia, digitalização e dados históricos.

ABSTRACT: Historic geotechnical archives typically dispersed and unstructured (scanned PDFs and handwritten records), entail high transcription effort and hinder consistent data reuse in models and design. This work presents the application of Document Intelligence with layout-aware, advanced OCR to extract, standardize, and validate information from borehole logs and in-situ test reports, producing table-based and JSON outputs aligned with AGS principles. The workflow comprises pre-processing, segmentation, and structured extraction of key fields (depth, Nspt, groundwater level, lithology), followed by QA/QC with review flagging. In trials with simple logs, end-to-end latency was 1–5 s per document, whereas reference human transcription took ≈ 10–20 min (and up to 40 min for complex cases). For the Standard Penetration Test (SP) sample, current overall accuracy is approximately 65%, with an operational target ≥ 95%. The main error sources are missing geodetic metadata (e.g., reference system), variation/omission of drilling/advancement method, and graphical elements (e.g., Nspt plotted) that require human interpretation. We conclude that automation significantly reduces processing time and establishes an auditable basis for back-analysis and calibration, with further gains expected from enhanced dictionaries, normalizations, and consistency rules to reach the accuracy target.

KEYWORDS: OCR, document intelligence, geotechnics, digitalization e historical data.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade das decisões de engenharia geotécnica em obras de infraestrutura ou mineração está diretamente associada à disponibilidade, confiabilidade e integração dos dados provenientes das investigações geológico-geotécnicas. Boletins de sondagem, perfis estratigráficos, registros de nível d'água e resultados de ensaios *in situ* e de laboratório constituem a base técnica para a interpretação do maciço e para o desenvolvimento de modelos geológico-geotécnicos consistentes ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos (ABGE, 2023).

A Norma ABGE 100/2023 estabelece que as investigações geológico-geotécnicas devem ser planejadas, executadas e apresentadas de forma sistemática, assegurando rastreabilidade, coerência técnica e possibilidade de reaproveitamento das informações em fases posteriores do projeto e da operação. Entretanto, em grandes organizações, especialmente nos setores de mineração e infraestrutura, é comum que acervos históricos formados ao longo de décadas estejam armazenados em formatos não estruturados, como PDFs digitalizados, imagens e registros manuscritos, frequentemente dispersos em múltiplos repositórios e produzidos segundo diferentes padrões técnicos e épocas.

Essa condição impõe limitações relevantes à gestão da informação geotécnica. A leitura e a transcrição manual de documentos legados demandam elevado esforço operacional, são suscetíveis a erros e inconsistências de transcrição e dificultam a consolidação de bases de dados corporativas. Além disso, a baixa acessibilidade a dados históricos pode resultar em investigações redundantes e perfurações adicionais, com impactos negativos em custos, prazos e exposição a riscos, em desacordo com os princípios de progressividade e otimização das investigações recomendados pela norma ABGE 100/2023.

A dificuldade é agravada pela heterogeneidade dos documentos, uma vez que boletins de sondagem e relatórios de ensaios apresentam variações significativas de *layout*, terminologia e simbologia conforme o executor, o período e o objetivo da investigação. Soma-se a isso a ocorrência frequente de arquivos com baixa qualidade de digitalização, incluindo baixa resolução, inclinação, ruído e sombras, o que compromete tanto a interpretação técnica quanto a extração automatizada de informações confiáveis.

Nos últimos anos, a ABGE tem enfatizado a necessidade de digitalização estruturada e padronizada dos dados geológico-geotécnicos, em consonância com os conceitos de BIM Geotécnico. A Diretriz Normativa ABGE 300/2024 introduz o conceito de níveis de confiabilidade das investigações, destacando a importância de explicitar a qualidade e a origem dos dados utilizados em modelos e análises. Complementarmente, a Diretriz Normativa ABGE 301/2024 estabelece um padrão digital para uso e compartilhamento de dados geológico-geotécnicos, baseado em dicionários de dados, padronização de campos e interoperabilidade entre sistemas (ABGE, 2024).

Nesse contexto, técnicas de *Document AI*, combinando reconhecimento óptico de caracteres (OCR) avançado e interpretação de *layout*, apresentam potencial para viabilizar a transformação de acervos documentais legados em bases de dados estruturadas e auditáveis. Essas técnicas permitem automatizar a extração de informações relevantes, mantendo vínculos com o documento de origem e possibilitando a aplicação de rotinas sistemáticas de validação e controle de qualidade, em alinhamento com as diretrizes atuais da ABGE e demais associações normativas.

Este trabalho propõe e aplica uma solução de *Document Intelligence* com OCR orientado a *layout* para automatizar a extração de informações geotécnicas de acervos históricos, preservando estrutura tabular (colunas/cabeçalhos) e mantendo rastreabilidade e controle de qualidade. As contribuições são: (i) fluxo reprodutível de pré-processamento → segmentação → extração → QA/QC → exportação (Excel/JSON) aderente a princípios de AGS; (ii) validação técnica com sinalização "necessita revisão" e reaproveitamento seguro de resultados; (iii) medidas de desempenho (latência e acurácia por campo/tipologia) que orientam ajustes de dicionários e normalizações. Demonstra-se ganho de tempo de ordens de grandeza frente à transcrição manual e um caminho claro para atingir $\geq 95\%$ de acurácia, ao atacar causas-raiz (metadados geodésicos, método de avanço e elementos gráficos/manuscritos) com regras e dicionários específicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo descreve os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento e avaliação da solução de automação da extração de dados geotécnicos históricos. Inicialmente são apresentados os tipos de

documentos e a base de dados utilizada no estudo. Em seguida, descreve-se a arquitetura lógica do sistema e o *pipeline* de processamento adotado para segmentação, classificação e extração das informações estruturadas, bem como os procedimentos de controle de qualidade e armazenamento dos dados resultantes.

2.1 Base de dados e tipologias documentais

O estudo utilizou um conjunto de 148 *layouts* distintos de documentos do *backlog* corporativo de aproximadamente 29.000 unidades de sondagens e relatórios técnicos, abrangendo diferentes tipologias de investigação: Sondagem Percussiva (SP), Sondagem Mista (SM), Sondagem à Trado (ST) e Sondagem Rotativa (SR). Estima-se que cerca de 30% do acervo apresente baixa qualidade de digitalização, caracterizada por inclinação de páginas, baixa resolução, presença de sombras e ruído, além de elementos gráficos complexos, conforme ilustrado na Figura 1. Essas condições são reconhecidas como críticas para processos de OCR, especialmente em documentos contendo colunas e tabelas densas.

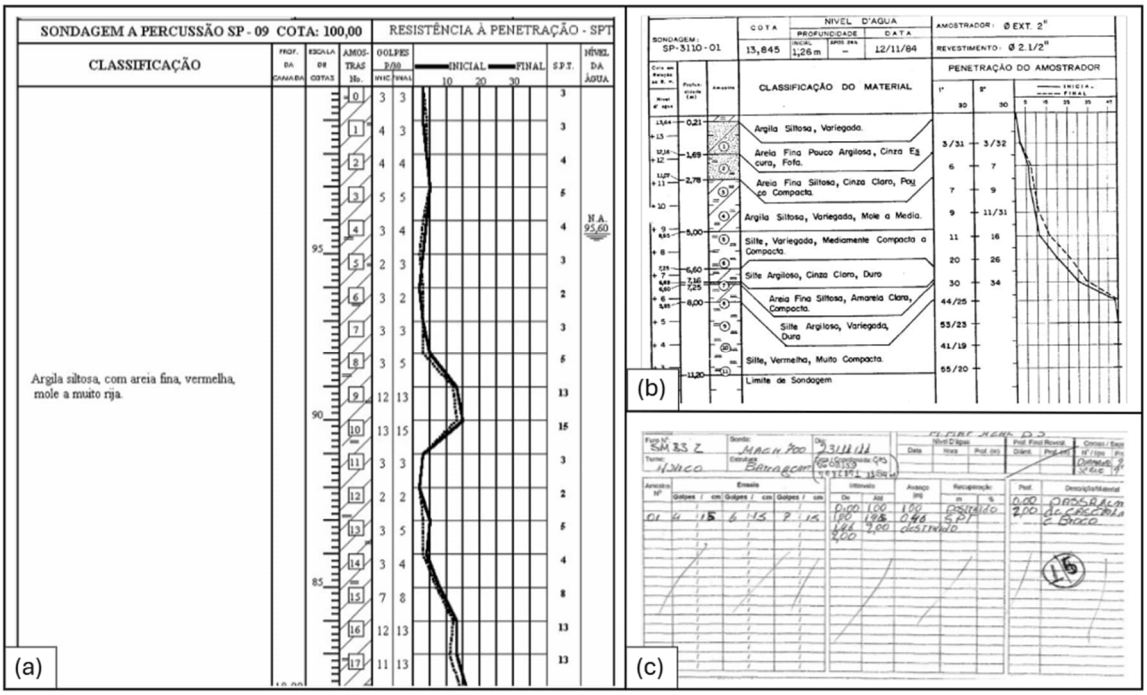


Figura 1. Documento *scan* (a), modelo datilografia (b) e boletim manuscrito (c).

As informações de interesse incluem metadados do furo (identificação, coordenadas e datas), registros de avanço, resultados de ensaios *in situ* (por exemplo SPT quando aplicável), descrições estratigráficas e leituras de nível d'água, além de dados associados a ensaios complementares usuais conforme a tipologia de investigação (ex., infiltração/perda d'água).

2.2 Arquitetura lógica do sistema e visão geral do *pipeline*

O sistema é implementado como uma *Azure Functions App* em *Python*, destinada a processar documentos de sondagens/boletins e gerar artefatos estruturados: JSON de extração e *template* (*xlsx.* ou *csv.*) em padrão AGS. O *pipeline* funcional segue as etapas de segmentação do documento, classificação do tipo de boletim, extração estruturada de campos e exportação de dados em formatos tabulares. A Figura 2 apresenta uma visão geral do fluxo operacional do sistema, desde a ingestão dos documentos até a geração dos artefatos estruturados de saída. O fluxo contempla as etapas de ingestão, segmentação e classificação do documento, extração dos campos relevantes e exportação dos dados em formatos estruturados para posterior integração com sistemas corporativos.

A extração utiliza serviços de *Document Intelligence* para leitura e interpretação estruturada do documento (texto/tabelas/*layout*), o que é coerente com práticas modernas de Document AI que preservam estrutura para reduzir ambiguidades em documentos técnicos (Microsoft, 2025a; Huang *et al*., 2022).



Figura 2. Fluxo do sistema.

A entrada dos documentos pode ocorrer por dois mecanismos principais: (i) ingestão via ADLS acionada pela API HTTP, e (ii) ingestão opcional via *Sharepoint* (*Microsoft Graph*), com controle em *Azure Table Storage* e processamento em lotes. No segundo caso, o sistema registra os metadados dos arquivos em *Azure Table Storage* e cria uma fila de tarefas para processamento em lote, permitindo controle e rastreabilidade do fluxo de execução.

A etapa de segmentação divide o documento em segmentos (intervalos de páginas) e registra marcadores de segmentação e *layout*, permitindo processamento granular e rastreável. Em seguida, o *pipeline* executa classificação para identificar se o documento contém boletim e o tipo de sondagem, controlando roteamento e bloqueios do fluxo quando o conteúdo não é elegível. O roteamento por tipo de documento (SPT/SM/SR/ST) e mapeamentos de modelo é controlado por configuração (ex.: YAML de extração), permitindo evolução por "famílias" de documentos.

Em cenários com documentos altamente degradados ou manuscritos, arquiteturas recentes de *Document AI*, como *TrOCR*, *LayoutLMv3* e *Donut*, têm sido exploradas como alternativas para leitura e interpretação estrutural de documentos, podendo orientar evoluções futuras do *pipeline* em casos limite (Li *et al*., 2021; Huang *et al*., 2022; Kim *et al*., 2022).

2.3 Processamento de documentos e QAQC operacional

Ferramentas de *Document Intelligence* permitem reconhecer texto, tabelas e elementos estruturais de *layout* (títulos, cabeçalhos/rodapés), melhorando a interpretação de relatórios técnicos com formatação tabular. Os resultados são padronizados no formato de planilhas para consumo operacional em banco de dados legado e JSON estruturado (integrações e auditoria), conforme Figura 3.

Para intercâmbio de dados e redução de retrabalho entre sistemas, são adotadas regras de consistência alinhadas ao formato AGS (dicionário de campos, chaves obrigatórias, etc.), reconhecido internacionalmente para investigação de campo e laboratórios geotécnicos. Na consistência técnica dos campos, observam-se as referências normativas de SPT (ABNT NBR 6484:2020 e ASTM D1586/D1586M) para conferir plausibilidade de Nspt, intervalos, nível d'água e unidades em SI.

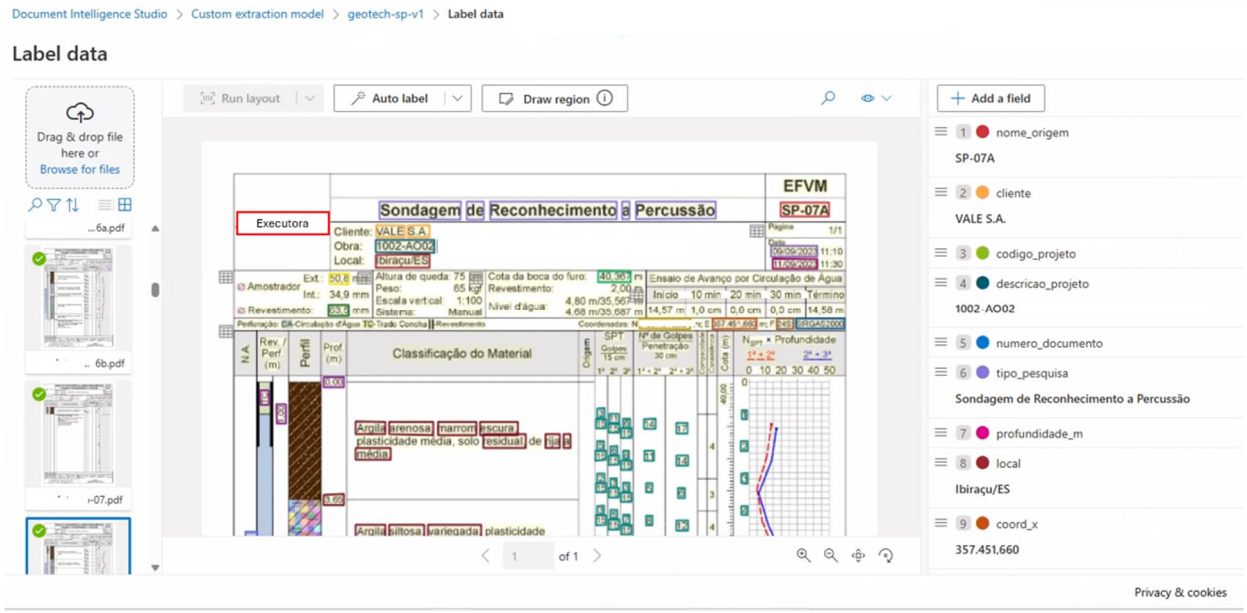


Figura 3. Treinamento da ferramenta e detecção de campos.

O sistema sinaliza inconsistências com indicador colorido nas planilhas de saída para análise técnica (Figura 4), sem bloquear a entrega, priorizando a revisão humana de campos obrigatórios apenas quando necessário e reaproveitando resultados estáveis quando o arquivo não mudou (rastreabilidade, treinamento contínuo da ferramenta e reprocessamento controlado).

Furo*	Profundid	N° Golpes - Interv. 1	Penet. - Interv. 1 (cm)	N° Golpes - Interv. 2	Penet. - Interv. 2 (cm)	N° Golpes - Interv. 3	Penet. - Interv. 3 (cm)	nSPT
SP-02D	1	2	15	3	15	4	15	7
SP-02D	2	3	15	2	15	2	15	4
SP-02D	3	30	9					

Origem*	De (m)*	Até (m)*	Fração Primária*	Fração Secundária	Fração Terciária	Fração Arenosa	Presença de	Origem do Material	Compacidade/Consistência	Cor Primária	Cor Secundária	Tonalidade
SP-02D	0,00	1,60	Argila	Areia			Pedregulhos	Residual	MD | Média(o)	ma - Marrom		e - Escuro
SP-02D	1,60	3,43	Areia	Argila		Fina	Pedregulhos	Residual	F-MTC | Fofa(o) a Muito compacta(o)	ma - Marrom		e - Escuro

Figura 4. Indicador de campos obrigatórios não preenchidos em: Nspt (a) e estratigrafia (b).

2.4 Armazenamento em banco legado e visualização dos dados

O banco de dados oficial utilizado pela Vale S.A é o GDMS *Fusion* (*Geological Database Management System*) da Datamine®, um sistema destinado ao gerenciamento integrado de dados geológicos, , geotécnicos, geofísicos e outros (Datamine, 2024). A Vale S.A possui três soluções de banco de dados GDMS: (i) GDMS Ferrosos para os furos de sondagem geológicos; (ii) GDMS Investigações Geotécnicas para os furos de sondagem e ensaios *in situ* de projetos geotécnicos; e, (iii) GDMS Sondagem para gestão e produção de equipamentos (Piton *et al.*, 2025).

Como forma de apoiar o acesso aos dados técnicos armazenados no GDMS, foi desenvolvido um relatório de saída em *Power BI* que consome ambos os bancos com visualização geoespacializada e em perfil, conforme apresentado na Figura 5. Por meio de programação que utiliza bibliotecas em *Phyton*, além da conversão de coordenadas geográficas para espacialização dos furos armazenados no banco, o relatório prevê os gráficos (*logs*) a partir dos resultados já inseridos no banco de dados.



Figura 5. Apresentação de dados geotécnicos armazenados no GDMS.

3 RESULTADOS

Nos ensaios realizados, a ferramenta apresentou latência de processamento compatível com uso operacional, porém sensível à complexidade documental. Para documentos simples — isto é, com *layout* estável, boa legibilidade e baixa densidade de tabelas — o tempo ponta a ponta manteve-se tipicamente entre 1 e 5 segundos por documento. À medida que a complexidade aumenta, com múltiplas colunas, quadros densos, anotações/manuscritos e/ou digitalização degradada, o tempo de transcrição tende a crescer, podendo aproximadamente dobrar em relação ao observado no cenário simples. Em contraste, no mesmo conjunto de teste, a transcrição humana levava cerca de 10 a 20 minutos em boletins simples e até 40 minutos nos boletins mais complexos.

Em termos de qualidade de extração, a avaliação em modelos de Sondagem à Percussão (SP) — apurada por confronto campo a campo com fonte de verdade — indica acurácia global atual em torno de 65%, enquanto a meta operacional estabelecida para a ferramenta é $\geq 95\%$. A análise de erro mostra que os campos com texto explícito e tabelas bem formadas alcançam desempenho superior, ao passo que elementos que dependem de contexto ou não estão textualizados tendem a concentrar as discordâncias. Entre os fatores que impactam diretamente a acurácia, destacam-se: (i) a incompletude de metadados geodésicos, em especial a ausência do sistema de referência (por exemplo, SIRGAS2000), o que dificulta a validação de coordenadas e a consistência espacial; (ii) a variação e/ou omissão do método de avanço de sondagem (por exemplo, trado e circulação de água), que reduz a precisão do mapeamento para campos padronizados; e (iii) a presença de elementos gráficos e notações específicas — como Nspt — que exigem interpretação humana quando a informação não aparece como texto legível.

Em síntese, os resultados mostram que a solução já entrega desempenho temporal adequado para processar lotes de boletins simples e apresenta acurácia funcional em SP, mas o desempenho depende fortemente da qualidade do insumo e da padronização dos campos críticos. Para convergir à meta de $\geq 95\%$, impõe-se um conjunto de ações complementares: endurecimento das regras de validação, enriquecimento de dicionários (unidades, litologia, métodos), normalização sistemática de metadados geodésicos e tratamento dedicado de elementos gráficos/manuscritos — priorizando justamente os pontos identificados na análise de erro.

4 DISCUSSÕES

Os resultados indicam que a automação já entrega ordens de grandeza de ganho de produtividade frente ao processo manual — de 1–5 s em boletins simples (ainda com aumentos esperados em casos complexos) contra 10–20 min (simples) e até 40 min (complexos) na transcrição humana do mesmo conjunto de teste — ao mesmo tempo em que viabiliza rastreabilidade e padronização das saídas (*Excel/JSON*) para uso corporativo. Esse desempenho temporal, associado ao controle de reprocesso e aos registros de execução, atende ao objetivo de tornar os acervos históricos utilizáveis em rotinas de engenharia e governança de dados.

Do ponto de vista da qualidade de extração, a acurácia global em Sondagem à Percussão (SP) ainda se encontra abaixo da meta ($\approx 65\%$ *vs.* $\geq 95\%$), mas os erros observados são coerentes com a literatura e com a natureza dos boletins geotécnicos: campos críticos não textualizados (p. ex., Nspt representado de forma gráfica), metadados geodésicos incompletos (ausência do sistema de referência, como SIRGAS2000) e variações na indicação de método de avanço (ex., trado, circulação de água) — todos elementos que demandam contexto e, muitas vezes, interpretação humana.

A estratégia adotada — preservar a estrutura do documento (colunas/cabeçalhos/tabelas) na extração — está alinhada às capacidades do modelo de *layout* do *Azure Document Intelligence*, que retorna uma representação estruturada para pós-processamento, condição crítica para boletins com quadros densos e múltiplas colunas. Para casos manuscritos ou com grande variabilidade de *layout*, a literatura recomenda explorar combinações e ablações com arquiteturas recentes: *TrOCR* (OCR neural fim-a-fim), *LayoutLMv3* (compreensão multimodal texto-imagem-layout) e *Donut* (abordagem OCR-*free* que mapeia a imagem diretamente para JSON). Em particular, revisões sistemáticas sobre OCR de manuscrito destacam que ganhos consistentes dependem de segmentação adequada, pré-processamento e modelos profundos treinados para cenários ruidosos.

No contexto geotécnico, o valor está em transformar acervos heterogêneos em uma base auditável e reutilizável: o *Excel/JSON* alimenta o banco de dados e relatórios analíticos, enquanto a rastreabilidade permite ciência de dados aplicada (séries de Nspt, N.A., padrões estratigráficos por profundidade) e retroanálises. A discussão dos resultados sugere que o gargalo não é apenas "algoritmo", mas, sobretudo, governança de conteúdo: campos-chave obrigatórios, dicionários de palavras e normalizações fazem a acurácia aumentar — e isso está perfeitamente alinhado ao que o pipeline já implementa (marcadores de execução, reaproveitamento de resultados estáveis, prioridade de revisão onde há incerteza).

Por fim, há riscos e limites que devem ser explicitados. A dependência da qualidade do insumo continuará afetando a extração; há risco de *overfitting* a *layouts* específicos caso os dicionários e as regras não sejam generalistas o suficiente; e elementos intrinsecamente gráficos (p. ex., colunas "Nspt" desenhadas) podem requerer etapas híbridas (heurísticas + revisão) até que o *corpus* seja suficiente para treinos especializados. A boa notícia é que a curva de ganhos tende a ser rápida à medida que regras, dicionários e pré-processamento são "calibrados" sobre as famílias de documentos mais recorrentes (SP/SM/ST/SR), como recomenda a literatura e a própria prática documentária.

5 CONCLUSÃO

A integração de *Document Intelligence* e OCR orientado a *layout* demonstrou capacidade de destravar acervos históricos, com ordens de grandeza de ganho de tempo e padronização auditável para consumo operacional, criando base sólida para retroanálises e calibração de modelos geotécnicos. Consolidar a qualidade até a meta ($\geq 95\%$) requer: *ground truth* amostral e métricas por campo (Profundidade, Nspt, N.A., Litologia, Unidades), dicionários e normalizações (método de avanço, unidades, abreviações), metadados geodésicos padronizados e regras AGS como referência de consistência e interoperabilidade.

Como evolução tecnológica, recomenda-se avaliar, sob ablação controlada, modelos recentes para casos-limite (manuscrito e forte variabilidade de *layout*) — *TrOCR, LayoutLMv3 e Donut* — mantendo a estrutura tabular como requisito de negócio.

No conjunto, a solução eleva a maturidade digital geotécnica ao converter informação difusa em base auditável, interoperável e pronta para análise/modelagem — objetivo central quando se busca reduzir incerteza e retrabalho em projetos, operar com segurança e confiabilidade, e criar as condições para retroanálises e calibração de modelos que reflitam, com fidelidade, o histórico da área e das intervenções.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às equipes da Diretoria de Geociências e Sondagem da VALE e da Universidade Federal de Santa Catarina, pela colaboração técnica em geotecnolgia e inteligência artificial, bem como o apoio na padronização e integração das saídas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGS – Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists. (2022). *Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data (AGS 4.1.1).* Disponível em: <https://www.ags.org.uk/content/uploads/2022/02/AGS4-v-4.1.1-2022.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2026.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. (2023). *Norma ABGE 100: Investigações geológico-geotécnicas para obras de infraestrutura – Métodos e técnicas*. 1. ed. São Paulo: ABGE.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. (2024a). *Diretriz Normativa ABGE 300: BIM geotécnico – Níveis de confiabilidade de investigações geológico-geotécnicas*. 1. ed. São Paulo: ABGE.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental. (2024b). *Diretriz Normativa ABGE 301: BIM geotécnico – Padrão digital de uso e compartilhamento de dados geológico-geotécnicos.* 1. ed. São Paulo: ABGE.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 6484 — Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio*. Rio de Janeiro: ABNT. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/nbr-64842020-solo-sondagem-de-simples-reconhecimento-d4p72yoo5d4p>. Acesso em: 27 fev. 2026.

ASTM International. (2018). *D1586/D1586M-18e1 — Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils*. West Conshohocken, 2018 (corrigido 2022). Disponível em: <https://img.antpedia.com/standard/files/pdfs_ora/20221211/astm/ASTM%20D1586_D1586M-18e1.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2026.

Datamine. (2024). *Brochura Fusion*. Disponível em: https://cdn-msaudata.pressidium.com/wpcontent/uploads/2023/05/Fusion_Brochure_230510_PT .pdf. Acesso em: 5 de março de 2026. (DATAMINE, 2024)

Huand, Y.; Lv, T.; Cui, L.; Lu, Y.; Wei, F. (2022). *LayoutLMv3: Pre-training for Document AI with Unified Text and Image Masking.* arXiv:2204.08387. Disponível em: < https://arxiv.org/pdf/2204.08387>. Acesso em: 27 jan. 2026.

Kim, G.; Hong, T.; Yim, M.; Nam, J.; Park, J.; Yim, J.; Hwang, W.; Yun, S.; Han, D.; Park, S. (2022) *OCR-free Document Understanding Transformer (Donut).* In: ECCV 2022. Springer. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-031-19815-1_29>. Acesso em: 27 jan. 2026.

Li, M.; Lv, T.; Chen, J.; Cui, L.; Lu, Y.; Florencio, D.; Zhang, C.; Li, Z.; Wei, F. (2021). *TrOCR: Transformer-based Optical Character Recognition with Pre-trained Models*. arXiv:2109.10282. Disponível em: < https://arxiv.org/pdf/2109.10282>. Acesso em: 27 jan. 2026.

Microsoft. (2025). *Document layout analysis – Azure AI Document Intelligence (v4.0).* Microsoft Learn. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/ai-services/document-intelligence/prebuilt/layout?view=doc-intel-4.0.0>. Acesso em: 20 fev. 2026.

Piton, R.; Biondo, M.; Oliveira, E.; Devise, D. (2025). Uso de bancos de dados e ferramentas computacionais para otimizar investigações geotécnicas em estruturas de rejeitos. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, Belo Horizonte. Anais eletrônicos […]. Belo Horizonte: ABGE, 2025. Disponível em: <https://schenautomacao.com.br/cbge2025/envio/files/anais/trabalho1_124.pdf>. Acesso em: 1 mar. 2026.