

ESTUDO TEÓRICO E COMPARATIVO DAS TÉCNICAS DE GAMAGRAFIA E RADIOGRAFIA INDUSTRIAL COM BASE NA ANÁLISE DE EFICÁCIA APLICACIONAL¹

THEORETICAL AND COMPARATIVE STUDY OF THE TECHNIQUES OF GAMMAGRAPHY AND INDUSTRIAL RADIOGRAPHY BASED ON AN ANALYSIS OF THEIR APPLICATIONAL EFFECTIVENESS

**Inácio Zapparoli Bardini², Matheus Augusto Santos Antoniazzi³,
Caetano Dartiere Zulian Fermino⁴ e Emmanuel Zullo Godinho⁵**

RESUMO

O projeto em questão tem em vista, por meio de uma revisão bibliográfica, discutir os conceitos específicos das técnicas de Gamagrafia e Radiografia Industrial, objetivando avaliar em um primeiro momento as principais condições aplicacionais, tendo como base a natureza e comportamento das radiações, os equipamentos envolvidos nos processos e as normas de segurança para aplicações industriais de análise de falhas e defeitos em equipamentos, soldas, caldeiras e estruturas em geral, bem como eventuais pesquisas e descobertas nessa área da Radiologia Industrial. Foi feito o levantamento bibliográfico a partir dos descritores explicitados no decorrer da pesquisa, subdividindo-a entre a radiação X e radiação gama, ambas com abordagens voltadas para indústria e manutenção. Logo após isso, foi realizada outra divisão a fim de facilitar a visualização de como cada área de estudo trata a Radiologia de forma específica, sendo elas: medicina por meio de análise de estrutura viral e tomografia com imagens 3D infraestrutura/meio ambiente com abordagem para concreto de calçadas, soldagem industrial, cristalografia e difração por raios X e modelagem matemática como complemento às inspeções. Com isso, foi possível concluir que o uso das radiações não se restringe apenas a parte industrial, tendo outras aplicações, mostrando-se como algo positivo, visto que, as pesquisas e buscas por novas implementações têm aumentado com o passar dos anos, assim como apontaram os gráficos estatísticos.

Palavras-chave: Revisão bibliográfica, Radiologia industrial, Aplicações industriais, Radiações.

ABSTRACT

The project in question aims, through a bibliographical review, to discuss the specific concepts of Gamma-ray and Industrial Radiography techniques, with the aim of first evaluating the main application conditions, based on the nature and behavior of radiation, the equipment involved in the processes and the safety standards for industrial applications in the analysis of faults and defects in equipment, welds, boilers and structures in general, as well as any research and discoveries in this area of Industrial Radiology. A bibliographic survey was carried out using the descriptors explained in the course of the research, subdividing it into X-radiation

1 Trabalho de Iniciação Científica.

2 Discente de Engenharia Química pelo Centro Universitário Sagrado Coração. E-mail: inaciobardini@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6832-2004>

3 Discente de Engenharia Química pelo Centro Universitário Sagrado Coração. E-mail: augustoantoniazzi04@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3695-7692>

4 Discente de Engenharia Química pelo Centro Universitário Sagrado Coração. E-mail: ferminocaetano867@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6762-6794>

5 PhD em Engenharia de Biosistemas pela Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos e Doutor em Agronomia - Energia pela Universidade Estadual Paulista. Docente do Centro Universitário Sagrado Coração. E-mail: profemmanuelzullo@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5281-6608>

and gamma radiation, both of which have industrial and maintenance approaches. After this, another division was made in order to make it easier to see how each area of study treats Radiology in a specific way, namely: medicine through viral structure analysis and tomography with 3D images infrastructure/environment with an approach to sidewalk concrete, industrial welding, crystallography and X-ray diffraction and mathematical modeling as a complement to inspections. As a result, it was possible to conclude that the use of radiation is not just restricted to the industrial sector, but has other applications, proving to be positive, since research and the search for new implementations have increased over the years, as the statistical graphs show.

Keywords: *Bibliographical review, Industrial radiology, Industrial applications, Radiation.*

INTRODUÇÃO

A energia nuclear começou a ser utilizada efetivamente em 1938, no limiar da Segunda Guerra Mundial para fins militares, ou seja, criação de bombas atômicas por meio da fissão nuclear bombardeamento de nêutrons em direção a um átomo instável, quebrando-o em núcleos menores e emitindo uma grande quantidade de energia (KODAMA, 2009). Segundo o mesmo autor, atualmente a geração de energia elétrica é empregada em aplicações médicas com raios X como é o caso da Tomografia Computadorizada, também utilizado nas indústrias, a exemplo de ensaios não-destrutivos para análise de possíveis defeitos estruturais em uma peça usando raios gama ou raios X.

No Brasil, o primeiro contato com a Radiologia se deu por meio de uma tese de doutorado, escrita por um médico em 1896, entretanto o primeiro aparelho de raios X chegou em 1897 e depois passando por diversas evoluções, como por exemplo, a formação de sociedades de radiologistas e aprimoramento da área como um todo (FRANCISCO, 2006).

Já em relação aos primeiros ensaios não destrutivos (END), Gordon (2003) salienta que para fins industriais, foram inicialmente introduzidos em 1940, pela Marinha Brasileira na área da construção naval, já em relação à gamagrafia, no início da década de 80 foi inaugurado o Laboratório de Produção de Fontes Seladas para Fins Industriais (LPFI), com o intuito de desenvolver fontes radioativas seladas para serem utilizadas em gamagrafia industrial, sendo os primeiros passos para utilização de radioisótopos nas indústrias no Brasil.

Assim, pioneiramente esse campo amplo da Radiologia que abrange desde questões médicas até industriais foram desenvolvidos estudos na área para fins de tratamento e descobertas de doenças, para posteriormente adentrar no ramo da indústria que se conhece hodiernamente.

Os raios X são conhecidos pela grande quantidade energética, propriedade essa que permite a forte interação com o interior da matéria em contato (DE SOUSA, 2018). O comprimento de onda é um fator preponderante na interação com a matéria e como expressão das diferentes frequências das ondas eletromagnéticas, além de referir-se ao poder de penetração nos diferentes materiais e corpos de contato (NASCIMENTO, 2001).

A radiação gama, por sua vez, ocorre através do decaimento de radioisótopos. O tempo de duração varia de acordo com as características próprias dos elementos radioativos utilizados, podendo ser o Cobalto-60, Irídio-192, Selênio-75, Césio-137, dentre outros (SÁNCHEZ e PENTEADO, 1968).

Esses radioisótopos são os elementos químicos de mesma natureza, todavia possuem núcleos distintos e massas atômicas variadas, fator esse que o permite liberar radiação. Sendo assim, sua atividade (denominado como taxa) consiste na liberação dessa radiação, ocorrendo emissões e transformações em um período de tempo, categorizando o termo meia vida ou decaimento do núcleo radioativo, sendo o tempo necessário para que metade de sua massa seja reduzida pela metade. (CARDOSO *et al.*, 2000, p. 7-9). Essa propriedade configura-se como um dos critérios para escolha de determinado elemento para o uso desejado.

Diante disso, o objetivo do trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica por meio de um estudo comparativo com base em uma análise qualitativa e quantitativa entre as técnicas de gama-grafia e radiografia no âmbito industrial, buscando compreender as principais características que as distinguem.

MATERIAL E MÉTODOS

Para iniciar as análises referentes aos artigos a serem utilizados, o pesquisador que utiliza a bibliometria busca dados e informações através de uma análise qualitativa e sem um tom de subjetividade (FERREIRA, 2002). Com isso, um mapeamento de materiais científicos de qualquer natureza (periódicos em geral, por exemplo) representa uma quantificação dos dados de interesse baseado nos países que mais publicam com o decorrer dos anos, o enfoque principal naquele estudo, ou seja, um progresso em determinada área de interesse.

Esse estudo bibliométrico configura-se como o primeiro contato com os artigos que serão definidos para embasar a pesquisa que está sendo desenvolvida. Será o filtro quantitativo embasado que será realizado dentro de uma base de dados, cuja abordagem se dá por meio de caráter estatístico e fundamentado em um modelo matemático (SANTOS; KOBASHI, 2009, p. 156-159).

O termo estado da arte configura-se como um método de busca e reunião de artigos diversos relacionados à temática estudada além de expor conceitos e evoluções no assunto como ferramenta de perspectivas futuras, por meio de uma visão mais crítica e menos sistematizada, já que requer uma visualização mais profunda e relacionada à temática acerca do que está sendo pesquisado (ROMANOWSKI; ENS, 2006, p. 38-39).

Ferreira (2002) aponta que abordagens qualitativas de pesquisa podem apresentar mais desafios e obstáculos para os pesquisadores. É essencial organizar a seleção dos artigos de onde serão retiradas as informações, garantindo sua relevância para os objetivos da pesquisa. Além disso, é crucial

questionar o contexto, os participantes, o conteúdo e os métodos dos trabalhos selecionados, visando identificar novas abordagens e inovações no tema em questão, especialmente devido à natureza mais subjetiva desse tipo de abordagem.

Diante disso, a pesquisa qualitativa ilustra esse conceito, visto que requer alguns indicadores que desempenham um papel de “filtro” de artigos de qualidade. A quantidade de informações obtidas não é priorizada nessa etapa, mas sim as características autorais e de publicação, a exemplo de artigos com número elevado de citações por outros autores ou advindos de revistas e periódicos importantes na área do estudo, diferentemente da análise quantitativa.

A pesquisa baseou-se em seguir esse viés de análise, haja vista a utilização da base de dados Scopus para seleção quantitativa, para posteriormente definição das informações de acordo com os critérios supracitados na pesquisa qualitativa, já que o propósito é observar o histórico de evolução das técnicas que utilizam as radiações ionizantes, descrever as características principais da gamagrafia e radiografia industrial através de três pontos norteadores a fim de chegar à conclusão de qual técnica melhor se enquadra nas mais diversas situações na indústria.

RESULTADOS

Os resultados parciais desta pesquisa conforme a metodologia apresentada é o estudo bibliométrico do tema, com estudo quantitativo e qualitativo.

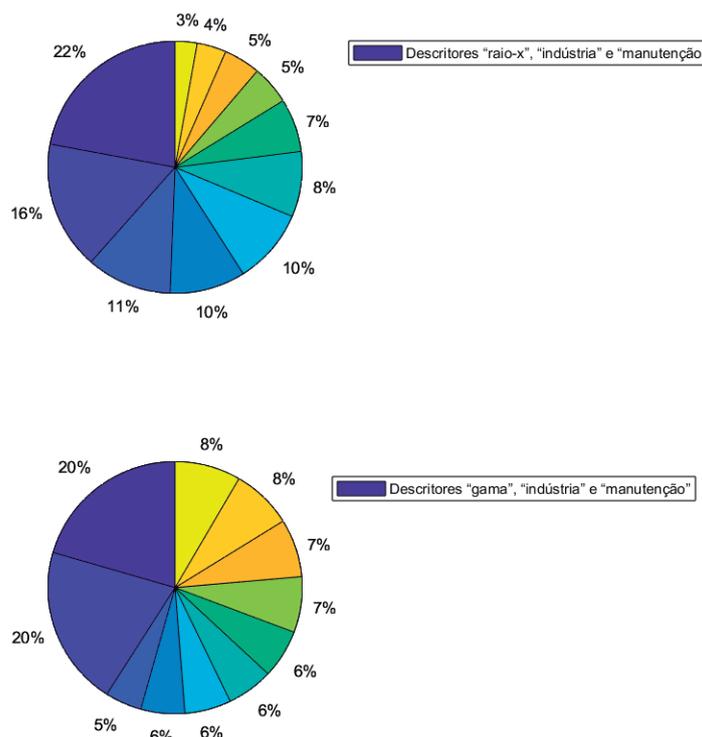
Para análise quantitativa foi utilizado a base de dados Scopus onde é possível através da combinação de descritores selecionar os trabalhos publicados no tema, bem como avaliar a importância do tema ao longo dos anos.

Como o foco do estudo é avaliação de trabalhos que utilizem a tecnologia de radiografia e gamagrafia aplicados na indústria, optou-se pela pesquisa separada, sendo uma com os descritores “raio-x”, “indústria” e “manutenção”, e a outra trocando “raio-x” por “gamma”.

A Figura 1, apresenta a evolução das publicações por ano, juntamente com as áreas temáticas e os principais países que estão atuando nesses temas. Com um total de 187 trabalhos selecionados, sendo o primeiro publicado em 1973, percebe-se uma crescente evolução nos últimos anos, atingindo um máximo de 20 publicações no ano de 2021.

Contendo um total de 134 trabalhos selecionados, sendo o primeiro publicado em 1929, percebe-se uma crescente evolução nos últimos anos, atingindo um máximo de 14 publicações no ano de 2021, demonstrado com a visualização de gráficos para levantamento dos dados triados anteriormente.

Figura 1 - Áreas científicas dos trabalhos selecionados para descritores “raio-x”, “indústria” e “manutenção”.



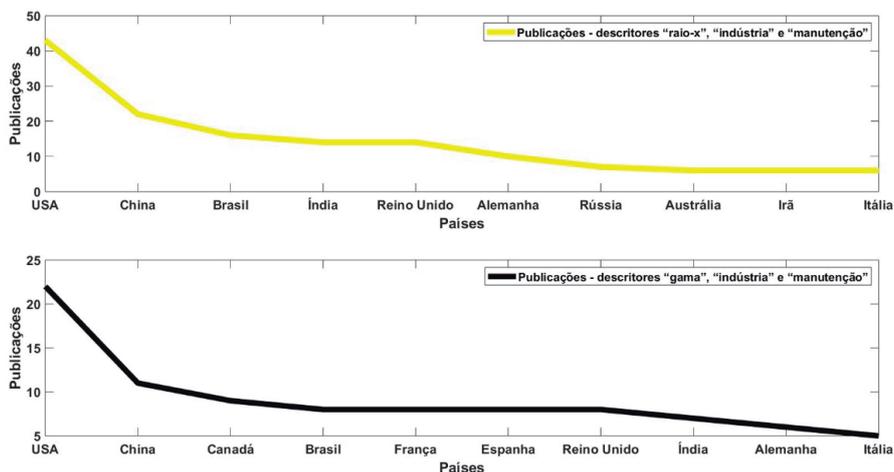
Fonte: Construção dos Autores

Observa-se predominantemente áreas de engenharia e ciência dos materiais, seguida de medicina e ciência ambiental, respectivamente 22%, 16,7%, 9,6% e 9,3%. Importante salientar que existem trabalhos classificados em mais de uma área, assim, o número de documentos classificados na sequência de áreas acima são: 71, 54, 31 e 30.

Observa-se uma predominância nas áreas de engenharia, física e astronomia e medicina, respectivamente 20,4%, 8,6% e 7,8%. Importante salientar que existem trabalhos classificados em mais de uma área, assim, o número de documentos classificados na sequência de áreas acima são: 52, 22 e 20.

As nações que mais abrangem a gama de estudos sobre o assunto são apresentadas na Figura 2.

Figura 2 - Número de publicações por país.



Fonte: Construção dos Autores

Vale destacar o Brasil nesta área de pesquisa, ocupando a terceira posição com 16 trabalhos, ficando atrás da China e dos Estados Unidos com 22 e 43 trabalhos.

Países de destaque são Estados Unidos, China, Canadá e Brasil, França, Espanha e Reino Unido, com total de publicações 21, 11, 9 e 8, respectivamente, sendo os últimos quatro com a mesma quantidade.

Para a segmentação dos documentos, foram elaboradas duas listas distintas: uma contendo os trabalhos mais citados e outra utilizando o filtro de relevância do *Scopus*®, que leva em consideração a frequência e a localização das palavras no texto, conforme as Tabelas 1 a 4.

Parte superior do formulário

Tabela 1 - Trabalhos mais citados descritores “raio-x”, “indústria” e “manutenção”.

Posição	Título	Número de Citações
1º	Engenharia racional de capsídeos de picornavírus recombinantes para produzir um antígeno de vacina seguro e protetor	100
2º	Caracterização microestrutural da ZTA em soldaduras de aço inoxidável ferrítico AISI 444	89
3º	Filtração e colmatção de pavimentos permeáveis carregados por drenagem urbana	84
4º	Melhoria da estabilidade e reutilização da α -amilase imobilizada em nanopartículas magnéticas funcionalizadas com naringina: Um nanobiocatalisador robusto	73
5º	Bombas e motores moleculares	71
6º	Exposição ao amianto durante a manutenção e reparação de guarnições de travões	67
7º	Propriedades do cimento Portland fabricado a partir de sedimentos contaminados	62
8º	Efeitos de nanopartículas antibacterianas de ZnO no desempenho de um revestimento comestível de quitosana/goma arábica para a conservação pós-colheita de banana	55
9º	Influência da substituição de agregados reciclados e do teor de cinzas volantes no desempenho de misturas de betão permeável	44
10º	Análise da falha de corrosão numa junta soldada não homogênea de um gasoduto de recolha de gás natural considerando a ação combinada de múltiplos fatores	44

Fonte: Construção dos Autores.

Tabela 2 - Trabalhos com maior relevância descritores “raio-x”, “indústria” e “manutenção”.

Posição	Título	Número de Citações
1º	Impacto da ausência de chumbo na inspeção por raios X	0
2º	Imagens tomográficas de raios X no controlo de processos industriais	16
3º	Propagação de raios X em nanotubos de carbono	1
4º	Aplicação da reparação ao nível da pastilha da placa de circuitos na manutenção do espectrómetro de fluorescência de raios X	1
5º	Opções de conceção para a instalação avançada de astrofísica de raios X (axaf)	1
6º	O papel da U.S. Food and Drug Administration na melhoria da gestão da dose de radiação para dispositivos médicos de imagiologia de raios X	1
7º	Desenvolvimento de um caudalímetro multifásico inovador de raios X	0
8º	Análise de difração de raios X in situ do início da deposição de incrustações minerais em águas sintéticas de processamento de campos petrolíferos	6
9º	Previsão da corrosão em tubagens	0
10º	Difração de raios X síncrotron para quantificar a deformação in situ em revestimentos de barreira térmica de zircónio estabilizado com ítria dopada com terras raras	0

Fonte: Construção dos Autores.

Tabela 3 - Trabalhos mais citados descritores “gama”, “indústria” e “manutenção”.

Posição	Título	Número de Citações
1°	Decisões de manutenção ótimas em caso de inspeção imperfeita	222
2°	Expectativas saudáveis de tratamento a alta pressão hidrostática na indústria de transformação de alimentos	83
3°	O isolamento e a expansão prolongada de células estaminais mesenquimais orais em condições de qualidade clínica e em conformidade com as BPF afectam de forma diferente as propriedades de “stemness”	70
4°	Decisões de manutenção ótima baseadas nos custos para condutas de gás natural corroídas com base em modelos de degradação estocástica	65
5°	Concentração de radioatividade nas fases líquida e sólida de escamas e lamas geradas na indústria petrolífera	65
6°	Ciclodextrinas e perda auditiva iatrogénica: Novos medicamentos com risco significativo	63
7°	Uma vacina contra a <i>Leptospira borgpetersenii</i> serovar Hardjo induz uma resposta Th1, ativa as células NK e reduz a colonização renal	59
8°	Um modelo de fiabilidade de um sistema de partilha de carga com degradação de componentes gerida	58
9°	Esteatose hepática, eixo intestino-fígado, microbioma e fatores ambientais. Uma interação bidirecional interminável	55
10°	Análise de fiabilidade para manutenção preventiva com base em abordagens de degradação semi-paramétricas clássicas e bayesianas, utilizando conjuntos de rodas de locomotivas como estudo de caso	52

Fonte: Construção dos Autores.

Tabela 4 - Trabalhos com maior relevância descritores “gama”, “indústria” e “manutenção”.

Posição	Título	Número de Citações
1°	Explorar a política ótima de manutenção baseada na condição no âmbito do processo de degradação gama	1
2°	Otimização da manutenção baseada na condição para sistemas de deterioração gama sob contrato baseado no desempenho	0
3°	Avaliação videoscópica do estado de manutenção dos contentores de exposição à radiografia gama utilizados no Brasil	0
4°	Sistemas de lubrificação/arrefecimento sustentáveis para operações de torneamento eficientes de peças de γ -TiAl da indústria aeronáutica	1
5°	Composição química de escamas geradas na indústria petrolífera e correlação com os teores de radio-nuclídeos e medições de raios gama de 210Pb	6
6°	Um modelo de manutenção preditiva para sistemas de deterioração contínua k-out-of-n:F sujeitos a dependências estocásticas e econômicas	2
7°	Política de limites de controlo de dois limiares na manutenção baseada na condição	1
8°	Programação ótima do tempo para pequenas manutenções numa turbina a vapor	5
9°	Apoio às decisões de manutenção com dados de peritos e de eventos	3
10°	Riscos radiológicos e químicos da escala de resíduos gerados na indústria de dióxido de titânio	3

Fonte: Construção dos Autores.

A Tabelas (1 a 4), apresentam artigos selecionados a partir da análise quantitativa, obtidos através da base de dados *Scopus*® e dos descritores adotados, abordando-os de maneira qualitativa, isto é, através de conceituações e correlações com o tema. Tanto para o descritor “raio-x” quanto para o “gama” foram adicionados os termos “indústria” e “manutenção”, com isso as próximas seções serão subdivididas principalmente em dois tópicos, ambos com abordagem similar. Também é

necessário pontuar que as tabelas expostas (1 a 4) foram utilizadas como ponto norteador para a descrição dos principais pontos dos artigos levantados.

Em primeira instância, o artigo com maior número de citações trouxe a técnica da cristalografia de raios X para conhecimento da estrutura a nível atômico de um tipo de capsídeo vazio do vírus da febre aftosa, demonstrando sua similaridade com a estrutura do vírus intacto, a fim de facilitar a indução de mutação para potencialmente viabilizar a produção de vacinas mais seguras, sendo uma abordagem que demonstra reduzir custos de produção e aumentar o grau de confiabilidade do produto.

Outra técnica é difração por raios X (DRX) abordada pelo 6º artigo da Tabela 2, que detecta a presença de amianto em uma amostra de poeira coletada do ambiente das oficinas durante a manutenção e reparação de travões de automóveis. Através da análise de desvio e espalhamento dos raios X, é possível perceber um padrão para descobrir o tipo de material presente na mostra, indicando ou não o amianto. É extremamente útil para prevenir que os profissionais envolvidos não tenham contato com as fibras do material, evitando principalmente o desenvolvimento de câncer de pulmão.

Similar ao 6º artigo que descreve a utilização da difração, o 2º artigo também da Tabela 2 trouxe o DRX no processo de soldagem do aço inoxidável do tipo ferrítico utilizado como revestimento de equipamentos de indústrias de refinamento de petróleo, por meio da análise dos tipos de precipitados da zona termicamente afetada pelo calor (ZTA). Assim, foi possível observar as fases secundárias entre o comportamento de alteração dessa região ZTA entre o resfriamento e aquecimento da estrutura cristalina, bem como concluir que o ciclo térmico foi o responsável pelas alterações metalúrgicas causadas pela soldagem. Mais uma vez, isso foi possível pela revelação da composição química e estrutural proporcionado pela técnica de difração de raios X.

Novamente o 10º artigo descreveu a técnica de difração de raios X, visto que foi aplicada para analisar a composição e a estrutura cristalina dos materiais presentes na junta soldada das condutas de gás natural, observando a heterogeneidade das estruturas internas e externas das paredes, o que ajudou a identificar os produtos de corrosão como óxidos e sais, e fornece informações sobre a extensão da corrosão e o mecanismo envolvido. Percebe-se que essa técnica de difração é amplamente empregada nas análises e ensaios de estruturas, ainda o artigo trouxe a combinação das técnicas de radiografia e fluorescência de raios X para se obter informações adicionais sobre a corrosão.

Já com relação à Tabela 3, o 2º artigo traz a ideia da tomografia computadorizada para aplicações industriais. É uma espécie de radiografia, porém com menor distorção das imagens fornecidas e proporciona imagens 3D, ou seja, com geometria tridimensional o que a caracteriza como sendo mais precisa quando comparada às obtidas por outras técnicas. Também é um ensaio não destrutivo que não danifica o material, atua no controle de qualidade, identifica porosidades, falhas, fissuras, minimiza o risco de falhas funcionais, e elimina a necessidade de se aplicar outras inspeções por raios X, o que a torna potencialmente interessante para tais inspeções.

No 3º artigo ainda da Tabela 2, utilizou-se da radiografia para ensaios não-destrutivos para caracterização das dinâmicas internas estruturais do concreto das calçadas, visualizando espaços interatômicos que estejam obstruídos. Essa obstrução acaba prejudicando na permeabilidade de pavimentos carregados pela drenagem urbana. Dessa forma, esses ensaios identificam essas regiões de entupimento para desenvolver estratégias e aplicar técnicas para aumentar a longevidade desses sistemas e formas para desobstrução, a fim de melhorar a permeabilidade das calçadas.

Os artigos não explicitados devem-se à ideia similar que apresentaram, já que a maioria abordou o tema da difração de raios X (DRX) e corrosão em gasodutos, além da grande parte se tratar da aplicação da radiação X para fins medicinais e que envolvem a saúde humana. Com isso, foram priorizados os que tiveram o maior número de citações, bem como seleção de alguns dentre os que se assemelhavam e que tinham a questão da radiografia e de inspeções industriais para seguir na linha de raciocínio preconizado nos objetivos definidos no início da pesquisa.

Ao utilizar-se dos descritores supracitados como pontos norteadores da pesquisa, verificou-se que nessa faceta do projeto que a palavra “gama” abrange mais do que a gamagrafia industrial, visto que a ideia é direcionada para modelos matemáticos de análise de degradação gama. Na realidade, os artigos obtidos estiveram mais intimamente relacionados a essa modelagem, e menos voltados para os raios gama.

Em contrapartida, baseado no que foi dito logo acima, pelo fato de alguns artigos apresentarem a modelagem matemática como ferramenta para inspeções estruturais com a utilização de radiação, inferiu-se que novas tecnologias estão surgindo para suportarem o que é feito com os raios gama propriamente dito.

O artigo com maior quantidade de citações da Tabela 4 sugere exatamente essa questão, em razão de que mesmo que a gamagrafia seja precisa, ela é imperfeita, por isso a necessidade de algo a mais para eliminar possibilidades de erros ou imagem incompletas. Isso é possível através da análise Bayesiana ou avaliação probabilística combinadas das inspeções, complementando a limitação e as incertezas da gamagrafia.

As decisões de manutenção otimizadas no âmbito da inspeção imperfeita e da gamagrafia exigem um conhecimento profundo das suas limitações e das incertezas. Utilizando modelos probabilísticos, ajustando os programas de inspeção e gamagrafia de forma adaptativa e integrando os dados de ambas as técnicas, as empresas podem tomar decisões com maior confiabilidade. Os profissionais de manutenção podem realizá-la combinando os modelos matemáticos e as inspeções que por vezes pode não ser totalmente precisa, visto que a inspeção depende de condições de operação e propriedades que variam de material para material, o que a impede ser 100% eficaz.

Já o 4º artigo também da Tabela 4 aborda modelos matemático como ferramenta auxiliar, no caso os modelos estocásticos, que estimam a taxa de corrosão e a vida útil de equipamentos e estruturas, prevendo a evolução de degradação para realizar uma manutenção mais direcionada e prevista.

Nas paredes de gasodutos pode-se obter informações mais abrangentes sobre seu estado, através da combinação da técnica de gamagrafia com a implementação desses modelos. Com isso, há a priorização das áreas mais propensas a sofrer com o processo natural de corrosão, tendo como base os dados probabilísticos advindos desses modelos citados que por sua vez potencializam a capacidade de detecção de defeitos e falhas proporcionados pela técnica da gamagrafia.

Uma linha de raciocínio similar ocorre com o 3º artigo da Tabela 5, que por sua vez faz uso da videoscopia por meio de imagens de vídeo de caráter não destrutivo e não invasivo para análise das estruturas internas e externas dos contentores de exposição da radiação gama, a fim de obter resultados do seu estado para observar possíveis anomalias ou problemas. Assim, é feita a manutenção desses equipamentos para que durante alguma inspeção de algum equipamento não ocorra exposição à radiação e possibilidade de causar algum acidente devido alguma fissura no dispositivo que abriga as fontes radioativas.

O 2º artigo ainda da Tabela 5 busca compreender a Manutenção Baseada na Condição (MBC) para usinas nucleares juntamente da gamagrafia, sendo outro estudo de caso que permite o monitoramento em tempo real da saúde das instalações, reduzindo o custo com futuras manutenções de caráter corretivo, dando lugar às de caráter preventivo, além de aumentar a segurança e confiabilidade do sistema. Tem como princípio realizar a manutenção de forma pontual, somente quando é necessário, também como base no modelo de deterioração gama. Porém, esse artigo por sua vez não aborda tanto a questão da gamagrafia industrial, é mais voltado para a modelagem matemática.

Similar ao tópico anterior, alguns outros artigos que foram obtidos pelo levantamento na base de dados fugiram da proposta da pesquisa, já que abordaram riscos e perigos de contaminação devido à radiação. Outros possuíam conceituação similar ao que foi discorrido nas seções acima, dessa forma não foi descrito a fim de não se tornar repetitivo. Ainda, alguns eram da área da saúde e sequer tinham correlação com o propósito fundamental das radiações utilizadas como referência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A inspeção de peças, soldas e equipamentos pode determinar o momento de manutenção, reparo ou mesmo descarte do produto e afetam de maneira significativa todo processo industrial. As técnicas de radiografia e gamagrafia para este fim tem se tornado cada vez mais rotineiro em grandes empresas, pois podem melhorar a inspeção e apontar peças danificadas estruturalmente.

Essas verificações auxiliam no planejamento de manutenção e garantia de qualidade da produção, e são essenciais em um ambiente industrial cada vez mais competitivo devido à globalização, onde os recursos devem ser muito bem geridos.

Assim, compreender como são aplicadas as análises através de raio-x e raio gama, bem como, as vantagens e desvantagens das diferentes tecnologias, além de conhecer as inovações em cada área em trabalhos aplicados no meio industrial são o foco principal desta pesquisa de iniciação científica.

É perceptível que a utilização das radiações abordadas requer cuidados e cumprimento de protocolos de segurança, para que acidentes com esses tipos de inspeções não sejam tão frequentes quanto já foi no passado, com isso profissionais, equipamentos e ambientes ideais são essenciais para que não se tenham problemas com as técnicas desenvolvidas até então.

Através da utilização dos descritores dispostos nas tabelas das seções anteriores, é válido afirmar que os artigos obtidos corroboram com a ideia proposta nas conclusões pré-levantamento bibliográfico, visto que abordam as evoluções tecnológicas com a utilização das radiações X e gama.

A seleção dos artigos mostrou-se diversificada no sentido de abranger áreas distintas, indo desde a parte medicinal até industrial, por meio de soldagem, análise de corrosão de gasodutos, utilização de outras técnicas que não sejam a radiografia e gamagrafia propriamente ditas, no caso a difração por raios X e da cristalografia, bem como trazendo a questão da infraestrutura e meio ambiente com a permeabilidade do concreto das calçadas, bem como da implementação de modelos matemáticos e probabilísticos vide os modelos estocásticos, como a análise Bayesiana e de degradação gama expressas como complementação das inspeções industriais.

Contudo, dentre as subdivisões feitas para melhor análise, foram gerados artigos que tiveram uma proposta semelhante, já que muitos abordaram a difração por raios X, o que tornaria repetitivo descrevê-los. Sendo assim, nesse sentido não foi possível descrever mais aplicações diferenciadas do que as que foram propostas.

Outro fator problema foi o tipo de descritor utilizado na base de dados utilizada (Scopus). Por ter sido escolhido “gama” e “raio x”, os resultados obtidos se distanciaram um pouco do proposto, em razão de serem palavras amplas e abrangentes. Ou seja, não houve uma filtragem tão direcionada à radiografia e gamagrafia. Além dessa questão, alguns artigos não foram aproveitados já que tangenciavam muito da proposta, em sua maioria os que se enquadram na área da saúde. Diante disso, o mais ideal teria sido utilizar como descritores os termos “radiografia” e “gamagrafia”.

Ainda assim, a maioria dos artigos foram utilizados e se encaixaram na proposta, e apesar de alguns não estarem no planejamento inicial da pesquisa acabaram tornando-se interessantes, a exemplo dos modelos estocásticos como complementação de inspeções industriais, sendo figuradas pelas duas técnicas por raios X e gama ou por outras de perfis semelhantes.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, E. de M. *et al.* **Radioatividade**. Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN, 2000.

DE SOUSA, D. O. **Otimização de Máquina de Raio-x na Indústria Corticeira**. 2018.

FERREIRA, N. S. de A. As pesquisas denominadas” estado da arte”. **Educação & Sociedade**, v. 23, p. 257-272, 2002.

FRANCISCO, F. C. *et al.* História da radiologia no Brasil. **Revista da Imagem**, v. 28, n. 1, p. 63-66, 2006.

GORDON, A. M. P. L. **Um estudo de caso à luz da história da ciência, da tecnologia e da cultura brasileira**. 2003. 87p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear) - Curso de Pós-Graduação em Pesquisa Energéticas, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, 2003.

KODAMA, T.; LIMA, R. da S.; AFONSO, J. C.; PIMENTEL, L. C. F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. **Química Nova**, v. 32, p. 263-270, 2009.

NASCIMENTO, P. M. **Efeito da variação da intensidade e do comprimento de onda do laser não cirúrgico em feridas cirúrgicas em dorso de ratos: estudo histológico**. 2001. 67p. Tese (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Paraíba, 2001.

ROMANOWSKI, J. P. ENS, R. T. As pesquisas Denominadas do Tipo “Estado da Arte” em Educação. **Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 6, n. 19, p. 37-50, set./dez. 2006.

SÁNCHEZ, W.; PENTEADO FILHO, A. C. **Gamagrafia**. 1967. Instituto de Energia Atômica.

SANTOS, R. N. M. dos; KOBASHI, N. Y. **Bibliometria, cientometria, infometria: conceitos e aplicações**. 2009.