

Avaliação semi-automática da completude de tubulação para a indústria de extração

Lucas Marca * Bruno Lobell * Larissa S. Gomes * Junior Zilles *
Eder M. Gonçalves * Eduardo N. Borges * Danúbia B. Espíndola *
Sílvia S. da Costa Botelho *

* Centro de Ciências Computacionais, Universidade Federal do Rio Grande, RS, (e-mail: {lucasmarca, brunolobell}@furg.br, larissaesilva@gmail.com, {juniorzilles, edergoncalves, eduardoborges, dmtdbe, silviacb}@furg.br)

Abstract: Inspection is an important procedure for the extraction industry, as it guarantees the quality of the final product. The granularity of inspections ranges from the simplest of supplier components to the construction and assembly of highly complex systems like an oil rig's piping assembly. During this procedure, qualified professionals hired generate a series of documents that attest to the quality of the components used. Despite the evaluation of the quality inspectors, there is still an administrative procedure that analyzes the inspection reports generated and assesses whether all necessary documents are present. The present work presents a semi-automatic mechanism that helps inspectors in evaluating the completeness and conformity of documents, in order to make the process less costly.

Resumo: A inspeção é um procedimento importante para a indústria de extração, visto que ela garante a qualidade do produto final. A granularidade das inspeções varia desde o mais simples dos componentes de fornecedores até a construção e montagem de sistemas altamente complexos como o conjunto de tubulações de uma plataforma de petróleo. Durante esse procedimento, profissionais qualificados contratados geram uma série de documentos que atestam a qualidade dos componentes utilizados. Apesar da avaliação dos inspetores de qualidade, ainda existe um procedimento administrativo que analisa os relatórios de inspeção gerados e avalia se todos os documentos necessários estão presentes. O presente trabalho apresenta um mecanismo semi-automático que auxilia os inspetores na avaliação da completude e conformidade dos documentos, para tornar o processo menos custoso.

Keywords: Inspection; Quality; Piping; Conformity; Documents.

Palavras-chaves: Inspeção; Qualidade; Tubulação; Conformidade; Documentos.

1. INTRODUÇÃO

A indústria naval é responsável pela construção de estruturas complexas como as plataformas de extração marítimas. Essa indústria segue determinações a respeito dos requisitos mínimos que uma construção deve seguir para assegurar a vida humana e preservar o meio ambiente. Para garantir a qualidade necessária no atendimento a estes requisitos, as construções passam por uma rigorosa inspeção naval. A Lei brasileira 9.537/1997 define a inspeção naval como uma atividade de cunho administrativo que consiste na fiscalização do cumprimento desta Lei, das normas e dos regulamentos dela decorrente, e dos atos e resoluções internacionais ratificados pelo Brasil, no que se refere exclusivamente à salvaguarda da vida humana e à segurança da navegação, no mar aberto e em hidrovias interiores, e à prevenção da poluição ambiental por parte de embarcações, plataformas fixas ou suas instalações de apoio, Brasil (1997).

As construções navais seguem normas que determinam as especificações para o bom funcionamento de uma instalação. A comprovação da conformidade com as normas

aplicáveis é realizada através de documentos técnicos. Dentre eles existem os relatórios de inspeção que apresentam os resultados da inspeção dos equipamentos utilizando diferentes ensaios tais como Partícula Magnética, Líquido Penetrante, Gamagrafia, Dureza e Ferrita. Cada relatório tem uma especificação e um layout de documento distinto. Os documentos são montados pela instituição fornecedora do equipamento, sendo assinados pelo responsável técnico da empresa e do inspetor contratado pelo comprador do equipamento. Logo, analisar toda a documentação para encontrar possíveis problemas, tais como uma página que não possui assinatura ou a falta de um determinado relatório, é um trabalho muito custoso e passível de erro por ser um procedimento realizado manualmente.

A Lei 9.537/1997 também define plataforma como uma instalação ou estrutura, fixa ou flutuante, destinada às atividades direta ou indiretamente relacionadas com a pesquisa, exploração e exploração dos recursos oriundos do leito das águas interiores e seu subsolo ou do mar, inclusive da plataforma continental e seu subsolo, Brasil (1997). No ambiente de uma plataforma são encontrados os mais variados categorias de tubulações que conduzem

líquidos e/ou gases. As tubulações são a melhor forma de condução desses materiais até o recipiente em que irão ser armazenados ou descartados, visto que fornecem a segurança necessária para funcionamento, desde que essa tubulação atenda as normas exigidas para uso.

A verificação dos documentos é efetuada manualmente onde há um grupo de funcionários responsáveis pela análise da documentação de uma construção. Esse processo pode levar semanas para ser concluído, tornando o processo cansativo, custoso e sujeito a erro humano. Dessa forma, existe uma necessidade de automatizar este processo de análise de documentação, apontando os problemas encontrados, reduzindo consideravelmente os recursos de tempo e esforço humano necessários.

O processo de completude segue as exigências da norma N-xxx (norma específica de uma empresa de extração) que fixa condições mínimas para a fabricação, montagem, manutenção, condicionamento, inspeção e testes de tubulações metálicas em unidades industriais, tais como: plataformas marítimas, áreas de processo, áreas de utilidades, parques de armazenamento e instalações auxiliares, terminais, bases de armazenamento, estações de bombeamento, estações de compressão, estações reguladoras de pressão e de medição de vazão de gás (*city-gates*).

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta para verificação semi-automática da completude de documentos de tubulação, para auxiliar no processo de avaliação de conformidade de tubulações. Estes documentos são provenientes de arquivos digitalizados como imagem e processados por uma ferramenta de Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR).

O restante do texto está organizado da seguinte forma. Os trabalhos relacionados são apresentados na Seção 2. Na Seção 3 a metodologia é descrita em detalhe, incluindo como foi desenvolvida a validação, os recursos e as tecnologias utilizadas. Os resultados alcançados, detalhamento da Interface de Programação de Aplicações (API) desenvolvida, a forma de interação com a interface gráfica e o retorno do procedimento de avaliação são apresentados na Seção 4. Por fim, o trabalho é concluído na Seção 5.

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Gama and Dias (2014) relatam que a Inspeção de Recebimento de materiais ou equipamentos tem o objetivo de verificar a conformidade dos mesmos com as especificações da ordem de compra (desenhos, especificações técnicas, normas e legislações aplicáveis ou outros documentos contratuais), evitando falhas, retrabalhos e garantindo a qualidade dos produtos antes de sua aplicação. No trabalho também é citado os elementos levados em consideração pelo inspetor, tais como as normas de fabricação do material, norma de dimensionais de tubo e a norma de definição para a montagem, podendo esta ser específica da empresa ou a ABNT NBR 5426. Os autores apresentam planilhas de auxílio para a inspeção de recebimento de tubulações, que facilitem o trabalho de preparação do inspetor de recebimento, seja para atividades de campo (inspeção dimensional, por exemplo), como para atividades de mesa (verificação de certificados), proporcionando dados confiáveis, aumentando a confiabilidade da inspeção de entrada.

Segundo Torres et al. (2005), a inspeção externa de dutos é realizada com verificação visual dos segmentos observando o estado da corrosão, da pintura, e do revestimento do duto. Também são examinados os danos causados por impactos externos ou atividades de terceiros. Já a inspeção interna utiliza *pigs* instrumentados para identificar os pontos em que existam amassamentos e corrosões internas.

Equipamentos de alto risco que operam com altas cargas e em contato direto com a tripulação são críticos e necessitam inspeção regular. Com objetivo de analisar o gerenciamento de integridade de um Navio-Sonda (*Drillship*), Macedo (2018) aponta que vasos de pressão e tubulações são regulados por autoridades em engenharia e legislação nacional, e como na prática devem ser aplicadas nos programas de manutenção e inspeção. O autor relata que as normas são as responsáveis por determinar como uma tubulação deve funcionar e estão diretamente atreladas a verificação dos documentos de inspeção de uma tubulação.

Vieira (2013) apresenta 3 dificuldades relacionadas a documentos técnicos armazenados fisicamente, são eles: 1) dificuldade de localização de documentos; 2) necessidade de atendimento à legislação da agência reguladora e a condições operacionais; 3) necessidade de alinhamento ao estado da prática tecnológica, tendo em vista que a geração e a tramitação de documentos técnicos de engenharia, tanto internamente empresa em questão, quanto as empresas projetistas contratadas, dá-se a partir de mídia eletrônica.

O trabalho proposto no presente artigo contribui para análise dos documentos de inspeção aprimorando as atividades de mesa, as quais são realizadas de forma semi-automática, o que reduz consideravelmente o tempo e o esforço de trabalho do inspetor. Assim, todos os 3 problemas apontados por Vieira (2013) foram resolvidos. Entretanto, não foi encontrado artigos científicos com propostas de sistemas que desempenhem o mesmo mecanismo do proposto, portanto, relatará-se alguns dos trabalhos encontrados que buscam a verificação de requisitos de software, para evitar inconsistências, ou formas de otimizar a análise de documentos o que é um dos principais objetivos do presente trabalho.

Na busca por técnicas de verificação de registros, Marra and da Silva (2020) apresentam uma utilização de modelo de *checklist* aplicado à Conformidade de Registro de Gestão que consiste na certificação dos registros dos atos e fatos da execução orçamentária, financeira e patrimonial dos órgãos da administração pública federal. Segundo os autores, a trabalho apresentou um resultado favorável reduzindo riscos inerentes a execução orçamentária, financeira e patrimonial. Contudo, o trabalho não apresenta o processo como sendo automático, o que é uma contribuição significativa da solução proposta neste artigo.

Silva and Sousa (2018) propõem um mapeamento de *Cenário & Language Extended Lexicon (C&L)* para *statechart*, com o intuito de promover uma verificação nos cenários, visando identificar problemas de incompletude e inconsistência mais cedo, corroborando para uma especificação de requisitos com melhor qualidade. Dessa forma, o presente trabalho busca similarmente encontrar problemas de inconsistência de dados em documentos digitalizados como imagem.

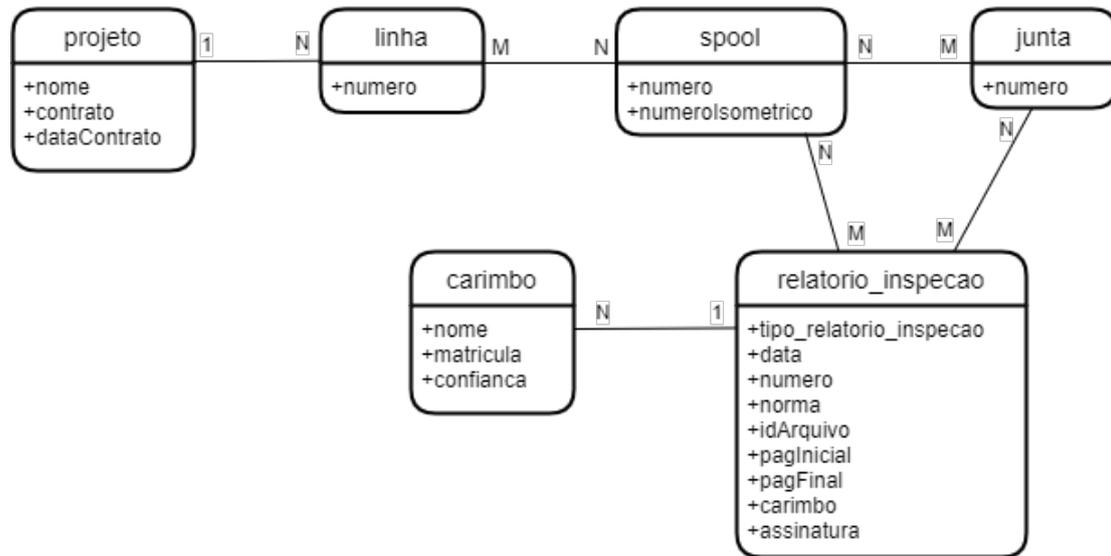


Figura 1. Diagrama conceitual da base de dados apresentando as entidades mapeadas e os relacionamentos entre elas.

3. METODOLOGIA

O sistema desenvolvido parte da pressuposta existência de uma base de dados, contendo informação extraída por Reconhecimento Óptico de Caracteres (OCR) e por uma função de mapeamento que popula os dados no modelo relacional. Esta base de dados e ferramentas descritas foram desenvolvidas em outros trabalhos do grupo de pesquisa ainda não publicados. O modelo conceitual entidade-relacionamento que descreve o esquema de dados é apresentado na figura 1.

O digrama apresenta o relacionamento entre os componentes de tubulação de uma construção naval e seus relatórios de inspeção. Como entidades principais temos:

- Projeto, onde se identifica o projeto da construção;
- Linha, contendo a identificação das linhas de tubulação de cada projeto;
- Spool, correspondendo aos tubos de conexão soldados com outros tubos;
- Junta, identificando soldas ou conexões entre tubos;
- Relatório Inspeção, detalhando informações dos relatórios;
- Carimbo, que armazena informações extraídas do inspetor ou funcionário que atesta a inspeção.

Os spools e as juntas passam por inspeção, por isso estão contidos em relatórios de diferentes tipos, variando conforme a norma aplicada à peça em questão. Cada relatório é assinado e carimbado por um inspetor e um responsável técnico da empresa que forneceu a peça (spool ou junta).

A aplicação desenvolvida para consultar e verificar a completude dos dados foi implementada com uma API RESTful em *Python*¹ na versão 3 com a biblioteca *Flask*². A arquitetura do sistema desenvolvido é apresentado na figura 2. É possível observar que o ponto de partida é o acesso do usuário no navegador através de uma URL pública. Entre a página Web e o usuário existe um *gateway*

¹ <https://www.python.org/>

² <https://flask.palletsprojects.com/en/2.0.x/>

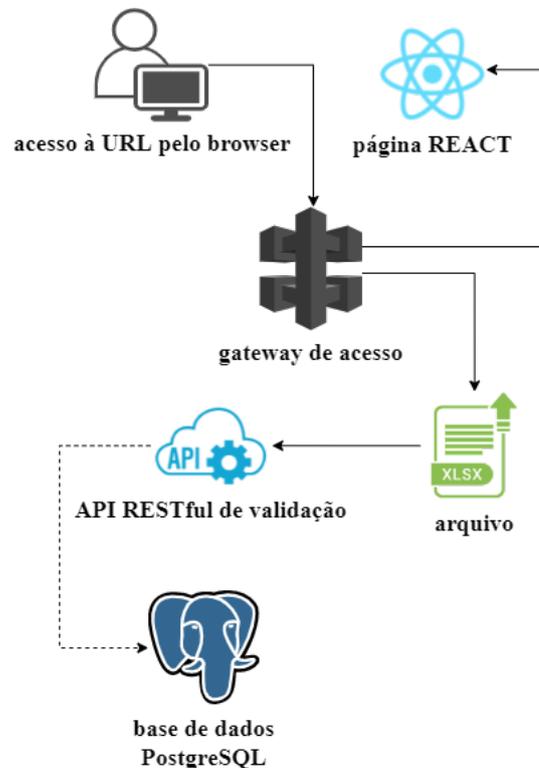


Figura 2. Arquitetura do sistema desenvolvido para verificação de completude de tubulação em relatórios de inspeção de construção naval.

que gerencia os acessos ao sistema, direcionando o usuário para a interface gráfica desenvolvida em *React*³.

Dentre as funcionalidades desenvolvidas na interface há uma aba destinada ao serviço da completude, onde se realiza o *upload* de uma planilha no formato XLSX contendo uma lista de juntas e spools que necessitam inspeção e de que tipo. A requisição efetuada com o arquivo pela página é direcionada pelo *gateway* de acesso direcionando à API responsável pela completude. A API desenvolvida realiza

³ <https://pt-br.reactjs.org/>

Entrada:

```
1 {
2   "project_id": "PN-1234",
3   "alpha": 0.5,
4   "format": "json"
5 }
```

Saída:

```
1 {
2   "Relatorios": {
3     "data": [
4       {
5         "relatorios_pendentes": [
6           {
7             "item de numero 1": [
8               "Liquido Penetrante/Particula
9                 Magnetica",
10              "linha 2801 no arquivo xlsx",
11              "P-E10-7071-SP03"
12            ],
13            "item de numero 2": [
14              "Liquido Penetrante/Particula
15                 Magnetica",
16              "linha 3324 no arquivo xlsx",
17              "P-F6-7056-SP01"
18            ],
19            "item de numero 3": [
20              "Liquido Penetrante/Particula
21                 Magnetica",
22              "linha 3337 no arquivo xlsx",
23              "P-F6-7150-SP03"
24            ],
25            "item de numero 4": [
26              "Liquido Penetrante/Particula
27                 Magnetica",
28              "linha 3338 no arquivo xlsx",
29              "P-F6-7150-SP03"
30            ],
31            "item de numero 5": [
32              "Liquido Penetrante/Particula
33                 Magnetica",
34              "linha 3341 no arquivo xlsx",
35              "P-F6-7150-SP04"
36            ]
37          ]
38        ]
39      ]
40    }
41  }
```

Figura 3. Entrada e saída do algoritmo implementado na API de completude de tubulação com documento JSON relatando inspeções faltantes.

o processamento obtendo os dados necessários na base de dados *PostgreSQL*⁴ por meio da biblioteca *psycopg2*⁵. Durante o processamento é utilizado ainda a biblioteca *editdistance*⁶ para calcular as distâncias de edição entre os termos extraídos do OCR e os provenientes da planilha XLSX, e a biblioteca *pandas*⁷ para manipulação de tabelas. Uma vez processado o resultado pode ser apresentado visualmente ou em arquivo de formato CSV.

Os componentes do sistema são executados utilizando contêineres *Docker*⁸ no sistema de orquestração de contêineres *Kubernetes*⁹.

4. RESULTADOS

A complexidade do serviço para a interpretação do arquivo XLSX é realizar a leitura do que representa estes dados, e o que eles de fato podem impactar na inspeção das tubulações. Para isso foi necessário entender as normalizações e padronizações de inspeção de tubulações, os tipos que existem, e como interpretá-los.

Para determinar a completude de inspeções de tubulação deve-se analisar se todas as juntas e spools da planilha eletrônica de entrada do algoritmo estão contidas nos relatórios de inspeção armazenados no sistema. Para cada categoria de relatório, uma série de regras devem ser aplicadas. Estas regras foram codificadas a partir das normas de inspeção. Por exemplo, na inspeção por nível de viscosidade e volatilidade, dependendo do nível de carbono da tubulação, é necessária uma certa quantidade relativa de juntas inspecionadas por raio-x ou ultrassom. Esta quantidade varia entre 10 a 50% do total de juntas conforme o nível de inspeção requerido. Os níveis, que variam de 1 a 4, são aplicados nas seções da tubulação necessitam de mais ou menos vistorias e inspeções. Por exemplo, onde o risco de operação é maior em função da alta pressão de gases e líquidos combustíveis, uma amostra maior de juntas precisa ser inspecionada e com maior rigor, ou seja, com testes mais caros e garantem mais precisão do resultado. Os níveis aumentam conforme o tipo do fluido que passa naquela seção e o diâmetro da tubulação.

O serviço de verificação elaborado em API RESTful possui duas rotas. A primeira `./v1/verify` recebe uma requisição do tipo POST, contendo o arquivo XLSX e um JSON (vide figura 3, Entrada) que contém a identificação do projeto 'project_id' e um coeficiente *alpha* que corresponde ao limiar da função de similaridade textual utilizada para o casamento aproximado de registros, e o formato de saída *format*. A verificação então obtém as linhas, spools e juntas do projeto de entrada e realiza a comparação dos dados encontrados no banco com os presentes dentro do XLSX. No processamento é realizado a remoção de caracteres especiais e a avaliação da similaridade entre os termos, além de outros processamentos para obter o melhor resultado. A saída, pode ser em formato CSV equivalente ao XLSX da entrada com uma coluna adicional indicando se os relatórios de inspeção com laudo aprovando as referidas juntas foram encontrados ou estão incompletos. Ainda é disponibilizada saída em formato semiestruturado JSON.

A figura 3 apresenta um exemplo de entrada esperada pela API e a saída do algoritmo implementado. São apresentados relatórios de inspeção pendentes (linha 5), ou seja, documentos faltantes que representam alguma anomalia, ou que fogem da regra definida pela norma aplicada. A análise é intuitiva, apresentando itens numerados associados a relatórios pendentes, a respectiva linha do arquivo XLSX de entrada, e toda seção da linha de tubulação no formato fluido-material-tubo-linha-spool.

⁴ <https://www.postgresql.org/>

⁵ <https://pypi.org/project/psycopg2/>

⁶ <https://pypi.org/project/editdistance/>

⁷ <https://pypi.org/project/pandas/>

⁸ <https://www.docker.com/>

⁹ <https://kubernetes.io/pt-br/>

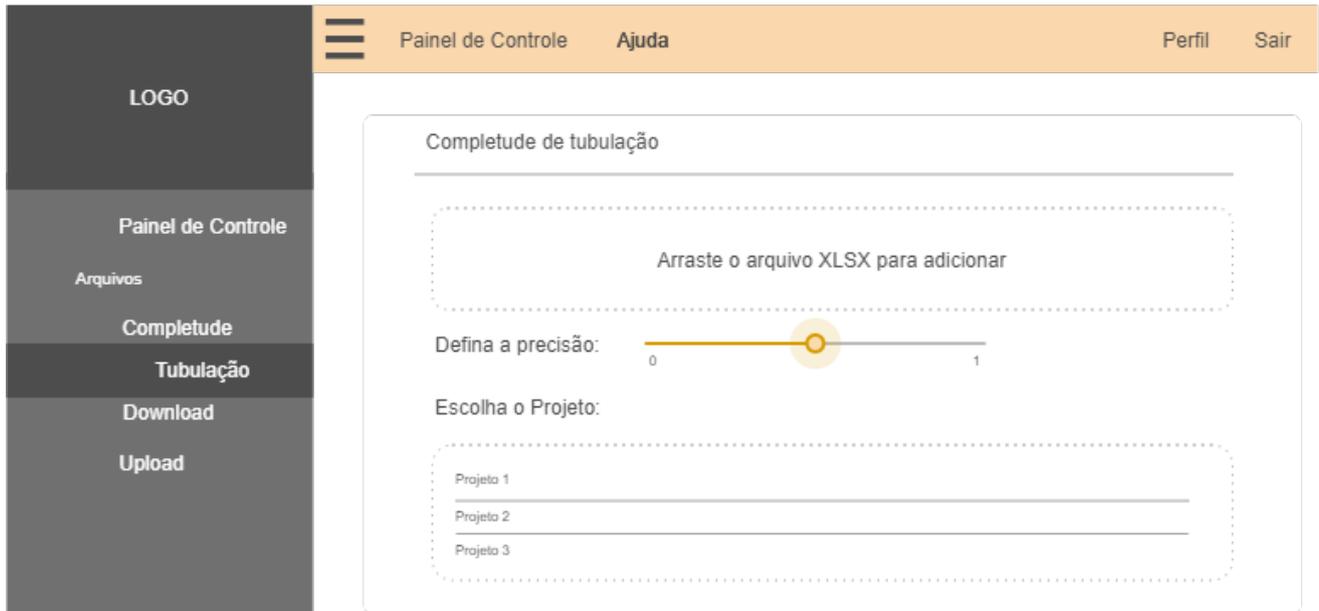


Figura 4. Interface de upload do arquivo

```
1 {
2   "Relatorios": {
3     "data": [
4       "Soldadores": {
5         "soldador D080": {
6           "SW-B6C-7002-SP04": [
7             "001SF",
8             "numero de soldas 1" ],
9           "SW-B6C-7017-SP14": [
10            "006SF",
11            "numero de soldas 2" ],
12           "SW-B6C-7038-SP06": [
13            "005SF",
14            "numero de soldas 3" ],
15           "SW-B6C-7038-SP07": [
16            "002SF",
17            "numero de soldas 4" ],
18           "SW-B6C-7038-SP08": [
19            "003SF",
20            "numero de soldas 5" ],
21           "porcentagem de inspecao de PMI": 0.0,
22           "porcentagem de inspecao de Particula
23             Magnetica": 100.0,
24           "porcentagem de inspecao de raio x": 0.
25             0,
26           "porcentagem de inspecao de ultrassom":
27             0.0 },
28         "soldador D161": {
29           "P-E10-7071-SP04": [
30             "001SF",
31             "numero de soldas 1" ],
32           "porcentagem de inspecao de PMI": 0.0,
33           "porcentagem de inspecao de Particula
34             Magnetica": 100.0,
35           "porcentagem de inspecao de raio x": 0.
36             0,
37           "porcentagem de inspecao de ultrassom":
38             0.0 }
39       ]
40     }
41   }
42 }
```

Figura 5. JSON relatando acompanhamento de soldadores

Vale ressaltar que análise de porcentagem com base nos níveis de inspeção é calculada a partir do número de soldas realizadas pelos soldadores. Por exemplo, considerando nível 2 de inspeção, um spool (seção da linha da tubulação) é liberado caso a soma de inspeções por ultrassom e/ou raio-x do soldador que trabalhou nesse spool atinja 25% do total de juntas soldadas por este trabalhador numa mesma data.

A partir destas verificações, foi disponibilizado um relatório geral do andamento de cada soldador. Os dados são consultados no banco de dados relacional e processados para gerar uma lista de soldadores por data. Para cada trabalhador é apresentada a quantidade de soldas por spools/juntas, e por fim a porcentagem de inspeções conduzidas nas soldas realizadas. Nas figuras 3 e 5 foram retirados exemplos, para demonstra a complexidade da ferramenta.

A segunda rota da API `./v1/list-reports` feita em requisição do tipo GET obtêm todos os registros da tabela projetos e retorna o seu conteúdo em formato JSON. Essa rota é utilizada para apresentar os projetos existentes na base de dados para o usuário final da aplicação. Logo, a figura 4 mostra a interface do sistema, contendo no menu superior elementos para gerenciamento de perfil e tópicos de ajuda. No menu lateral estão dispostas funcionalidades de *upload* e *download* dos arquivos PDFs correspondentes aos relatórios de inspeção. Por fim, a opção de *completude*, com sub-item *tubulação*, apresenta a tela que contém os elementos necessários para a verificação de completude presente nesse trabalho: uma área de *upload* do XLSX para verificação, o limiar do método de similaridade e o projeto a ser escolhido dentre os já existentes no sistema. Após o envio, o processamento é realizado e os resultados retornados no documento JSON com o exemplificado nas figuras 3 e 5 são formatados para apresentação na tela do navegador em formato agradável ao usuário.

5. CONCLUSÃO

No artigo foi apresentado e discutido a problematização dos processos de análise de inspeções de tubulação e como estes dados são representados e consultados. Desenvolveu-se uma ferramenta de análise de completude a partir de dados e tabelas eletrônicas, que são conduzidos em dois estágios: primeiramente é verificado se as regras da norma estão sendo executadas sem apresentar alguma anomalia, e em seguida se o relatório de inspeção está contido no banco de dados.

A ferramenta desenvolvida permitiu ter um controle mais objetivo das inspeções, permitindo um levantamento de métricas com o resultado obtido. Tais dados sendo verificados desta forma aumentam a eficiência da completude. Ela está inserida em um sistema com mais ferramentas de análise, portanto sua saída pode ser utilizada para integrar outras análises.

As tecnologias utilizadas foram determinantes para implementação da ferramenta como um conjunto de micro-serviços Web, os quais são facilmente executados num ambiente de nuvem computacional, otimizando recursos computacionais.

REFERÊNCIAS

- Brasil (1997). Lei nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. URL https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19537.htm.
- Gama, H.d.S.B. and Dias, L.T.S. (2014). *Elaboração de Planilhas para Auxílio à Inspeção de Recebimento para Tubulações de Aço Liga e Aço Inoxidável*. Ph.D. thesis, PUC-Rio.
- Macedo, D.d.V. (2018). Gerenciamento de integridade de vasos de pressão e tubulações em unidades de perfuração marítima. URL <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10027829.pdf>. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ.
- Marra, P.R. and da Silva, C.G.P. (2020). A aplicação de um modelo de checklist como metodologia de gestão de riscos na conformidade de registro de gestão no âmbito da defensoria pública da união - um estudo de caso. *Revista da Defensoria Pública da União*, 1(13), 302–313. doi:10.46901/revistadadpu.i13.p302-313. URL <https://revistadadpu.dpu.def.br/article/view/330>.
- Silva, C. and Sousa, S. (2018). Mapeando cenário & lel para o modelo statechart: Uma estratégia para verificação da especificação de requisitos. *Revista Eletrônica Argentina-Brasil de Tecnologias da Informação e da Comunicação*, 1(8). doi:10.5281/zenodo.1228483. URL <https://revistas.setrem.com.br/index.php/reabtic/article/view/253>.
- Torres, C.A., Alves, A.J., Chaves, C.J., Campos, C.L., Guarda, J.G., Magalhaes, M.P., Neto, N.M., and Yogui, R.T. (2005). Environmental management of pipeline and right-of-way; gerenciamento ambiental em serviços de manutenção de dutos e faixas de dutos. *Rio Pipeline Conference & Exposition 2005*.
- Vieira, C.M.S. (2013). O gerenciamento dos documentos críticos do acervo da documentação técnica de engenharia: o caso da unidade de negócios de dutos e terminais

da transpetro. URL <http://www.repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/8163>. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA.