

UMA IMPRESSÃO ACERCA DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO SEGUNDO O IAEA SERVICES SERIES NG-G-3.1: AVALIAÇÃO DA PERDA DE CONHECIMENTO INDIVIDUAL NO ÓRGÃO REGULADOR BRASILEIRO

Ellen O. Silva, Anna L. B. Sousa, Daniel A. P. Palma

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Nucleares – PPGIEN/IEN/CNEN (Instituto de Engenharia Nuclear, R. Hélio de Almeida, 75 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro)
ellenoliver2005@gmail.com, anna.sousa@cnen.gov.br, gente.d

Palavras-Chave: Programa Nuclear; Infraestrutura nuclear; Gerenciamento do conhecimento

Área: Engenharia Nuclear

Subárea: Outras subáreas correlatas

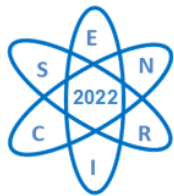
RESUMO

Um programa nuclear deve ser baseado no compromisso de usar a energia nuclear de forma segura e pacífica além de ser um empreendimento importante, intensivo em capital e que requer planejamento, preparação e investimento em tempo, instituições e recursos humanos. Ademais, para introduzir a energia nuclear em uma nação, uma ampla gama de questões de infraestrutura precisa ser considerada. A Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) disponibilizou o documento IAEA SERVICES SERIES NG-G-3.1 que introduz um sistema de marcos para o desenvolvimento de infraestrutura nacional para adoção de energia nuclear que elenca dezenove áreas de interesse e no qual o Brasil pode ser considerado um país cujo programa nuclear encontra-se em expansão. O objetivo desse trabalho é avaliar a situação da perda individual de conhecimento no setor de avaliação de segurança do órgão regulador brasileiro considerando os fatores de atrito. Os resultados obtidos mostram que ações devem ser tomadas no sentido de melhorar o gerenciamento do conhecimento nuclear e aumentar a captação de recursos humanos para o setor.

1. INTRODUÇÃO

A Agência Internacional de Energia Atômica (*International Atomic Energy Agency - IAEA*) promove o intercâmbio de informações científicas e técnicas sobre os usos pacíficos da energia atômica. As publicações da série de *Energia Nuclear* da IAEA fornecem informações nas áreas de energia nuclear, ciclo do combustível nuclear, gestão e descomissionamento de resíduos radioativos e sobre questões que são relevantes a todas as áreas citadas. A série *Energia Nuclear* da IAEA contempla três níveis:

- 1 – Princípios e Objetivos Básicos;
- 2 – Guias;
- 3 – Relatórios Técnicos.



A publicação *Princípios Básicos* [1] descreve a lógica e visão para usos pacíficos da energia nuclear. Já as publicações *Objetivos* da série *Energia Nuclear* [1] as expectativas a cumprir em várias áreas em diferentes fases de implementação. Os Guias fornecem orientações de alto nível sobre como atingir os objetivos relacionados aos vários tópicos e áreas que envolvam os usos pacíficos da energia nuclear. Os Relatórios Técnicos [1] fornecem informações adicionais e mais detalhadas sobre as atividades relacionadas às várias áreas tratadas na série *Energia Nuclear* da IAEA.

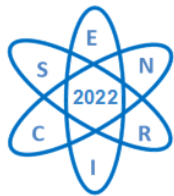
A série de *Energia Nuclear* da IAEA N° NG-G-3.1[1] chamado *Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power* (marcos do desenvolvimento de uma infraestrutura nacional para energia nuclear), destina-se a fornecer orientações para o benefício daqueles que iniciam tais programas, com base em instrumentos jurídicos internacionais relevantes, normas de segurança da IAEA e publicações e documentos de orientação, bem como a experiência de boas práticas de países que possuam usinas nucleares em operação.

O Guia define os marcos do desenvolvimento da infraestrutura necessária para a introdução da energia nuclear, e fornece orientações sobre as atividades que precisam ser realizadas antes de cada marco. A publicação [1] também abrange tanto a infraestrutura “hard” (ou seja, rede elétrica e locais, etc.), quanto a infraestrutura “soft” (ou seja, lei nuclear, regulamentos, treinamento, etc.) necessários para um programa nuclear. É voltado principalmente para tomadores de decisão, consultores e gerentes do governo, indústria e órgãos reguladores em um país interessado em iniciar a energia nuclear. O guia destina-se a ajudar a um país a planejar as etapas necessárias para desenvolver uma infraestrutura nacional de energia elétrica e avaliar seu progresso.

Nesse guia [1], são apresentadas 19 questões de infraestrutura para que um programa de energia nuclear seja bem-sucedido. A atenção insuficiente de qualquer desses itens pode implicar na segurança ou levar a atrasos ou até mesmo ao fracasso do projeto. A questão de infraestrutura que esse trabalho irá abortar será o *Desenvolvimento de Recursos Humanos (Human Resource Development)*.

O ponto que precisa ser levado em consideração é a formação de um programa de gestão do conhecimento nuclear e sua implementação dentro de uma instalação nuclear. A AIEA reconhece que é necessário focar na implementação de uma metodologia de gestão de risco de perda de conhecimento para garantir que os programas de preservação e transferência de conhecimento sejam levados em consideração ao longo das diferentes fases do processo de um projeto nuclear, ou seja, que para todas as fases possíveis do ciclo de vida de uma usina nuclear, a gestão do conhecimento e a transferência do conhecimento de uma fase para outra precisam ser cuidadosamente planejado e executado [2].

Uma força de trabalho experiente e qualificada é um elemento essencial na implementação e operação segura de todas as instalações nucleares, bem como na tecnologia nuclear e na pesquisa e desenvolvimento (P&D). É reconhecido que as



instalações nucleares em funcionamento enfrentam um desafio com a perda de trabalhadores experientes, do conhecimento e habilidades que possuem. E essa perda de especialistas-chaves não é apenas no setor nuclear, mas também nas áreas da engenharia como mecânica, química, civil, instrumentação e controle. Há uma grande necessidade de educação e treinamento de novos funcionários.

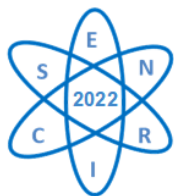
O foco fundamental desse artigo é avaliar a situação da perda individual de conhecimento no setor de avaliação de segurança do Coordenação de Reatores (CODRE) do CNEN nos últimos 10 anos (2011-2021), considerando os fatores de atrito, que serão a ferramenta de estudo do trabalho.

2. METODOLOGIA

Esse trabalho teve uma abordagem quantitativa e de natureza aplicada, mostrando que o conhecimento adquirido por cada especialista ativo que trabalha na Coordenação de Reatores (CODRE) do CNEN nos últimos 10 anos (2011-2021), está se perdendo. O instrumento utilizado para a coleta dos dados foi a partir da entrevista com perguntas fechadas realizada com especialista sênior do órgão regulador. Assim, o resultado dessa entrevista será apresentado uma metodologia para quantificar o risco de perda do conhecimento, que se concretizará caso não haja um gerenciamento do conhecimento consistente.

Quanto aos objetivos, foi feita uma revisão bibliográfica do relatório técnico da AIEA N° NG-T-6.11 [2], que aborda o estabelecimento, implementação e aprimoramento de programas de gestão do conhecimento e se concentra em descrever métodos e ferramentas específicos para gerenciar a perda crítica de conhecimento em organizações relacionadas à energia nuclear. Também foi utilizado gráficos contemplando as informações/fatores, levantamento dos dados e análise das informações extraídas da entrevista com o especialista sênior do órgão regulador.

Utilizando este relatório técnico, foi possível iniciar a avaliação do risco de perda de competência organizacional, a partir de 3 etapas. A etapa 1 conhecida como condução da avaliação de risco de perda de conhecimento, identifica cargos e indivíduos que tenham o maior e o mais iminente potencial de perda do conhecimento. Os critérios utilizados para atribuir o fator de risco de atrito são elencados na Tab. 1.



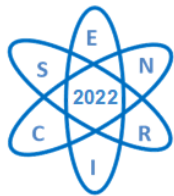
Tab. 1. Critérios do Fator de Risco de Atrito (FRA)

| Fator de risco de atrito | Critério |
|---------------------------------|---|
| 5 | Data de desligamento projetada no ano civil atual ou do próximo ano fiscal |
| 4 | Data de atrito projetada dentro do terceiro ano civil a partir de agora |
| 3 | Data de atrito projetada dentro do quarto ano civil a partir de agora |
| 2 | Data de atrito projetada dentro do quinto ano civil a partir de agora |
| 1 | Data de atrito projetada dentro (ou maior que) do sexto ano civil a partir de agora |

Uma vez identificada o fator de risco de atrito, o próximo passo é considerar o fator de risco de posição, que é uma estimativa da dificuldade ou nível de esforço necessário para substituir o funcionário no cargo, como mostra a Tab. 2.

Tab. 2. Critérios do Fator de Risco de Posição (FRP)

| Fator de risco de posição | Critério |
|----------------------------------|--|
| 5 | Conhecimento ou habilidades críticas e únicas; conhecimento e habilidades de missão crítica com potencial para impactos significativos de confiabilidade ou segurança; conhecimento específico da organização ou local; conhecimento não documentado; requer 3 a 5 aos de treinamento e experiência; não há substituições prontas disponíveis. |
| 4 | Conhecimento e habilidades críticas; conhecimento e habilidades de missão crítica; existe alguma duplicação limitada em outras plantas ou locais e/ou alguma documentação; requer 2 a 4 anos de treinamento e experiência focados. |
| 3 | Conhecimentos e habilidades importantes e sistematizados; existe documentação e/ou outro pessoal no local possui o conhecimento e as habilidades; recrutas geralmente disponíveis e podem ser treinados em 1-2 anos. |
| 2 | Conhecimento e habilidades processuais ou não essenciais à missão; existem procedimentos claros e atualizados; os programas de treinamento são atuais e eficazes e podem ser concluídos em menos de 1 ano. |
| 1 | Conhecimentos e habilidades comuns; os recrutas contratados externamente que possuem o conhecimento e as habilidades estão prontamente disponíveis e exigem pouco treinamento adicional. |



Já o fator de risco total é determinado a partir do produto entre os fatores de risco de atrito e de produção:

$$FRT = FRA \times FRP, \quad (1)$$

e sua gradação é descrita na nas diretrizes da Tab. 3.

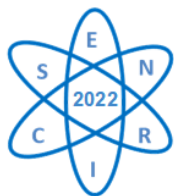
A etapa 2 é o momento de identificar e priorizar o conhecimento crítico em cada posição de alta prioridade com base na avaliação da etapa 1. E finalizando, na etapa 3 são feitas revisões anuais periódicas para monitorar o status de implementação do processo de retenção do conhecimento.

Tab. 3. Fator de Risco Total (FRT)

| Fator de risco total | Prioridade |
|-----------------------------|--|
| 20-25 | Alta prioridade: Ação imediata necessária; planos de ação de substituição específicos com datas de vencimento serão desenvolvidos para incluir: plano de KR, avaliação de KM, treinamento específico necessário e treinamento no trabalho ou acompanhamento com o titular. |
| 16-19 | Prioridade: Os planos de pessoal devem ser estabelecidos para abordar o método e o momento da substituição, esforços de recrutamento, treinamento e acompanhamento com o atual titular. |
| 10-15 | Alta importância: Antecipar a vaga será preenchida, o trabalho será realizado e a competência será coberta; recrutamento de faculdades, programas de treinamento, melhorias de processos e reinvestimento. |
| 1-9 | Importante: Reconhecer as funções dos cargos e determinar a necessidade de substituição. |

Segundo o relatório técnico da AIEA N° NG-T-6.11[2], a primeira prioridade é identificar, capturar e reter o conhecimento crítico pelo funcionário que se aproxima da aposentadoria. É importante desenvolver e implementar um plano de retenção do conhecimento para qualquer funcionário com o fator de risco de cargo 5. Esses funcionários podem ser promovidos, transferidos ou deixar a organização por outros motivos causando a perda de conhecimento crítico.

Estudos mostram que conhecimento é toda informação em ação efetiva focada em resultados, ou seja, ato de perceber ou compreender por meio da razão e/ou da experiência. O conhecimento pode ser classificado como explícitos ou tácitos (sendo esse o mais difícil de capturar) [3]. Já o conhecimento crítico é todo conhecimento relevante para a execução da estratégia de uma empresa, seja ela pública ou privada. Mapear esse conhecimento crítico é uma forma de priorizar quais conhecimentos devem ser minimamente geridos para garantir a operação [4].



O conhecimento explícito pode ser expresso por palavras, números ou sons, e compartilhado na forma de dados, fórmulas científicas, especificações de produtos ou manuais. Esse conhecimento pode ser rapidamente transmitido aos indivíduos [5]. Já o conhecimento tácito é altamente pessoal e difícil de formalizar, está profundamente enraizado nas ações e nas experiências do indivíduo. Esse tipo de conhecimento tem duas dimensões: a dimensão técnica (know-how) que engloba as habilidades informais e de difícil detecção, e a dimensão cognitiva, que consiste em crenças, percepções, ideias, valores, emoções e modelos mentais [5].

3. RESULTADOS

A partir da entrevista realizada com especialista sênior do órgão regulador, foram geradas tabelas para cada ano contemplando as informações/fatores das Tabelas 1, 2 e 3, descritas na metodologia. Esse acompanhamento foi feito anualmente, de 2011 até 2021, levando em consideração a percepção do gestor e seu entendimento acerca da complexidade das tarefas executadas e o conhecimento de cada regulador, segundo os critérios descritos na Tab.3. O gráfico da Fig. 1 mostra o quantitativo de reguladores ativos na Coordenação de Reatores (CODRE) do CNEN nos últimos 10 anos (2011-2021).

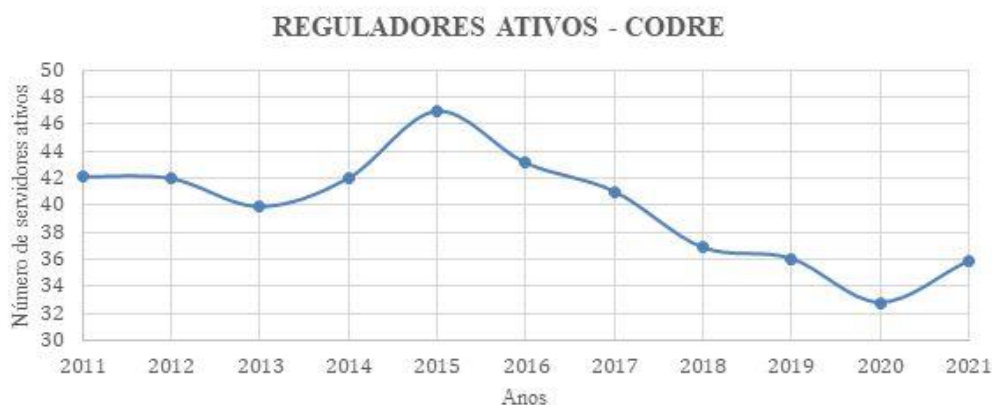


Fig. 1 – Quantitativo de especialistas ativos na CODRE

Com a contratação de novos reguladores em 2014, por seleção pública, a CODRE contou com mais 5 especialistas em seu quadro em 2015. Porém nos anos de 2016 a 2020, vários especialistas sêniores se aposentaram, chegando ao número de 33 especialistas, o índice mais baixo da coordenação. Em 2020-2021, alguns pesquisadores se transferiram para o CODRE de outros institutos, mas para se tornarem reguladores precisam de treinamento, e com isso, demora para entrar no quadro de funcionários realmente operacionais do setor.

A demanda por trabalhadores qualificados na área da energia nuclear está aumentando rapidamente e, ao mesmo tempo, uma força de trabalho envelhecida está aumentando o risco de perda do conhecimento. Esse ponto fica evidenciado no gráfico da Fig. 2, que mostra o risco da perda do conhecimento no CODRE.

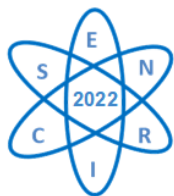


Fig. 2 – Risco de perda do conhecimento total - CODRE

Na Fig. 3 mostra os especialistas e a área de conhecimento na Divisão de Avaliação de Segurança (SEASE), responsável pelas avaliações de segurança relacionadas a Neutrônica, Termohidráulica, PSA, Acidentes Graves e Fatores Humanos, ligada a CODRE.

Fig. 3. Especialistas e Área de conhecimento SEASE

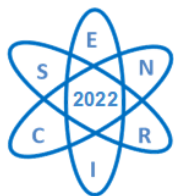
| SEASE - 2011 | | SEASE - 2012 | | SEASE - 2013 | |
|----------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS | ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS | ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS |
| ENGENHARIA ELÉTRICA | 4 | ENGENHARIA ELÉTRICA | 4 | ENGENHARIA ELÉTRICA | 4 |
| ENGENHARIA MECÂNICA | 5 | ENGENHARIA MECÂNICA | 4 | ENGENHARIA MECÂNICA | 4 |
| ENGENHARIA QUÍMICA | 2 | ENGENHARIA QUÍMICA | 2 | ENGENHARIA QUÍMICA | 2 |
| ESTATÍSTICA | 1 | ESTATÍSTICA | 1 | ESTATÍSTICA | 1 |
| FÍSICA | 5 | FÍSICA | 5 | FÍSICA | 4 |
| TOTAL | 17 | TOTAL | 16 | TOTAL | 15 |

| SEASE - 2014 | | SEASE - 2015 | | SEASE - 2016 | |
|----------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS | ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS | ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS |
| ENGENHARIA ELÉTRICA | 4 | ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO | 1 | ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO | 1 |
| ENGENHARIA MECÂNICA | 4 | ENGENHARIA ELÉTRICA | 4 | ENGENHARIA ELÉTRICA | 3 |
| ENGENHARIA QUÍMICA | 2 | ENGENHARIA MECÂNICA | 4 | ENGENHARIA MECÂNICA | 4 |
| ESTATÍSTICA | 1 | ENGENHARIA QUÍMICA | 3 | ENGENHARIA QUÍMICA | 3 |
| FÍSICA | 4 | FÍSICA | 4 | FÍSICA | 4 |
| TOTAL | 15 | TOTAL | 16 | TOTAL | 15 |

| SEASE - 2017 | | SEASE - 2018 | | SEASE - 2019 | |
|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|--------------------------|---------------|
| ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS | ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS | ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS |
| ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO | 1 | ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO | 1 | ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO | 1 |
| ENGENHARIA ELÉTRICA | 3 | ENGENHARIA ELÉTRICA | 3 | ENGENHARIA ELÉTRICA | 2 |
| ENGENHARIA MECÂNICA | 4 | ENGENHARIA MECÂNICA | 4 | ENGENHARIA MECÂNICA | 4 |
| ENGENHARIA QUÍMICA | 3 | ENGENHARIA QUÍMICA | 2 | ENGENHARIA QUÍMICA | 2 |
| FÍSICA | 3 | FÍSICA | 3 | FÍSICA | 3 |
| TOTAL | 14 | TOTAL | 13 | TOTAL | 12 |

| SEASE - 2020 | | SEASE - 2021 | |
|--------------------------|---------------|----------------------|---------------|
| ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS | ÁREA DO CONHECIMENTO | ESPECIALISTAS |
| ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO | 1 | ENGENHARIA ELÉTRICA | 2 |
| ENGENHARIA ELÉTRICA | 2 | ENGENHARIA MECÂNICA | 5 |
| ENGENHARIA MECÂNICA | 4 | ENGENHARIA QUÍMICA | 2 |
| ENGENHARIA QUÍMICA | 2 | FÍSICA | 4 |
| FÍSICA | 2 | TOTAL | 13 |
| TOTAL | 11 | | |

Podemos perceber que com o passar dos anos analisados, há uma perda de conhecimento, já que em 2011 na SEASE tinha 17 especialistas e, após 10 anos, em 2021, passa a ter 13



especialistas na mesma divisão. Não houve reposição dos especialistas nas áreas de conhecimento, pelo contrário, a área sofreu com a perda de um estatístico, um físico, um engenheiro electricista, um engenheiro químico e um engenheiro da computação.

O gráfico na Fig. 4 nos dá a informações acerca da perda de conhecimento da SEASE (CODRE), onde mostra que a substituição de reguladores sêniores sem um acompanhamento adequado, gera perda do conhecimento, demonstrando que é preciso desenvolver um plano de retenção de conhecimento para capturar o conhecimento crítico dos reguladores seniores.

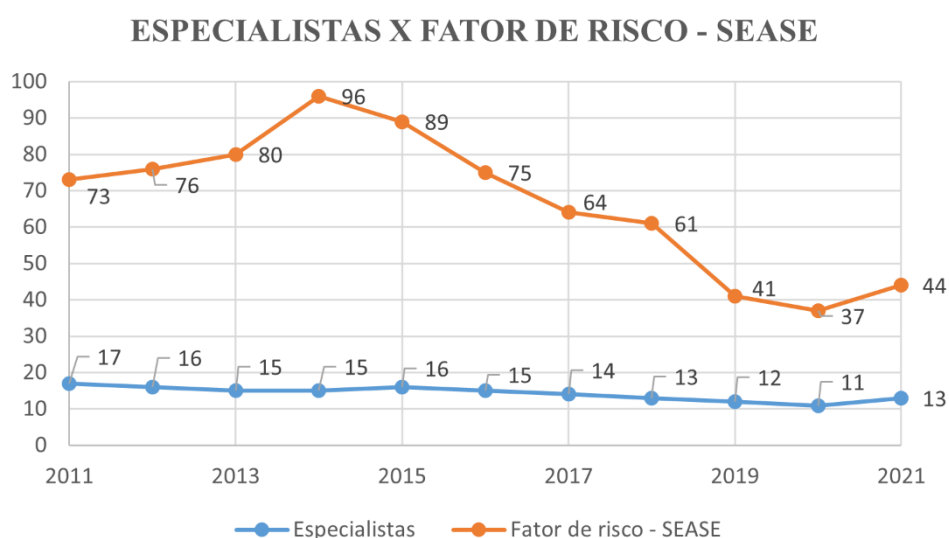
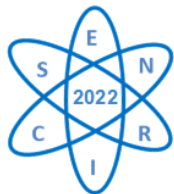


Fig. 5 – Especialistas X Fator de risco - SEASE

4. CONCLUSÃO

É sabido que o método mais acurado para este acompanhamento seria a de revisão por pares onde cada especialista avaliaria todos os outros de seu setor anonimamente e que também seria avaliado pelo restante do grupo, gerando uma média dos fatores, porém como uma primeira abordagem, essa proposta seria inviável. Daí, utilizou-se de entrevistas com o gerente do setor estudado, qual seja, a Coordenação de Reatores (CODRE) da CNEN.

A partir dos gráficos das Fig. 1 e 2, conclui-se que a perda de conhecimento na área de reatores nucleares no órgão regulador brasileiro é considerável e este problema está se agravando ao longo do tempo. Esse problema pode estar se estendendo para outros órgãos do setor e, em algum momento, o programa nuclear brasileiro pode se inviabilizar caso nenhuma ação seja tomada.



Semana Nacional de Engenharia Nuclear e da Energia e Ciências das Radiações – VI SENCIR
Belo Horizonte, 8 a 10 de novembro de 2022

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ, a FAPERJ e a IAEA pelo fomento que viabilizou esta pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Milestones in the development of a national infrastructure for nuclear power. — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2015. p. ; 24 cm. — (IAEA nuclear energy series, ISSN 1995-7807 ; no. NG-G-3.1, rev. 1) STI/PUB/1704 ISBN 978-92-0-104715-1. Includes bibliographical references.

[2] IAEA Library Cataloguing in Publication Data. Names: International Atomic Energy Agency. Title: Knowledge loss risk management in nuclear organizations / International Atomic Energy Agency. Description: Vienna : International Atomic Energy Agency, 2017. | Series: IAEA nuclear energy series, ISSN 1995-7807 ; no. NG-T-6.11 | Includes bibliographical references. Identifiers: IAEAL 17-01126 | ISBN 978-92-0-101816-8 (paperback : alk. paper) Subjects: LCSH: Nuclear power plants — Employees. | Nuclear facilities. | Knowledge management. | Risk management. Classification: UDC 621.039:005.94| STI/PUB/1734.

[3] BARBALHO, Celia Regina Simonetti; INOMATA, Danielly Oliveira; FERNANDES, Tatiana Brandão. Mapeamento do conhecimento crítico para a formação do bibliotecário: uma abordagem metodológica. REBECIN, São Paulo, v. 8,p. 01-26,2021. DOI:10.24208/rebecin.v8i.292

[4] <http://www.sbgc.org.br/blog/pratica-de-gc-mapeamento-de-conhecimento-critico#:~:text=Conhecimento%20cr%C3%ADtico%2C%20ou%20conhecimento%20estrat%C3%A9gico,um%20m%C3%A9todo%20de%20priorizar%20quais>. Acessado em 06/09/2022.

[5] TAKEUCHI, Hirotaka; Nonaka, Ikujiro. Gestão do conhecimento. Editora Bookmam, 2008.