



Encontro Internacional sobre Gestão
Empresarial e Meio Ambiente

ISSN: 2359-1048
Dezembro 2016

Operações Sustentáveis em Reatores Nucleares de Pesquisa – Um Estudo Bibliográfico

EDUARDO KIBRIT

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES - IPEN
edkibrit@yahoo.com.br

AFONSO RODRIGUES DE AQUINO

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
araquino@ipen.br

ADRIANA MAROTTI DE MELLO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
adriana.marotti@usp.br

PAULO TROMBONI DE SOUZA NASCIMENTO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
tromboni@usp.br

Operações Sustentáveis em Reatores Nucleares de Pesquisa – Um Estudo Bibliográfico

Resumo

O tema sustentabilidade vem ganhando destaque na área de gestão de operações. Em um país como o Brasil no qual a atividade nuclear é voltada para fins pacíficos, qualquer organização operadora de um reator de pesquisa deve ressaltar seu comprometimento com a sustentabilidade de suas operações, considerando aspectos sociais, ambientais e econômicos. Por meio de uma pesquisa bibliográfica, identificamos na literatura operações sustentáveis realizadas por organizações operadoras de reatores nucleares de pesquisa. A metodologia aplicada consistiu na coleta de material, análise descritiva, seleção das categorias analíticas e avaliação do material coletado. A coleta de material foi realizada por meio de uma busca em bases de dados acadêmicas e nucleares, com palavras-chaves estruturadas para o assunto da pesquisa. O material coletado foi analisado e categorias analíticas sobre o tema operações sustentáveis foram estabelecidas. A avaliação do material coletado resultou em referências aceitas para o estudo, classificadas de acordo com as categorias analíticas preestabelecidas. Os resultados foram significativos. A partir deles, foi estruturada uma revisão teórica sobre o tema em estudo, com base nas categorias analíticas predefinidas. Assim, pudemos identificar lacunas na literatura e propor novos estudos sobre o tema abordado.

Palavras-chave: reatores de pesquisa, operações, sustentabilidade.

Sustainable Operations of Nuclear Research Reactors - A Bibliographical Study

Abstract

Sustainability is gaining prominence in the area of operations management. In a country like Brazil, where nuclear activity is geared towards peaceful purposes, any operating organization of research reactor should emphasize its commitment to social, environmental, and economic aspects. By means of a bibliographical research, we identified in literature sustainable operations carried out by operating organizations of nuclear research reactors. The methodology applied consisted in gathering material, descriptive analysis, selection of analytical categories and evaluation of the material collected. The collection of material was performed by a search made on academic and nuclear databases, with keywords structured for the subject of the research. The collected material was analyzed and analytical categories on the theme sustainable operations were established. The evaluation of the collected material resulted in references accepted for the study, classified according to the pre-established analytical categories. The results were significant. From then on, a theoretical review on the topic under study was structured, based on pre-defined analytical categories. Thus, we were able to identify gaps in the literature and propose new studies on the subject.

Key Words: research reactors, operations, sustainability.

1 Introdução

O presente artigo apresenta um estudo bibliográfico sobre as operações sustentáveis em reatores nucleares de pesquisa¹. O tema sustentabilidade vem ganhando destaque na área de gestão de operações, queremos entender como isso está sendo abordado na área de reatores nucleares de pesquisa.

Nos últimos anos, observamos uma preocupação crescente das empresas em dar mais atenção aos recursos gastos com a fabricação de produtos, com os processos envolvidos na fabricação e as consequências ambientais e sociais decorrentes da fabricação e do uso desses produtos pelo consumidor.

Há uma preocupação em manter um equilíbrio entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos no negócio das empresas, tanto em seu ambiente interno como no seu ambiente externo.

Nesse contexto, aparece um modelo de sustentabilidade empresarial conhecido como "*Triple Bottom Line*", no qual uma empresa sustentável é aquela que contribui para o desenvolvimento sustentável ao gerar, simultaneamente, benefícios econômicos, sociais e ambientais às partes interessadas.

Esse modelo de sustentabilidade empresarial engloba ações como o projeto do produto sustentável, técnicas de fabricação "*lean and green*" (enxuta e verde, no sentido ecológico-ambiental), cadeia de suprimentos fechada, logística reversa, dentre outras.

O objetivo deste artigo é identificar na literatura operações sustentáveis realizadas por organizações operadoras de reatores de pesquisa e constituir uma revisão teórica sobre o assunto. Pretendemos, ainda, identificar lacunas na literatura e propor novos estudos sobre o assunto.

Em um país como o Brasil no qual a atividade nuclear é voltada para fins pacíficos, qualquer organização operadora de um reator de pesquisa deve ressaltar seu comprometimento com a sustentabilidade de suas operações, considerando aspectos sociais, ambientais e econômicos.

Os resultados e conclusões alcançados com este trabalho poderão servir de referência no estabelecimento de metas de gestão de operações sustentáveis para os reatores de pesquisa brasileiros em operação e também ao Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), empreendimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), em fase de projeto, que será instalado em Iperó, no estado de São Paulo, previsto para entrar em operação em 2021.

Na Seção 2 apresentamos uma revisão bibliográfica sobre a gestão de operações sustentáveis e os reatores de pesquisa. Na Seção 3 apresentamos a metodologia de pesquisa utilizada. Na Seção 4 apresentamos e analisamos os resultados obtidos. Uma revisão teórica sobre as referências aceitas para esse estudo é apresentada na Seção 5. Na Seção 6 são apresentadas as conclusões e considerações finais do estudo. As referências bibliográficas aparecem após as conclusões, na Seção 7.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Operações Sustentáveis

APICS (2011) descreve que sustentabilidade na gestão de operações e cadeia de suprimentos está associada à ideia de que o negócio pode ajudar a garantir que os mercados, comércio, tecnologia e finanças avancem de forma a beneficiar as economias, sociedades, ecossistemas e as partes interessadas em geral ou, no mínimo, não deteriorá-los, e assim, contribuir para uma economia global mais sustentável e inclusiva.

¹ Deste parágrafo em diante, os reatores nucleares de pesquisa serão referenciados simplesmente como reatores de pesquisa.

Kleindorfer *et al.* (2005) definem gestão de operações sustentáveis como o conjunto de habilidades e conceitos que permitem que uma empresa estruture e gerencie seus processos de negócios para obter retornos competitivos em seus ativos de capital sem sacrificar as necessidades legítimas das partes interessadas internas e externas e com a devida consideração para o impacto de suas operações sobre as pessoas e o ambiente. Segundo eles, a gestão de operações sustentáveis pode ser identificada em três áreas distintas dentro do modelo de sustentabilidade “*Triple Bottom Line*”:

- a) Desenvolvimento de produto e processo sustentáveis;
- b) Gestão de operações “*lean and green*” (enxuta e sustentável);
- c) Remanufatura e cadeias de suprimento fechadas.

So *et al.* (2012) e APICS (2011) relatam que a implementação da sustentabilidade em uma cadeia de suprimentos para fabricação inclui os seguintes elementos principais:

- a) Processo de inovação é trazer novos processos e melhorias para atender as necessidades de mudança do mercado e de clientes em relação à sustentabilidade;
- b) Produção limpa envolve a mitigação e prevenção de resíduos, reutilização de produtos descartados, quando possível, recuperação de produtos no final da vida útil, prevenção ou redução da poluição na fonte, substituição de materiais tóxicos e perigosos e redução de resíduos e potenciais poluentes no produto ou serviço, bem como o transporte para o mercado;
- c) Fabricação em cadeia fechada é um sistema no qual um produto é criado usando energia renovável com nenhuma saída de poluentes e sem resíduos (os materiais utilizados na produção são reciclados e reutilizados, não descartados). Produtos são construídos para durabilidade e reutilização, e os produtores são responsáveis pelo o ciclo de vida completo do produto, incluindo a fase pós-consumo. O conceito está baseado em conceitos circulares de projeto de produto e produção;
- d) Logística reversa envolve planejamento, implementação e controle do fluxo de materiais, produtos acabados e informações relacionadas do consumidor ao produtor para fins de recapturar valor ou descarte adequado;
- e) Aquisições sustentáveis ou compra verde refere-se à aquisição de bens e serviços com menos impacto sobre o meio ambiente do que outros produtos ou serviços com requisitos de desempenho semelhantes;
- f) Gerenciamento do ciclo de vida (LCM) gerencia os aspectos ambientais e impactos potenciais associados a um produto, processo ou serviço, desde a fase de aquisição de matérias-primas até a fabricação, transporte, consumo e descarte, que essencialmente representa um ciclo do berço até a sepultura (tradução da expressão em inglês “*from cradle to grave*”) de um produto, processo ou serviço.

Segundo APICS (2011), cadeias de suprimento sustentáveis buscam métodos limpos de produção, mitigação dos danos ambientais causados por produtos e serviços e a combinação de decisões ambientalmente amigáveis com práticas eficazes de cadeia de suprimento. Produção limpa envolve:

- Mitigação e prevenção de resíduos;
- Reutilização de resíduos quando possível;
- Recuperação de produtos em fim de vida útil;
- Prevenção ou redução da poluição na fonte;
- Substituição de materiais tóxicos e perigosos por outros menos agressivos;
- Redução de resíduos e potenciais poluentes no produto ou serviço, bem como no transporte para o mercado.

Para o desenvolvimento de um novo produto sustentável, APICS (2011) descreve que um projeto ambiental ou ecoprojeto deve integrar considerações ambientais no projeto de produto e processo. Os projetistas usam ferramentas e práticas que incentivam a responsabilidade

ambiental ao mesmo tempo em que reduzem custos, promovendo a competitividade e reforçando a inovação, mas também mantendo padrões de qualidade, desempenho e preço. O ecoprojeto consiste em projetar produtos com fontes mais renováveis e menos materiais, compartilhar recursos, integrar funções de produto e aperfeiçoar funções.

2.2 Reatores Nucleares de Pesquisa

Quanto à finalidade a que se destinam os reatores nucleares podem ser agrupados em dois tipos principais: os reatores de pesquisa e os reatores de potência.

Os reatores de potência são projetados com a finalidade de gerar energia elétrica.

Os reatores de pesquisa caracterizam-se por não serem usados na geração de energia, servem como fontes de nêutrons para propósitos diversos. Esses reatores oferecem uma gama variada de aplicações, tais como pesquisa de nêutrons para estudos de material e exames não destrutivos, análise por ativação neutrônica para medir quantidades de um elemento, produção de radioisótopos para uso médico e industrial, irradiação de nêutrons para testes em materiais de reatores de fissão e fusão, dopagem por transmutação neutrônica de silício, coloração de pedras preciosas, etc. Outra grande contribuição dos reatores de pesquisa é seu uso em educação e treinamento para operadores, pessoal operacional e de manutenção de instalações nucleares, pessoal de proteção radiológica, pessoal regulamentar, estudantes e pesquisadores, em todas as áreas de tecnologia nuclear.

A potência térmica deste tipo de reator nuclear geralmente perfaz entre 10 kW e alguns poucos MW. Quando utilizados para a produção de radioisótopos, a potência térmica destes reatores nucleares pode atingir até 25 MW (TERREMOTO, 2004).

A denominação dada aos reatores de pesquisa varia de acordo com o propósito a que se destina o fluxo de nêutrons deles proveniente.

Os reatores para teste de materiais fornecem um fluxo alto de nêutrons rápidos, permitindo estudar o comportamento apresentado por materiais utilizados em reatores nucleares sob irradiação.

Os reatores para produção de radioisótopos destinam-se à produção de isótopos radioativos utilizados em atividades industriais, medicinais e agrícolas.

Os reatores de potência zero, também chamados conjuntos críticos ou unidades críticas, são utilizados principalmente para estudar as propriedades neutrônicas de um arranjo físsil a baixa potência ($P < 1$ kW).

Os reatores protótipo são reatores de potência baixa que servem como protótipo para reatores de potência elevada.

Os principais tipos de reatores de pesquisa desenvolvidos no mundo podem ser classificados segundo as características de projeto que apresentam (TERREMOTO, 2004). Em seguida, são descritas em linhas gerais as características principais de alguns tipos de reatores de pesquisa mais importantes.

- a) Reatores tipo piscina: apresenta como característica principal o fato do núcleo do reator estar imerso em uma piscina ou tanque contendo água. O combustível nuclear e o moderador estão separados fisicamente. Também denominado reator tipo MTR (sigla para “*Materials Testing Reactor*”).
- b) Reatores a grafite: caracterizam-se principalmente pelo grande tamanho, apresentando baixa densidade de potência. Possui a vantagem de possibilitar a realização simultânea de vários experimentos. O combustível nuclear deste tipo de reator é o urânio natural metálico. O reator é refrigerado a gás, empregando-se CO₂ ou ar atmosférico como refrigerante.
- c) Reatores Triga: a característica principal deste tipo de reator é o fato do núcleo estar imerso em um tanque de alumínio, cheio de água desmineralizada, com 2 m de diâmetro,

localizado abaixo do nível do solo a 7 m de profundidade. Em geral, esses os reatores apresentam potência baixa na operação em estado estacionário.

- d) *Reatores Argonauta*: reator de baixo custo utilizado para pesquisa em física de reatores, irradiação de amostras, ensaios não destrutivos (principalmente neutrografia), teste de materiais e treinamento de pessoal. Atinge uma potência máxima de 100 kW.
- e) *Reatores de potência zero*: permitem estudos das características neutrônicas para diferentes composições e configurações de núcleos de reatores de potência, mediante simulações em escala de potência zero. Pelo fato de operarem à temperatura ambiente e potência bastante baixa, estes reatores não necessitam de sistemas de refrigeração.
- f) *Reatores de alto fluxo*: destinado à pesquisa do desempenho de materiais sob irradiação, utilizando para tanto um fluxo de nêutrons elevado.

Segundo IAEA (2016), há 244 reatores de pesquisa operando em todo o mundo. No Brasil, atualmente, há quatro reatores de pesquisa em operação:

- IEA-R1: Reator tipo “Piscina”, localizado em São Paulo, nas instalações do IPEN/CNEN, construído em 1956, tem uma potência de 5.000 kW;
- IPR-RI: Reator tipo “TRIGA MARK I”, localizado em Belo Horizonte, nas instalações do CDTN/CNEN, foi construído em 1958, tem uma potência de 100 kW;
- Argonauta: Reator tipo “Argonauta”, localizado no Rio de Janeiro, nas instalações do IEN/CNEN, foi construído em 1963, tem uma potência de 200 W;
- IPEN/MB-01: Reator tipo “Montagem Crítica”, localizado em São Paulo, nas instalações do IPEN/CNEN, foi construído em 1984, tem uma potência de 100 W.

O quinto reator de pesquisa brasileiro será o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), previsto para entrar em operação em 2021. O RMB é um empreendimento a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) e será construído ao lado do Centro Experimental Aramar, em Iperó/SP, onde a Marinha do Brasil desenvolve o sistema de propulsão do submarino nuclear brasileiro. Trata-se de um reator de pesquisa multipropósito que tem as seguintes aplicações principais:

- Produção de radioisótopos para uso em medicina nuclear;
- Produção de fontes radioativas para os setores de saúde, indústria, agricultura e meio ambiente;
- Execução de testes de irradiação em combustível e materiais nucleares;
- Realização de pesquisas científicas e tecnológicas com feixes de nêutrons.

A vida útil de um reator de pesquisas é estimada em 40 a 60 anos, porém há possibilidade de se estender essa vida útil por meio de modernização desses reatores, ou seja, por troca de componentes gastos e até mesmo pelo uso de novas tecnologias obtidas ao longo do tempo.

O aumento da vida útil de um reator de pesquisa por meio de sua modernização caracteriza, dentro da área nuclear, um aumento da sustentabilidade de operação desse reator.

3 Metodologia

Conforme já delineado na Seção 1 Introdução desse artigo, nosso problema científico foi identificar, na literatura disponível, operações sustentáveis realizadas por organizações operadoras de reatores de pesquisa e constituir uma revisão teórica sobre o assunto.

Para obtermos uma solução ao problema científico formulado, usamos uma metodologia adaptada de Seuring e Müller (2008), ou seja, realizamos uma revisão de literatura com o objetivo de coletar e analisar artigos relevantes publicados em jornais e congressos sobre o assunto, por meio de uma pesquisa bibliográfica estruturada. Essa metodologia é descrita a seguir.

- a) *Coleta de material*: o material a ser coletado é definido e delimitado. Além disso, é definida a unidade de análise, definimos cada artigo coletado como unidade de análise.

- b) *Análise descritiva*: aspectos formais do material coletado são avaliados, por exemplo, número de publicações por ano, fornecendo informações para uma posterior análise teórica.
- c) *Seleção das categorias analíticas*: as dimensões estruturais e categorias analíticas relacionadas são selecionadas, as quais serão aplicadas ao material coletado. As dimensões estruturais formam os tópicos principais de análise, que são constituídos por categorias analíticas individuais. Nesse estudo, definimos como nossa única dimensão estrutural as “operações sustentáveis”.
- d) *Avaliação do material coletado*: o material coletado é analisado de acordo com as dimensões estruturais. Isso permite a identificação de aspectos relevantes e interpretação de resultados.

A Figura 1 apresenta um fluxograma da metodologia da pesquisa bibliográfica. Uma retroalimentação foi incluída entre as etapas “c” e “d” para a revisão das dimensões estruturais e categorias analíticas somente para o material coletado (SEURING e MÜLLER, 2008).

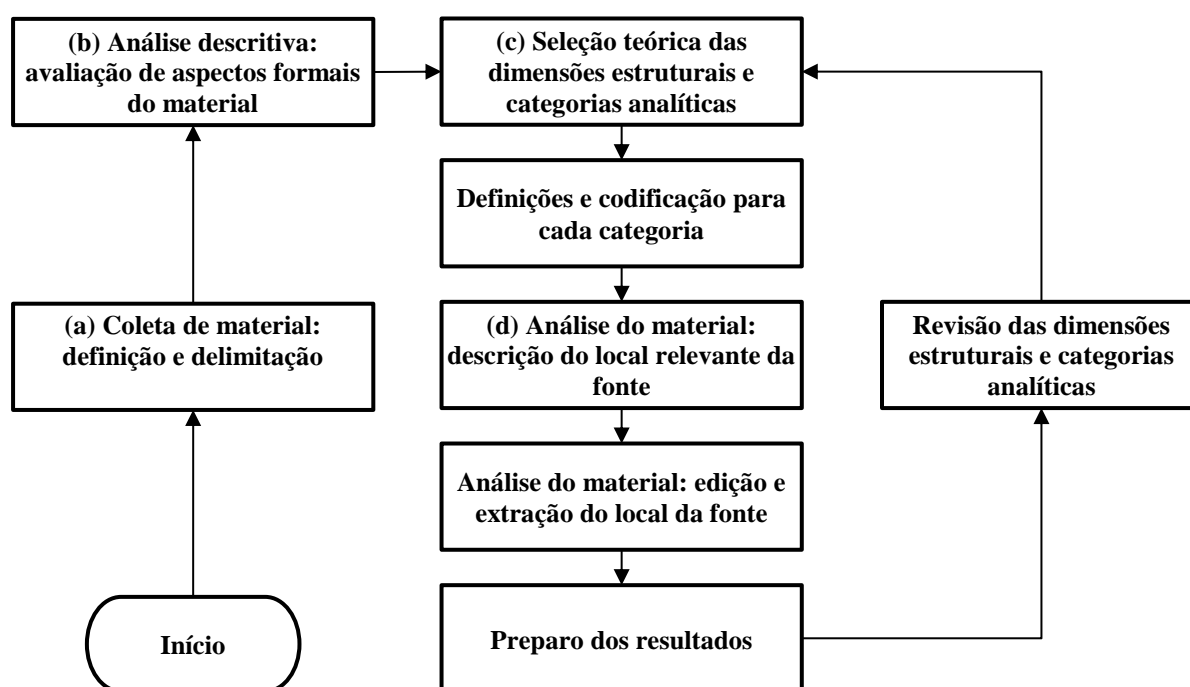


Figura 1 – Metodologia de pesquisa bibliográfica estruturada proposta por Seuring e Müller (2008).

A pesquisa que desenvolvemos caracterizou-se como pesquisa básica, pois produzimos e ampliamos conhecimentos sem aplicação prática prevista. Quanto aos objetivos, a pesquisa desenvolvida foi exploratória, pois proporcionou maior familiaridade com o problema científico. Quanto ao objeto, a pesquisa caracterizou-se como pesquisa bibliográfica, pois recuperou o conhecimento científico acumulado sobre o problema. Quanto à forma de abordagem, a pesquisa desenvolvida neste artigo caracterizou-se como qualitativa, pois foi descritiva e os dados obtidos foram analisados indutivamente.

3.1 Coleta de Material

O levantamento bibliográfico foi conduzido por meio de busca estruturada de referências em bases de dados acadêmicas, acessadas via Portal de Periódicos da Capes, e do setor nuclear.

As bases de dados utilizadas foram as seguintes:

- a) *Google Scholar (GS)* - <https://scholar-google-com-br.ez67.periodicos.capes.gov.br/>;
- b) *Web of Science (WS)* - <http://apps-webofknowledge.ez67.periodicos.capes.gov.br/>;
- c) *Scopus (SC)* - <https://www-scopus-com.ez67.periodicos.capes.gov.br/>;
- d) *Elsevier (EL)* - <http://www-sciencedirect-com.ez67.periodicos.capes.gov.br/>;
- e) *International Nuclear Information System (INIS)* - <https://www.iaea.org/inis/>.

Foram utilizadas palavras-chaves representativas do tema da pesquisa, com o objetivo de identificar artigos publicados em jornais e em congressos internacionais.

Journal of Operations Management (2016) estabelece tópicos de interesse para a publicação de artigos relacionados às operações sustentáveis, com ênfase em pesquisa aplicada aos princípios, ferramentas e conteúdos de gestão de operações que tragam alguma combinação de resultados ambientais, sociais e econômicos. Resultados ambientais incluem a redução de efeitos negativos de operações ou cadeias de suprimento no meio ambiente natural, ou melhoria do estado da natureza. Resultados sociais afetam a segurança humana, saúde, o bem estar ou o desenvolvimento da comunidade.

Os tópicos de interesses adotados por *Journal of Operations Management* (2016) são os seguintes:

- Gestão da cadeia de suprimento sustentável (*Sustainable supply chain management*);
- Cadeias de suprimento fechadas (*Closed-loop supply chains*);
- Projeto de produto sustentável (*Sustainable product design*);
- Compra sustentável (*Sustainable procurement*),
- Legislação ambiental relacionada às operações (*Environmental legislation as it relates to operations*);
- Análise do ciclo de vida (*Life cycle analysis*);
- Simbiose industrial (*Industrial symbiosis*);
- Responsabilidade social corporativa (*Corporate social responsibility*);
- Valor de mercado de iniciativas ambientais e sociais (*Market valuation of environmental and social initiatives*); e
- Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: *marketing*, finanças e estratégia para gestão de operações. (*Interdisciplinary approaches to sustainability research: OM/Marketing, OM/Finance, OM/Strategy*).

Iniciamos nossa busca adotando como palavras-chaves em inglês os tópicos de interesse usados por *Journal of Operations Management* (2016) na publicação de artigos sobre operações sustentáveis, adicionados à expressão “*research reactor*”. Os mecanismos de busca interpretam essa combinação de palavras-chaves, como se essas fossem unidas por meio do operador booleano “AND”. Embora todos os registros de artigos obtidos nas buscas foram lidos e analisados, somente foram aceitos artigos com texto completo. Não houve restrição quanto ao período de publicação na busca. As palavras-chaves usadas na busca foram as seguintes:

- (1) "*sustainable supply chain management*" "*research reactor*";
- (2) "*closed-loop supply chains*" "*research reactor*";
- (3) "*sustainable product design*" "*research reactor*";
- (4) "*sustainable procurement*" "*research reactor*";
- (5) "*environmental legislation*" "*research reactor*";
- (6) "*life cycle analysis*" "*research reactor*";
- (7) "*industrial symbiosis*" "*research reactor*";
- (8) "*corporate social responsibility*" "*research reactor*";
- (9) "*market valuation*" "*research reactor*";
- (10) "*operations management*" "*marketing*" "*research reactor*";
- (11) "*operations management*" "*finance*" "*research reactor*";

(12) *"operations management" "strategy" "research reactor"*.

Nesta primeira etapa, obtivemos resultados significativos somente nas bases de dados Google Scholar (GS) e INIS.

Para ampliar nosso número de resultados, numa segunda etapa de busca, fizemos uma busca mais genérica na base de dados Google Scholar (GS) com os termos *research reactor operation sustainable* (sem aspas) e obtivemos aproximadamente 341.000 referências.

Então, usando opções avançadas de busca, restringimos essa busca com a expressão *"research reactor operation"* combinada com as palavras-chaves *sustainable*, *sustainability* e *green*. Da mesma forma como abordado na primeira etapa de busca, os mecanismos de busca interpretam essa combinação de palavras-chaves, como se essas fossem unidas por meio do operador booleano *"AND"*. Na segunda etapa de busca, chegamos às configurações de busca descritas a seguir.

(13) *sustainable "research reactor operation"*, para todas as bases de dados;

(14) *sustainability "research reactor operation"* –*sustainable*, para todas as bases de dados;

(15) *green "research reactor operation"*, para todas as bases de dados, exceto a base de dados INIS;

(16) *green "research reactor operation" –sustainability –sustainable*, somente para a base de dados INIS.

Realizamos, portanto, dezesseis buscas diferentes, nas cinco bases de dados predefinidas, conforme descrevemos nos parágrafos anteriores.

Os resultados dessas buscas são apresentados na Seção 4.1 – Apresentação de Resultados deste artigo. Foram excluídas dos resultados do levantamento bibliográfico as referências repetidas.

3.2 Análise descritiva

As referências totais obtidas foram quantificadas e aquelas aceitas para o estudo foram classificadas de acordo com o tipo de publicação, ano de publicação e categoria analítica.

Quanto ao tipo de publicação, as referências aceitas para o nosso estudo foram classificadas em (1) artigo publicado em congresso, (2) artigo publicado em *journal*, (3) artigo/capítulo de livro e (4) livro.

O critério de seleção das categorias analíticas está descrito na seção a seguir. A classificação das referências aceitas para o estudo é apresentada na Seção 4.1 – Apresentação de Resultados deste artigo.

3.3 Seleção das categorias analíticas

Dentro da nossa única dimensão estrutural predefinida como “operações sustentáveis”, definimos as categorias analíticas para essa dimensão estrutural.

As categorias analíticas selecionadas para este estudo foram compostas pelos tópicos de interesse adotados por *Journal of Operations Management* (2016), somados às categorias analíticas obtidas na segunda etapa de busca descrita em 3.1 acima. Assim, definimos as categorias analíticas de nosso estudo, conforme abaixo:

a) Categorias analíticas obtidas de *Journal of Operations Management* (2016):

- Gestão da cadeia de suprimento sustentável;
- Cadeias de suprimento fechadas;
- Projeto de produto sustentável;
- Compra sustentável;
- Legislação ambiental relacionada às operações;
- Análise do ciclo de vida;
- Simbiose industrial;
- Responsabilidade social corporativa;

- Valor de mercado de iniciativas ambientais e sociais; e
- Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: *marketing*, finanças e estratégia para gestão de operações.

b) Categorias analíticas obtidas da segunda busca descrita em 3.1 acima:

- Análise de sustentabilidade;
- Certificação ISO 14000;
- Gestão de resíduos;
- Gestão do envelhecimento;
- Indicadores de sustentabilidade;
- Planejamento Estratégico para a Sustentabilidade;
- Reciclagem.

3.4 Avaliação do material coletado

Os artigos considerados aceitos para o estudo foram lidos, analisados, avaliados e classificados dentro de uma categoria analítica previamente estabelecida conforme 3.3 acima. Dentro dessa classificação por categoria analítica, procurou-se constituir uma revisão teórica para cada categoria, de modo a observar características específicas de operações sustentáveis aos reatores de pesquisa. Foi possível, assim, identificarmos lacunas na literatura e propor novos estudos sobre cada categoria analítica do tema “operações sustentáveis”. A análise dos resultados obtidos é apresentada na Seção 4.2 – Análise dos Resultados desse artigo. A revisão teórica sobre as referências aceitas está estruturada na Seção 5 deste artigo.

4 Apresentação e Análise dos Resultados

4.1 Apresentação dos Resultados

Tomando-se em conta as delimitações já mencionadas na Seção 3 – Metodologia, mostramos na Tabela 1 os resultados quantitativos da pesquisa bibliográfica.

Tabela 1 – Resultados quantitativos da Pesquisa Bibliográfica.

PC – Palavras-chaves	GS TO	GS AC	WS TO	WS AC	EL TO	EL AC	SC TO	SC AC	IN TO	IN AC	TG TO	TG AC
PC-1 "sustainable supply chain management" "research reactor"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-2 "closed-loop supply chains" "research reactor"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-3 "sustainable product design" "research reactor"	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
PC-4 "sustainable procurement" "research reactor"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC-5 "environmental legislation" "research reactor" "operation"	87	7	0	0	15	0	0	0	108	3	210	10
PC-6 "life cycle analysis" "research reactor"	34	1	0	0	45	0	0	0	40	1	119	2
PC-7 "Industrial symbiosis" "research reactor"	2	0	0	0	4	0	0	0	0	0	6	0
PC-8 "corporate social responsibility" "research reactor"	26	2	0	0	6	0	0	0	10	0	42	2
PC-9 "market valuation" "research reactor"	2	1	0	0	4	0	0	0	5	0	11	1
PC-10 "operations management" "marketing" "research reactor"	11	1	0	0	11	0	0	0	44	0	66	1

Operações Sustentáveis em Reatores Nucleares de Pesquisa – Um Estudo Bibliográfico

PC – Palavras-chaves	GS TO	GS AC	WS TO	WS AC	EL TO	EL AC	SC TO	SC AC	IN TO	IN AC	TG TO	TG AC
PC-11 "operations management" "finance" "research reactor"	12	2	0	0	7	0	0	0	56	1	75	3
PC-12 "operations management" "strategy" "research reactor"	42	2	0	0	13	0	0	0	118	0	173	2
PC-13 sustainable "research reactor operation"	51	12	8	0	3	0	4	0	139	28	205	40
PC-14 sustainability "research reactor operation" -sustainable	8	1	0	0	3	0	2	0	5	1	18	2
PC-15 green "research reactor operation"	37	0	0	0	8	0	0	0	X	X	45	0
PC-16 green "research reactor operation" -sustainability - sustainable	X	X	X	X	X	X	X	X	103	0	103	0
Total Geral / Aceitos	312	29	8	0	120	0	6	0	628	34	1074	63

Legenda:

- PC: Palavra-chave;
- GS: Google Scholar;
- WS: Web of Science;
- EL: Elsevier;
- SC: Scopus;
- IN: International Nuclear Information System (INIS);
- TO: Total de referências obtidas na busca;
- AC: Total de referências aceitas para o estudo proposto no artigo;
- TG: Total geral;
- X: Palavra-chave não utilizada para esta base de dados.

Conforme mostrado na Tabela 1, 1074 referências foram identificadas na pesquisa bibliográfica, das quais apenas 63 (5,9% do total) foram aceitas para serem aproveitadas em nosso estudo. Esse número de referências aceitas caracteriza a existência de poucas referências nas bases de dados sobre o tema de nossa pesquisa.

As Figuras 1 e 2 mostram os dados quantitativos da classificação das referências aceitas para o nosso estudo, respectivamente, quanto ao tipo de publicação e ano de publicação.

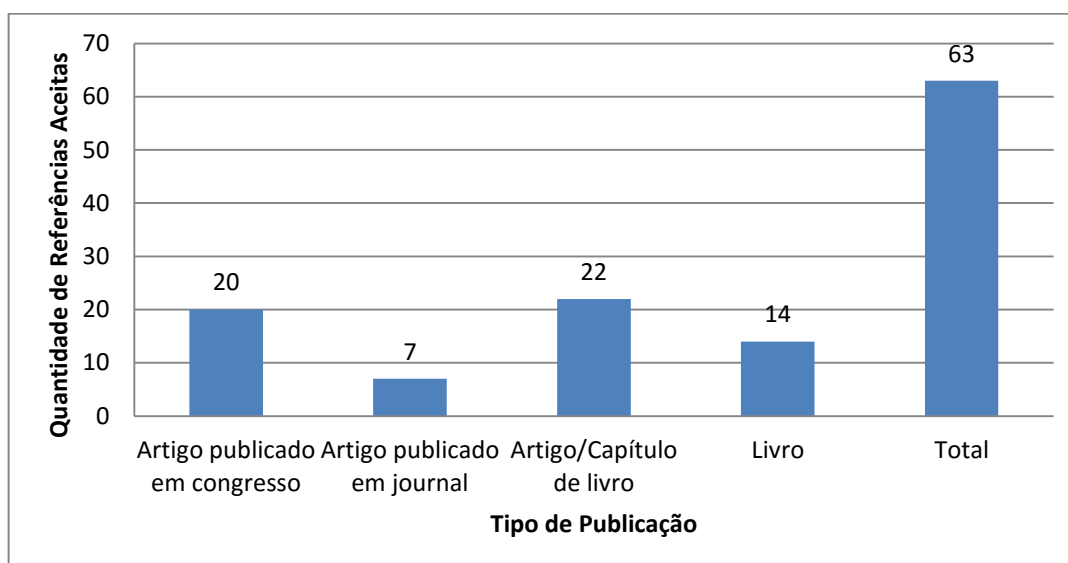


Figura 1 – Tipo de publicação e quantidade de referências aceitas.

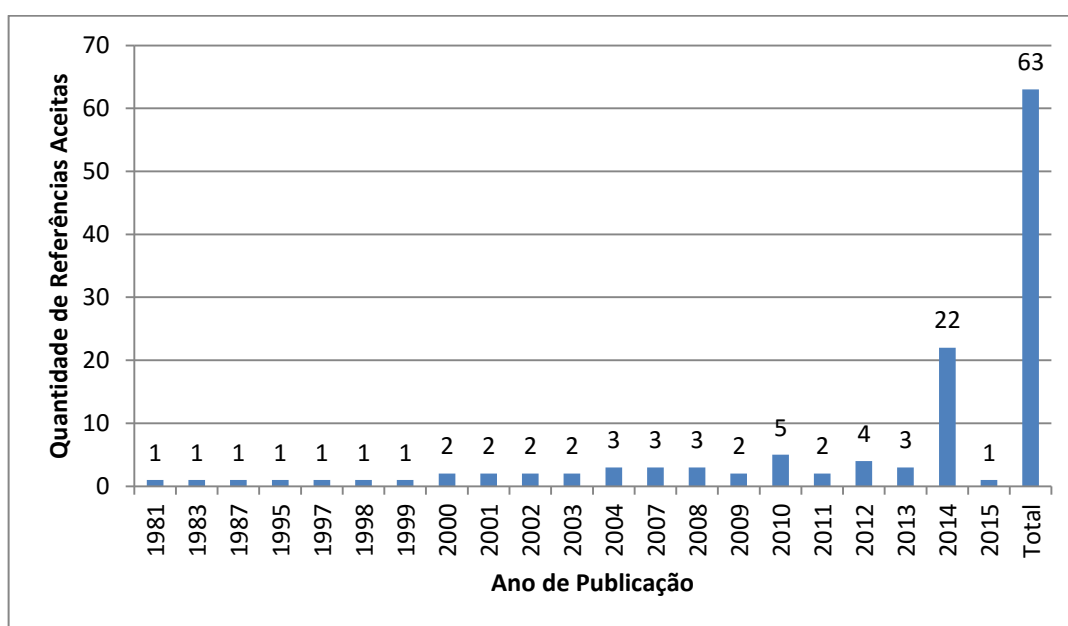


Figura 2 – Ano de publicação e quantidade de referências aceitas.

A Tabela 2 mostra os dados quantitativos da classificação das referências aceitas por categoria analítica.

Tabela 2 – Quantidades de referências aceitas por categoria analítica.

Categoria Analítica	Quantidade de referências aceitas
Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: <i>marketing</i> , finanças e estratégia para gestão de operações	5
Análise de sustentabilidade	1
Análise do ciclo de vida	1
Certificação ISO 14000	1
Gestão de resíduos	4
Gestão do envelhecimento	19
Indicadores de sustentabilidade	1
Legislação ambiental relacionada às operações	9
Planejamento estratégico para sustentabilidade	8
Projeto de produto sustentável	7
Reciclagem	4
Responsabilidade social corporativa	2
Valor de mercado de iniciativas ambientais e sociais	1
Total	63

As categorias analíticas abaixo, não receberam nenhuma referência aceita para nosso estudo:

- Gestão da cadeia de suprimento sustentável;
- Cadeias de suprimento fechadas;
- Compra sustentável;
- Simbiose industrial.

As referências bibliográficas aceitas para nosso estudo estão descritas na Seção 7.1 deste artigo. Ao final de cada referência bibliográfica, entre colchetes, aparecem as categorias analíticas relacionadas a cada referência.

4.2 Análise dos Resultados

Embora a gestão de operações sustentáveis seja uma realidade no mundo acadêmico, haja vista a existência de um jornal acadêmico específico para publicações de artigos relacionados a esse tema, o *Journal of Operations Management*, editado pela *Elsevier*, essa abordagem ainda não está bem definida na área nuclear.

Os resultados apresentados na Seção 4.1 representam apenas 63 artigos publicados aceitos para a análise realizada nesse estudo. Desses, apenas sete foram obtidos de *journals* acadêmicos. A maioria das referências aceitas provém da base de dados nucleares *International Nuclear Information System (INIS)*, em segundo lugar, aparece a base de dados *Google Scholar* e em terceiro a *Elsevier. Web of Science* e *Scopus* não apresentaram resultados significativos.

Muitas referências aceitas provêm de publicações da IAEA, conhecidas como TECDOC. Alguns TECDOC apresentam coletâneas de artigos apresentados em congressos realizados pela IAEA.

Com relação ao ano de publicação dos artigos aceitos, notamos um valor significativo em 2014, quando a IAEA publicou um TECDOC que inclui uma coletânea de artigos sobre experiências obtidas de gestão de envelhecimento, modernização e reforma de reatores de pesquisa.

Quanto ao número de referências aceitas por categoria analítica, percebemos a predominância de artigos publicados relacionados às seguintes categorias analíticas: gestão do envelhecimento, legislação ambiental relacionada às operações, planejamento estratégico para sustentabilidade e projeto de produto sustentável.

Algumas categorias analíticas preestabelecidas não foram contempladas com nenhuma referência, são elas: gestão da cadeia de suprimento sustentável, cadeias de suprimento fechadas, compra sustentável e simbiose industrial.

5 Revisão Teórica Formada a Partir das Referências Aceitas

A partir das referências aceitas para nosso estudo foi possível elaborar uma revisão teórica sobre o assunto de nossa pesquisa: operações sustentáveis em reatores de pesquisa. A seguir, de acordo com as categorias analíticas relacionadas em nossa pesquisa bibliográfica, descrevemos os pontos principais abordados nessas referências.

5.1 Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: *marketing*, *finanças* e *estratégia* para gestão de operações

Levine (1983, 1987) aborda como um pequeno reator de pesquisa pode apoiar um programa nacional de energia nuclear. Segundo ele, o reator de pesquisa fornece recursos para a formação de engenheiros nucleares, operadores nucleares e outros especialistas nucleares necessários para construir, operar e manter a usina nuclear. Ele propõe a organização de um centro de ciência nuclear, bem como define as atividades do reator de pesquisa. O reator de pesquisa fornece uma fonte de raios de nêutrons e raios gama que podem ser usados para testar e apoiar o desenvolvimento de produtos para uso com a usina de energia nuclear. A instalação do reator de pesquisa pode ser usada como um grande centro que engloba todos os aspectos da tecnologia da energia nuclear. Requisitos de segurança podem ser definidos e praticados para treinar o pessoal para a operação segura da usina nuclear. Por exemplo, regras e procedimentos selecionados utilizados para operar uma usina nuclear podem ser praticados com o reator de pesquisa.

Jackson (2001) relata as atividades de gestão do urânio realizadas pelo Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos, por meio de seu Grupo de Gestão do Urânio. Este grupo é responsável pelo gerenciamento dos ativos de urânio do DOE. Ele realiza uma abordagem de ciclo de vida para a gestão de urânio aborda as necessidades atuais no contexto de uma estratégia de longo prazo. A coordenação da gestão de urânio pelo Grupo de Gestão do Urânio oferece economias significativas, por meio de um melhor planejamento e eficiência, e cria abordagens ambientalmente adequadas para o armazenamento e reutilização do excesso de urânio.

IAEA (2003) nos fornece uma ideia de como a IAEA distribui seu orçamento. Cerca de 97% do orçamento é aplicado nos programas dessa entidade e o restante é usado para pagamento de serviços realizados por terceiros e na aquisição de equipamentos de salva guardas. Em 2002, o orçamento da IAEA era de US\$ 245,1 milhões, dos quais US\$217.5 milhões foram aportados pelos países membros dessa entidade, valor estabelecido de acordo com a Resolução GC(45)/RES/8. Os programas da IAEA para a sustentabilidade de reatores de pesquisa são os seguintes:

- Aprimoramento da utilização de reatores de pesquisa;
- Infraestrutura do reator de pesquisa, planejamento e estimativa da capacidade;
- Ciclo do combustível nuclear do reator de pesquisa;
- Operação e manutenção do reator de pesquisa;
- Segurança e proteção física dos reatores de pesquisa.

IAEA (2004) relata que projetos de descomissionamento para vários tipos de instalações nucleares têm demonstrado que os custos de descomissionamento podem ser gerenciados. No entanto, a comparação de estimativas de custo individual para instalações específicas pode apresentar variações relativamente grandes, e vários estudos tentaram identificar as razões para estas variações. Itens com custo padronizado têm sido propostos. Até o momento, incertezas significativas ainda existem em estimativas de custos para o descomissionamento, em particular nos estados membros da IAEA que não têm experiência ou conhecimento em descomissionamento. Embora vários estados membros da IAEA tenham adotado mecanismos para assumir a coleta e a segregação de fundos orientados para o descomissionamento, a validade das suas estimativas de financiamento precisa ser colocada à prova em muitos casos. A garantia financeira em longo prazo dos fundos segregados continua a ser uma questão pendente especialmente no cenário de descomissionamento.

5.2 Análise de sustentabilidade

Obadia e Perrotta (2010) apresentam uma análise de sustentabilidade para o empreendimento Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). Nessa análise, eles abordam os dezenove itens estabelecidos por IAEA (2012) para a etapa 1 de um empreendimento de reator de pesquisa: “Pronto para Realizar um Compromisso Experiente de um Programa de Reator de Pesquisa”. Os dezenove itens analisados são os seguintes: (1) posição nacional, (2) segurança nuclear, (3) gestão, (4) fomento e financiamento, (5) estrutura legislativa, (6) estrutura regulamentar, (7) salvaguardas, (8) proteção radiológica, (9) utilização do reator de pesquisa, (10) desenvolvimento de recursos humanos, (11) envolvimento de partes interessadas, (12) pesquisa do local, seleção do local e avaliação, (13) proteção do meio ambiente, (14) preparação e resposta à emergência, (15) proteção física nuclear, (16) gestão do combustível nuclear, (17) rejeitos radioativos, (18) envolvimento industrial e (19) aquisição. Obadia e Perrotta (2010) concluem que foram analisados cinquenta requisitos, dos quais 74% concluídos, 18% em andamento e 8% a serem iniciados.

5.3 Análise do ciclo de vida

Franke e Vogt (2004) fazem uma avaliação dos impactos ambientais decorrentes de atividades de descontaminação e descomissionamento de reatores de pesquisa no Laboratório Nacional de Brookhaven, localizado em Upton, NY, Estados Unidos. Eles mencionam que um estudo cuidadoso de avaliação de ciclo de vida (ACV) realizado conforme metodologia estabelecida por ISO (2006) é extremamente importante e não foi realizado pelo laboratório. Os estudos de ACV compreendem quatro fases: definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação.

5.4 Certificação ISO 14000

Gho (2003) descreve o interesse em implantar um sistema de certificação ambiental ISO 14001 no Reator Nuclear Experimental RA6, localizado no Centro Atômico Bariloche (CAB), na Argentina. Uma vez que este reator está localizado no Parque Nacional Nahuel Huapi, ele deve demonstrar seu bom comportamento ambiental. Gho (2003) afirma que um sistema de gestão ambiental ISO 14001 irá fortalecer a relação da sociedade com o meio ambiente e a relação da energia nuclear com a sociedade.

Para o Reator R6 a certificação ISO 14001 pode ser uma ferramenta importante para a abordagem com o grande público, pode ser uma nova linha de ação no CAB para o serviço à sociedade, constitui um sinal claro do compromisso ambiental da Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) e vai representar uma superação profissional do pessoal do Reator RA6.

5.5 Gestão de resíduos

Debreuille *et al.* (2004) fazem um estudo sobre o tratamento de combustível nuclear dos reatores nucleares da geração IV, previstos para entrar em operação a partir de 2030. Segundo eles, a grande maioria dos reatores da geração IV depende do ciclo fechado de combustível, com grandes benefícios nas áreas de conservação dos recursos, desempenho de condicionamento de resíduos e gestão de toxicidade de resíduos.

O programa de geração IV permitirá que a indústria nuclear finalmente cubra todo o ciclo do combustível – do reator para a exploração e para o descomissionamento e da fabricação do combustível para o tratamento de combustível utilizado e para o descarte dos resíduos.

Especificamente, no que diz respeito à sustentabilidade, Debreuille *et al.* (2004) afirmam que o tratamento de combustível usado em associação com reatores regeneradores rápidos permitirá a conservação de mais de 90% dos recursos de urânio natural e permitirá uma redução substancial na toxicidade e volume de resíduos a serem descartados em um repositório geológico.

Devgun (2013) relata que a gestão adequada de combustível gasto, resultante da produção de energia nuclear é uma questão-chave para o desenvolvimento sustentável da energia nuclear. Duas opções são geralmente consideradas: o ciclo de combustível fechado e o ciclo do combustível de única passagem.

No ciclo de combustível fechado, o combustível usado é, após alguns anos de resfriamento na piscina da instalação, transportado para uma instalação de reprocessamento, onde o material físsil (por exemplo, urânio e plutônio) separa os produtos de fissão e outros actínídeos. O material físsil recuperado é reciclado como um óxido misturado de urânio/plutônio (MOX) em reatores térmicos em alguns países, como resultado de longos atrasos na implantação de reatores regeneradores. Os produtos de fissão e os actínídeos restantes são solidificados e encapsulados. Este resíduo é transportado de volta para o país do produtor e armazenado em um edifício de armazenamento dedicado ou em cascos de armazenamento aguardando disponibilidade de disposição final.

No ciclo do combustível de única passagem, o combustível gasto é depositado no repositório geológico sem qualquer recuperação de material físsil valioso. Antes do descarte, o combustível usado deve ser devidamente condicionado e embalado para atender aos critérios de aceitação do repositório geológico.

IAEA (2008) descreve os procedimentos para o retorno do combustível gasto do reator de pesquisa para o país de origem. O gerenciamento do final do processo do ciclo do combustível nuclear de um reator de pesquisa é muito importante para a não proliferação dos materiais nucleares, proteção física da instalação nuclear e proteção do meio ambiente. No âmbito de um programa para eliminar lotes de urânio altamente enriquecido, combustíveis nucleares gastos, originalmente enriquecidos na Federação Russa e nos Estados Unidos, estão sendo devolvidos para sua respectiva origem. IAEA (2008) apresenta casos de transporte bem sucedidos de combustíveis nucleares gastos de reatores de pesquisa para os Estados Unidos e Federação Russa, fornece informações de melhores práticas e apresenta a estrutura básica para realizar o transporte desses combustíveis gastos.

Sikorin *et al.* (2014) relata a experiência de armazenamento de combustível nuclear gasto com urânio altamente enriquecido nos Reatores de Pesquisa IRT-M e Pamir-630, localizados em Minsk, Bielorrússia e seu transporte para reprocessamento na Federação Russa. Isso eliminou os problemas de armazenamento de combustíveis nucleares gastos da República da Bielorrússia.

5.6 Gestão do envelhecimento

IAEA (2014) traz uma coletânea de artigos publicados sobre experiências obtidas de projetos de gestão do envelhecimento, modernização e reforma de reatores de pesquisa.

Como a maioria dos reatores de pesquisas conta com mais de 40 anos de experiência de funcionamento, manutenção, modernização e renovação são cada vez mais importantes para uma operação segura e viável desses reatores.

Embora a gestão do envelhecimento seja vital para a operação segura em todos os estágios da vida de um reator de pesquisa, organizações operadoras desses reatores formularam vários métodos e ferramentas para implementar programas de acordo com uma abordagem gradual dependente das condições operacionais, especificações de equipamentos e diretrizes regulatórias.

A gestão do envelhecimento surgiu da inspeção de rotina, manutenção corretiva e revisão geral do sistema, e hoje chegou às análises aprofundadas de degradação de sistemas, estruturas e componentes sob desgaste natural e condições de nível de temperatura, pressão e radiação do reator.

IAEA (2014) faz considerações importantes com relação à gestão do ciclo de vida de sistemas, estruturas e componentes de reatores de pesquisa, ao projeto do programa de gestão de envelhecimento, à análise de degradação e quebra de componentes e questões administrativas, dentre outros assuntos.

Fazem parte da coletânea de artigos abordados por IAEA (2014) as referências mencionadas a seguir:

- Carvalho (2014) descreve a modernização da instrumentação de controle e segurança do reator de pesquisa IEA-R1, localizado no IPEN, São Paulo.
- Chilian e Kennedy (2014) fazem um estudo sobre a autossustentabilidade de uma instalação de reator de pesquisa com a análise por ativação neutrônica.
- D'Arcy *et al.* (2014) descrevem o programa de gestão do envelhecimento para o reator de pesquisa Safari-1, localizado na África do Sul.
- Daie (2014) descreve a modernização e reforma do reator chileno RECH-1.
- Kamoon e Ali (2014) descrevem a manutenção baseada na gestão do envelhecimento do reator egípcio ETRR-II.

- Kombele *et al.* (2014) fazem um estudo de caso do guindaste móvel de cinco toneladas e das entradas e saídas do sistema de ventilação do reator de pesquisa Kinshasa Trico II, na gestão do envelhecimento de componentes e estruturas desse reator.
- Kutlu (2014) relata as atividades de gestão do envelhecimento e modernização realizadas no reator de pesquisa TR-2 na Turquia.
- Luch *et al.* (2014) descrevem o programa de gestão do envelhecimento para operação em longo prazo de reatores de pesquisa e outras instalações nucleares argentinas.
- Nitiswati *et al.* (2014) mostra a experiência da inspeção em serviço do trocador de calor do reator Kartini, localizado em Yogyakarta, Indonésia, dentro do programa de gestão do envelhecimento.
- Ramanathan *et al.* (2014) apresentam as mudanças realizadas nos últimos quinze anos decorrentes do programa de gestão de envelhecimento do reator IEA-R1, localizado em São Paulo.
- Sharma e Raina (2014) descrevem a gestão de envelhecimento e reforma de reatores nucleares localizados na região de Trombay, área metropolitana de Mumbai, Índia.
- Shepitchak (2014) faz uma abordagem da experiência obtida com a renovação de reatores de pesquisa na Ucrânia.
- Tippayakul (2014) descreve sua experiência com o estabelecimento de um programa de gestão de envelhecimento para o reator de pesquisa tailandês TRR-1/M1.
- Xiao (2014) relata sua experiência com a gestão do envelhecimento do reator de pesquisa avançado chinês CARR.
- Younoussi (2014) descreve as atividades de gestão do envelhecimento do reator de pesquisa CENM Triga Mark II, em Marrocos.

Além dos trabalhos mencionados acima, identificamos na pesquisa bibliográfica outros trabalhos que também tratam desse assunto, os quais são destacados a seguir:

- ANSTO (1999) descreve o reator de pesquisa proposto para substituir o reator de alto fluxo (HIFAR) obsoleto tecnologicamente, localizado no Centro de Ciência e Tecnologia Lucas Heights na Austrália.
- Ciocanescu (2001) faz uma descrição da situação atual do envelhecimento de reatores de pesquisa, seus problemas e seu programa de avaliação.
- Perrotta (2011) apresenta as condições dos quatro reatores de pesquisa brasileiros com relação à gestão do envelhecimento e o projeto do reator multipropósito RMB.

5.7 Indicadores de sustentabilidade

Csullog *et al.* (2002) abordam a implementação de indicadores de desenvolvimento sustentável para a gestão dos resíduos radioativos. Segundo eles, sustentabilidade é o ponto em que a quantidade de resíduos radioativos que aguarda o descarte não está aumentando, o resíduo está na forma final requerida para o descarte e ele está sendo armazenado com segurança.

A IAEA foi selecionada pela ONU para ser a principal agência para o desenvolvimento e implementação de indicadores de desenvolvimento sustentável para a gestão dos resíduos radioativos (ISD-RW).

Em paralelo com o seu trabalho sobre o ISD-RW, a IAEA desenvolveu e implementou um banco de dados para o gerenciamento de resíduos habilitado na internet (NEWMDB).

O NEWMDB é um banco de dados internacional para coletar, compilar e difundir informações sobre programas de gestão de resíduos radioativos numa base nacional e inventários de resíduos.

5.8 Legislação ambiental relacionada às operações

Boyd (1981) descreve que a lei de controle de energia atômica do Canadá não requer audiências públicas, estas são requisitadas pela legislação municipal para os projetos sob sua legislação ambiental. Para projetos federais, há uma exigência, sob a atual política do governo federal, para uma revisão, incluindo uma audiência pública, pelo serviço federal de avaliação ambiental.

Konopaskova e Nachmilner (2000) descreve que a legislação ambiental, que é substancial no processo de participação pública, avalia todos os tipos de risco. Estes devem envolver risco ambiental e da população, incluindo os efeitos da não radiação, viabilidade e economia e também exige estimar as variantes da solução do projeto.

Andersson *et al.* (2002) descrevem que de acordo com a maioria das legislações ambientais, todos os projetos de construção grandes devem ser avaliados em relação ao seu impacto ambiental, a necessidade social do projeto e as alternativas (incluindo uma "alternativa zero", ou seja, não fazer nada). Essa avaliação do impacto ambiental (EIA) permite que a sociedade e as partes interessadas façam parte das decisões destes projetos. A avaliação ambiental estratégica (SEA) é um processo sistemático para avaliar as consequências ambientais das iniciativas de política, plano ou programa propostas a fim de garantir que eles são totalmente incluídos e adequadamente tratados no início da fase de tomada de decisão, junto com considerações econômicas e sociais.

CNEN (2008) relata que as instalações nucleares estão sujeitas a uma licença nuclear pela CNEN e uma licença ambiental pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente dos e Recursos Naturais Renováveis, com a participação de agências ambientais locais e do estado, como se afirma na lei nacional de política ambiental. O processo de licenciamento ambiental inclui três etapas: pré-instalação, instalação e operação. Na fase de pré-instalação estão incluídos o desenvolvimento do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e a preparação do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Audiências públicas também são previstas na legislação ambiental.

Santos (2008) descreve uma metodologia para a implantação de uma política ambiental, de saúde e segurança no Centro de Combustível Nuclear do IPEN, prevendo sua gestão com o uso de relatórios de dados detalhados. Por meio da adoção de novas ferramentas para melhorar a gestão, eles pretendem cumprir a legislação aplicável para todos os aspectos ambientais e operacionais.

Kralj e Zeleznik (2012) relatam que na Eslovênia, as legislações ambientais e nucleares integram o planejamento estratégico da gestão de resíduos radioativos com o planejamento da proteção ambiental. Na Eslovênia, todas as atividades de gestão de resíduos são regulamentadas por legislação ambiental que define os resíduos como subprodutos que se acumulam no tempo, ou seja, eles não têm qualquer uso adicional. Gestão sustentável dos resíduos baseia-se em três princípios fundamentais:

- Minimização de resíduos, incluindo a abordagem de reduzir, reutilizar e reciclar;
- Princípio de que o poluidor deve pagar, geralmente é implementado como uma taxa de gestão de resíduos e de disposição;
- Implementação da gestão de resíduos transparente e confiável, de modo a assegurar o direito público à informação, participação na tomada de decisão e acesso à justiça em todos os aspectos de gestão de resíduos.

Sjöblom e Lindskog (2012) descrevem e analisam as características de vários pré-requisitos favoráveis e obstáculos para o cumprimento do princípio do poluidor pagador no caso de descomissionamento das instalações nucleares de pesquisa e desenvolvimento antigas suecas, conforme estabelecido nas legislações ambientais e nucleares.

Mattos *et al.* (2013) desenvolveram ferramentas para sistemas de gestão ambiental para aplicação no Centro de Combustível Nuclear do IPEN. Eles relatam que o IPEN passou por

um processo de conformidade ambiental de suas instalações nucleares e radioativas, legalmente denominado Termo de Ajuste de Conduta (TAC). Este termo destina-se, exclusivamente, habilitar os responsáveis pelas instalações e atividades que utilizam recursos ambientais, e/ou aqueles que são considerados efetiva ou potencialmente agentes poluidores, para fazer as correções necessárias relacionadas às suas atividades, para que sejam respeitados os requisitos impostos pelas autoridades ambientais.

Serra (2014) apresenta uma proposta para implementação de uma estrutura regulatória integrada com abordagem em qualidade e meio ambiente no processo de licenciamento de reatores nucleares de pesquisa no Brasil. A proposta foi desenvolvida a partir do estudo de processos de licenciamento de reatores nucleares de pesquisa de diversos países Membros da Agência Internacional de Energia Atômica. Após esta fase, realizou-se um estudo comparativo destes processos com o processo de licenciamento de reatores nucleares de pesquisa brasileiros, para identificação boas práticas (aspectos positivos), possíveis lacunas existentes e então apresentar uma proposta para gestão integrada em qualidade e meio ambiente, com o objetivo de contribuir com um novo esquema para o processo de licenciamento no Brasil.

5.9 Planejamento estratégico para a sustentabilidade

Segundo Belgian Nuclear Research Center (2007), sustentabilidade significa segurança contínua das infraestruturas nucleares atuais, uma estratégia de longo prazo continuada em relação a questões de resíduos nucleares, iniciativas de apoio à pesquisa para futuros sistemas nucleares – como fusão ou GEN IV que sustentam a segurança e a eficiência do abastecimento e demonstram a redução do tempo de vida dos resíduos nucleares. Além disso, sustentabilidade significa uma proteção adequada da humanidade, a aceitação pública da energia nuclear e a valorização de suas derivações sociais, especialmente no campo de aplicações médicas.

Ciocanescu *et al.* (2010) abordam a melhoria da sustentabilidade de um reator de pesquisa. Para eles, sustentabilidade, no contexto de reatores de pesquisa, é definida como a capacidade de manter o equilíbrio entre a utilização e depreciação do complexo sistema de recursos e capacidade que sustenta o papel de reatores de pesquisa na produção de produtos e serviços para outros processos, que, por sua vez, devem ser sustentados. Como regra geral, os parâmetros e as tendências de sustentabilidade dependem de:

- Fatores sociais: sistema social que nós vivemos;
- Fatores tecnológicos: como a tecnologia muda o ambiente industrial;
- Fatores econômicos: impacto no sistema financeiro, o acesso às finanças;
- Fatores ambientais: monitoramento/redução do impacto sobre o consumo de recursos;
- Geração de resíduos, risco e saúde;
- Fatores políticos: sistema político e política de regulamentação/legislação.

Ciocanescu *et al.* (2010) descrevem o planejamento estratégico para melhorar a sustentabilidade do Reator de Pesquisa TRIGA 14 MW localizado em Pitesti, Romênia.

Goldman *et al.* (2007) apresentam a iniciativa da IAEA em formar uma ou mais coalizões de operadores de reatores de pesquisa e partes interessadas, com a finalidade de melhorar a sustentabilidade dos reatores de pesquisa por meio de uma análise de mercado aprimorada e planejamento estratégico e de negócios, marketing compartilhado de serviços, contatos aumentados com clientes e maior informação pública.

Tais coalizões também serão projetadas para promulgar os elevados padrões de proteção física de material nuclear, segurança, controle/garantia de qualidade e estar conforme com as tendências globais de não proliferação. Goldman *et al.* (2007) detalham os benefícios a serem obtidos decorrentes dessas coalizões.

Ridikas *et al.* (2011) discutem as atividades relacionadas às redes e coalizões de reatores de pesquisa realizadas pela IAEA nos dois anos anteriores. Eles descrevem o conceito dos reatores de pesquisa como Centros Internacionais ou Regionais de Excelência, como devem ser elaborados os planejamentos estratégicos e de negócios para os reatores de pesquisa e como devem ser preparados os indicadores de desempenho desses reatores.

Ridikas *et al.* (2010) apresentam atividades para aprimorar a utilização e aplicação dos reatores de pesquisa. Eles descrevem que mais de 70% dos reatores de pesquisa em operação têm mais de quarenta anos e manifestam a importância de realização de atividades de modernização, reforma e gestão do envelhecimento desses reatores. Também, relatam que cerca de 50% dos reatores de pesquisa em operação são subutilizados. Estimam que dos 244 reatores em operação hoje no mundo, somente de 100 a 150 vão estar em operação em 2020. Também, relatam que a redução de combustível com urânio altamente enriquecido usado pelos reatores de pesquisa, incluindo o seu transporte aos países de origem é uma das principais atividades da IAEA. As atividades da IAEA para reatores de pesquisa são implementadas principalmente por dois programas: (1) reatores de pesquisa que cobre questões de combustível, incluindo infraestrutura, operação e manutenção, e (2) segurança de reatores de pesquisa que cobre aspectos de segurança dos reatores de pesquisa.

Wheeler e Gawthrop (2010) descrevem o projeto de transformação do complexo nuclear de pesquisa V (TA-V) do Sandia National Laboratories (SNL), constituído por dois reatores de pesquisa, uma instalação de irradiação gama e outras instalações para a avaliação dos efeitos da radiação em materiais nucleares. O planejamento estratégico desse projeto tinha como metas transformar o TA-V em modelos de liderança e melhoria contínua, exibir as características culturais da equipe, diversificar a base de clientes, estabelecer e manter um relacionamento positivo com todas as partes interessadas, manter e melhorar as instalações nucleares sustentáveis.

Perrotta e Obadia (2011) apresentam o estágio de desenvolvimento do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). Este reator substituirá o Reator IEA-R1 que já está em operação há cinquenta anos e poderá operar somente por mais dez anos. Ao mesmo tempo, o Programa Nuclear Brasileiro (PNB) em sua revisão atual prevê o aumento de atividades de pesquisa e desenvolvimento em apoio ao programa de geração de energia nuclear, bem como o aumento em aplicações da tecnologia nuclear em medicina, indústria, agricultura e meio ambiente. O RMB concluiu as etapas do projeto de concepção e básico e aguarda recursos para avançar no projeto de detalhamento do prédio do reator.

Ridikas (2015) descreve como desenvolver um planejamento estratégico para a efetiva utilização de reatores de pesquisa, conforme diretrizes estabelecidas por IAEA (2012). Ele afirma que sustentabilidade em longo prazo de muitos reatores de pesquisa depende do desenvolvimento e da implementação de um planejamento estratégico eficaz e viável para sua utilização. Ele sugere uma abordagem modular de um plano estratégico para um reator de pesquisa, conforme mostrado na Figura 3.

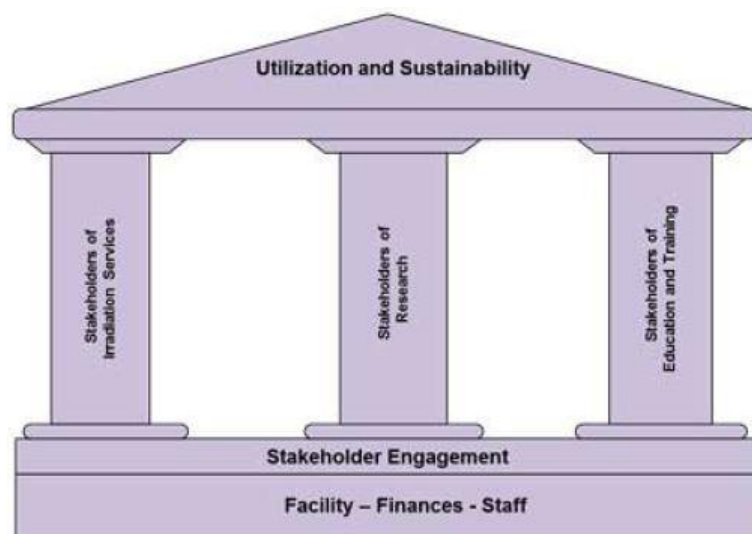


Figura 3 – Abordagem modular de um plano estratégico para um reator de pesquisa (RIDIKAS, 2015).

5.10 Projeto de produto sustentável

Guyon (2007) descreve a reforma e perspectiva para o reator do Institut Laue-Langevin (ILL) na França. Por meio dessa reforma, foi possível aumentar a segurança, qualidade tecnológica e desempenho experimental deste reator. O reator do ILL, após a reforma, prolongou sua vida útil por mais vinte anos, assegurando um fluxo de nêutrons confiável para a comunidade científica.

Saxena (2009) descreve as reformas realizadas no Reator de Pesquisa IEA-R1, dentro das instalações o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), em São Paulo. As reformas foram realizadas durante trinta anos, dos anos 70 até o ano 2000. As reformas foram realizadas gradativamente ao longo dos anos, até finalmente serem concluídas em 1997. Saxena (2009) relata que os programas de reforma e modernização para pequenos reatores de pesquisa deve ser uma atividade contínua, onde pequenas etapas devem ser tomadas para melhorar o desempenho do reator com orçamentos moderados e períodos de paralisação mais curtos, ao invés de programas muito extensos de reforma que requerem grandes recursos financeiros e longos tempos de desligamento.

Lyric *et al.* (2013) fazem um estudo sobre a queima ideal do reator de pesquisa TRIGA Mark II da Comissão de Energia Atômica de Bangladesh (BAEC). Uma estratégia de queima ótima de combustível foi pesquisada para o núcleo deste reator, onde três regimes de carregamento foram inspecionados em termos da extensão da vida do núcleo, economia na queima e segurança.

Lobach (2014) descreve o conceito utilizado para a renovação do Reator WWR-M, localizado em Kiev, Ucrânia. O conceito de renovação é baseado em soluções técnicas, que garantem a manutenção dos parâmetros operacionais do reator ao nível adequado e o nível de segurança em conformidade com a legislação nacional e as recomendações internacionais. O elemento-chave da renovação é a substituição do vaso do reator. Com isso pretende-se aumentar a vida útil do reator em 40 ou 50 anos.

Ramli *et al.* (2014) descrevem a reforma do Reator de Pesquisa Triga Mark II PUSPATI na Malásia. Eles fornecem os detalhes de projeto, instalação, teste e comissionamento da reforma. O sistema de resfriamento foi parcialmente modernizado, por meio da instalação de trocadores de calor e bombas de maior capacidade. Válvulas manuais foram trocadas por automáticas com acesso pela sala de controle.

Sanda (2014) descreve a conversão para urânio de baixo enriquecimento e modernização dos sistemas relacionados à segurança do reator de pesquisa Triga do Instituto de Pesquisa Nuclear em Pitesti, Romênia. Por meio dessa reforma, pretendeu-se aumentar a operação segura do reator, sua competitividade conforme requisitos e melhorar seu desempenho, de modo a atender os requisitos das partes interessadas.

Stander *et al.* (2014) descrevem a substituição do refletor de berílio no reator de pesquisa SAFARI-1, localizado em Pelindaba, África do Sul. Isso foi necessário para diminuir os riscos envolvidos com a quebra ou deformação de elementos no núcleo do SAFARI-1. Foi elaborado um procedimento para substituição do refletor, baseado em cálculos neutrônicos do núcleo e um plano de teste. Um programa de gestão do refletor assegurará que os registros dos elementos do refletor são mantidos e usados para gerenciar o uso de cada elemento otimamente

5.11 Reciclagem

Nieves *et al.* (1995) fazem uma avaliação da reciclagem de sucata de metais radioativos com relação aos riscos de saúde humana, impactos ambientais e sociopolíticos, sua disposição final e reposição.

Skea e Cartwright (1997) relatam sua experiência com a recuperação de urânio a partir de sucatas e misturas de urânio reciclado provenientes de reatores de teste de materiais. Eles descrevem a operação da instalação de conversão de urânio Dounreay (D1203).

Bouchardy e Pauty (1998) descrevem os processos de reciclagem e conversão de inventários de urânio em várias formas e níveis de enriquecimento na instalação COGEMA Pierrelatte. A reutilização destes materiais como combustível de reator de pesquisa, reatores experimentais ou como matéria-prima para os laboratórios de pesquisa requer uma mudança na forma química e/ou uma alteração do nível de enriquecimento e/ou uma melhoria na pureza química. IAEA (2000) fornece uma abordagem de decisão linear para a aceitação de reciclagem ou reúso de materiais e componentes provenientes de rejeitos de instalações do ciclo do combustível nuclear, conforme mostrado na Figura 4.

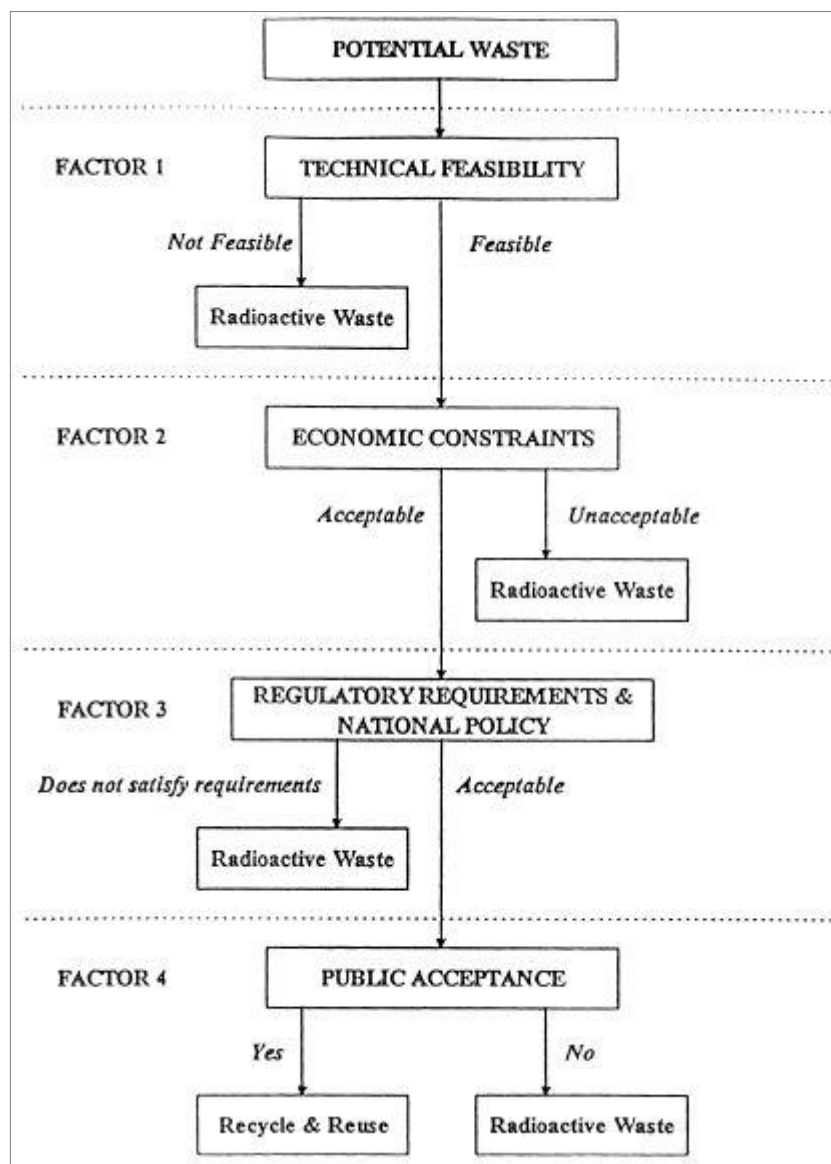


Figura 4 - Abordagem de decisão linear para a aceitação de reciclagem ou reúso de materiais nucleares (IAEA, 2000).

5.12 Responsabilidade social corporativa

Abramenkovs (2009) descreve o papel das partes interessadas na preparação, atualização e implementação do plano de descomissionamento do Reator de Pesquisa Salaspils, localizado próximo a Riga, Letônia. São discutidas as participações das autoridades municipais, e o apoio fornecido pela IAEA e pelo Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos. Abramenkovs (2009) discute a cooperação entre as partes interessadas e mostra que uma boa coordenação de todas as atividades e a utilização dos serviços das partes interessadas podem reduzir significativamente as despesas totais do projeto.

Heldt (2014) discute fundamentos do movimento de responsabilidade social corporativa, no contexto de governança do setor nuclear. Ele analisa como a responsabilidade social corporativa pode contribuir com o aumento da aceitabilidade das atividades nucleares e como deve ser estabelecida uma estrutura regulatória para o aumento da segurança nuclear e da proteção do meio ambiente. Ele também analisa como devem ser definidos os incentivos corporativos, com base na responsabilidade social e governança corporativa.

5.13 Valor de mercado de iniciativas ambientais e sociais

Gawande *et al.* (2012) fazem um estudo sobre a depreciação de valores de propriedades situadas ao longo de um caminho de transporte ferroviário de combustível nuclear radioativo gasto no condado de Charleston, Carolina do Sul, Estados Unidos. Eles avaliam como ocorre esta depreciação, qual o escopo geográfico e se esse problema é permanente ou transitório. Eles ainda apresentam o posicionamento do governo dos Estados Unidos sobre o assunto.

6 Conclusões e Considerações Finais

O objetivo principal deste artigo foi identificar na literatura operações sustentáveis realizadas por organizações operadoras de reatores de pesquisa e constituir uma revisão teórica sobre o assunto.

Fizemos uma abordagem teórica sobre as operações sustentáveis e os reatores de pesquisa, de modo a firmar nosso conceito sobre esses assuntos.

Realizamos uma pesquisa bibliográfica, utilizando metodologia desenvolvida por Seuring e Müller (2008), possibilitando a categorização analítica das referências bibliográficas aceitas para o nosso estudo.

Na pesquisa bibliográfica, utilizamos bases de dados acadêmicas (Google Scholar, *Web of Science*, *Elsevier e Scopus*) e nucleares (INIS), e palavras-chaves estruturadas para o tema em estudo.

Dentro da dimensão estrutural "operações sustentáveis", tomamos como base as categorias analíticas estabelecidas pelo *Journal of Operations Management* (2016) que recebe artigos para publicação em seu departamento de gestão de operações sustentáveis. A partir dos resultados obtidos, foi necessário atribuir novas categorias analíticas àquelas inicialmente estabelecidas.

Os resultados foram satisfatórios, as referências foram classificadas conforme o tipo de publicação, ano de publicação e categoria analítica relacionada.

Notamos que algumas categorias analíticas preestabelecidas não foram contempladas com nenhuma referência: gestão da cadeia de suprimento sustentável, cadeias de suprimento fechadas, compra sustentável e simbiose industrial. Isso caracteriza uma lacuna na literatura e pode se transformar em oportunidades para o desenvolvimento de novos estudos e trabalhos sobre esses assuntos.

Por outro lado, percebemos que a categoria analítica "gestão do envelhecimento" foi a que contemplou maior número de referências. Analisando esta categoria analítica, percebemos que as operações sustentáveis em reatores de pesquisa estão diretamente relacionadas à manutenção da segurança de operação desses reatores, por meio de sua modernização e renovação de sistemas, estruturas e componentes.

A categorização analítica das referências aceitas para o estudo possibilitou a estruturação de uma revisão teórica sobre o tema em estudo. Esta forma de abordagem teórica pode ser utilizada por cientistas e pesquisadores na área de reatores de pesquisa para aprimorar seus processos com relação à gestão de operações sustentáveis.

Trabalhos futuros podem e devem ser elaborados de modo a contribuir para um melhor entendimento sobre o assunto.

Embora a gestão de operações sustentáveis seja uma realidade em diversos setores da economia, na área de reatores de pesquisa essa abordagem é muito recente e pouco divulgada. Os resultados e conclusões alcançados com este trabalho poderão servir de referência no estabelecimento de metas de gestão de operações sustentáveis para os reatores de pesquisa brasileiros em operação e também ao empreendimento Reator Multipropósito Brasileiro (RMB).

A proposta descrita neste artigo é inédita, nenhum estudo ou abordagem semelhante foi encontrado na literatura.

7 Referências

7.1 Referências obtidas na pesquisa bibliográfica e categoria analítica relacionada

ABRAMENKOV, A. The Role of Stakeholders in the Decommissioning of Salaspils Research Reactor. In: 2009 WASTE MANAGEMENT SYMPOSIUM - WM2009/WM'09, 2009, Phoenix, AZ, USA. **HLW, TRU, LLW/ILW, Mixed, Hazardous Wastes and Environmental Management - Waste Management for the Nuclear Renaissance**. Phoenix, AZ, USA: WM Symposia, 2009. p. 1 - 9. Disponível em: <<http://www.wmsym.org/archives/2009/pdfs/9109.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2016.

[**responsabilidade social corporativa**]

ANDERSSON, Kjell et al. **Nuclear Safety in Perspective**. Roskilde, Denmark: Nordic Nuclear Safety Research (NKS), 2002. 74 p. Disponível em: <http://orbit.dtu.dk/fedora/objects/orbit:89331/datastreams/file_7711927/content>. Acesso em: 28 jul. 2016. [**legislação ambiental relacionada às operações**]

AUSTRALIAN NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY ORGANISATION - ANSTO. **Proposed replacement nuclear research reactor at Lucas Heights Science and Technology Centre, NSW**: Statement of evidence to the Parliamentary Standing Committee on Public Works. Lucas Heights, NSW, Australia: ANSTO, 1999. 101 p. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/30/043/30043592.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. [**gestão do envelhecimento**]

BELGIAN NUCLEAR RESEARCH CENTER SCK-CEN. **Scientific Report 2006**. Mol, Belgium: Belgian Nuclear Research Center, 2007. 146 p. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/105/38105142.pdf?r=1>. Acesso em: 28 jul. 2016. [**planejamento estratégico para a sustentabilidade**]

BOUCHARDY, S.; PAUTY, J. F. Highly enriched uranium recycle and conversion facility at COGEMA Pierrelatte. **Nuclear Engineering and Design**. Amsterdam, p. 107-109. 26 mar. 1998. Disponível em: <<http://www-sciencedirect-com.ez67.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0029549397002100>>. Acesso em: 28 jul. 2016. [**reciclagem**]

BOYD, F. C. **Licensing and safety of nuclear power plants in Canada**. Ottawa, Canada: Atomic Energy Control Board, 1981. 19 p. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/13/703/13703817.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. [**legislação ambiental relacionada às operações**]

CARVALHO, P. V. R.. Modernization of Safety and Control Instrumentation of the IEA-R1 Research Reactor. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment**: IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 29-42. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. [**gestão do envelhecimento**]

CHILIAN, C.; KENNEDY, G.. Self-sustainability of a research reactor facility with neutron activation analysis. In: RRFM 2010: INTERNATIONAL TOPICAL MEETING ON RESEARCH REACTOR FUEL MANAGEMENT (RRFM), 14., 2010, Marrakech.

Transactions. Brussels: European Nuclear Society, 2010. p. 184 - 188. Disponível em: <<http://www.euronuclear.org/meetings/rrfm2010/transactions/RRFM2010-transactions.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

CIOCANESCU, M. Ageing of research reactors. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOPICAL ISSUES IN NUCLEAR SAFETY, 2001, Vienna. **Contributed papers.** Vienna: IAEA, 2001. p. 225 - 229. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/32/046/32046347.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

CIOCANESCU, M.; PAUNOIU, C.; TOMA, C.; PREDĂ, M.; IONILA, M. Improvement of research reactor sustainability. In: RRFM 2010: INTERNATIONAL TOPICAL MEETING ON RESEARCH REACTOR FUEL MANAGEMENT (RRFM), 14., 2010, Marrakech. **Transactions.** Brussels: European Nuclear Society, 2010. p. 194 - 198. Disponível em: <<http://www.euronuclear.org/meetings/rrfm2010/transactions/RRFM2010-transactions.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2016. **[planejamento estratégico para a sustentabilidade]**

Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN (Org.). **National report of Brazil 2008 for the 3rd review meeting of the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management.** Rio de Janeiro, Brasil: CNEN, 2008. 135 p. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/116/39116293.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[legislação ambiental relacionada às operações]**

CSULLOG, G. W.; SELLING, H.; HOLMES, R.; BENITEZ, J.C. The Net Enabled Waste Management Database in the context of an indicator of sustainable development for radioactive waste management: IAEA-CN-90/76. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **International conference on issues and trends in radioactive waste management.** Vienna: IAEA, 2002. p. 401-408. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/34/016/34016316.pdf?r=1>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[indicadores de sustentabilidade]**

D'ARCY, A. J.; STANDER, H. J.; VLOK, J. W. H. An Ageing Management Programme for the SAFARI-1 Research Reactor. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment:** IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 130-141. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

DAIE, J. Modernization and Refurbishment of the RECH-1 Reactor. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment:** IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 44-47. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

DEBREUILLE, M. F.; DEVEZEAUX DE LAVERGNE, J. G.; KAPLAN, P.; NG, S.; VINOCHÉ, R. Used nuclear fuel treatment in the 21st century. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TOPICAL ISSUES IN NUCLEAR INSTALLATION SAFETY: CONTINUOUS IMPROVEMENT OF NUCLEAR SAFETY IN A CHANGING WORLD,

2004, Beijing, China. **Book of Contributed Papers**. Beijing, China: IAEA, 2004. p. 26 - 29. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/36/052/36052684.pdf>.

Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão de resíduos]**

DEVGUN, J. **Managing Nuclear Projects**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2013. 384 p. Disponível em:

<<https://books.google.com.br/books?id=YfxDAgAAQBAJ&lpg=PP1&ots=Akb4nv9HS7&dq=%3DManAging+nuclear+projects&hl=pt-BR&pg=PP1#v=onepage&q=ManAging+nuclear+projects&f=false>>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão de resíduos]**

FRANKE, B.; VOGT, R.. **Assessment of the Environmental Impacts of Decontamination and Decommissioning Activities for Research Reactors at the Brookhaven National Laboratory**. Heidelberg, Germany: Ifeu, 2004. 26 p. Disponível em:

<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.542.6226&rep=rep1&type=pdf>>.

Acesso em: 28 jul. 2016. **[análise do ciclo de vida]**

GAWANDE, K.; JENKINS-SMITH, H.; YUAN, M. The long-run impact of nuclear waste shipments on the property market: Evidence from a quasi-experiment. **Journal of Environmental Economics and Management**. Amsterdam, p. 56-73. 20 jul. 2012.

Disponível em: <http://ac-els-cdn-com.ez67.periodicos.capes.gov.br/S0095069612000666/1-s2.0-S0095069612000666-main.pdf?_tid=31fac11a-552e-11e6-a2ce-00000aacb35f&acdnt=1469756938_bab6cb4442c3fed670f0c970a1b61c1a>.

Acesso em: 28 jul. 2016. **[valor de mercado de iniciativas ambientais e sociais]**

GHO, C. J. Factibilidad de certificación ISO 14000 del Reactor nuclear RA-6 del Centro Atómico Bariloche. In: REUNION ANUAL DE LA ASOCIACION ARGENTINA DE TECNOLOGIA NUCLEAR (AATN), 30., 2003, Buenos Aires. **Actas**. Buenos Aires: AATN, 2003. p. 1 - 14. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/35/070/35070257.pdf?r=1>

. Acesso em: 28 jul. 2016. **[certificação ISO 14000]**

GOLDMAN, I.; ADELFRANG, P.; ATGER, A.; ALLDRED, J.; MOTE, N. Developing research reactor coalitions and centres of excellence. In: INTERNATIONAL TOPICAL MEETING, 11., 2007, Lyon, France. **Research Reactor Fuel Management (RRFM) and Meeting of the International Group on Reactor Research (IGORR)**. Brussels, Belgium: European Nuclear Society, 2007. p. 53 - 58. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/023/39023398.pdf?r=1>

. Acesso em: 28 jul. 2016. **[planejamento estratégico para a sustentabilidade]**

GUYON, H. Refurbishment and perspective for ILL. In: INTERNATIONAL TOPICAL MEETING, 11., 2007, Lyon, France. **Research Reactor Fuel Management (RRFM) and Meeting of the International Group on Reactor Research (IGORR)**. Brussels, Belgium: European Nuclear Society, 2007. p. 24 - 32. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/023/39023398.pdf?r=1>

. Acesso em: 28 jul. 2016. **[projeto de produto sustentável]**

HELDT, T. Corporate Social Responsibility (CSR) and its relevance for the nuclear sector. In: (ED.), Rafael Mariano Manóvil. **XXI AIDN / INLA Congress: Nuclear Law in Progress**,

Derecho Nuclear en Evolución. Buenos Aires: Legis Argentina S.A., 2014. p. 135-155.

Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/092/46092732.pdf?r=1>

. Acesso em: 28 jul. 2016. **[responsabilidade social corporativa]**

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Annual Report 2002:**

GC(47)/2. Vienna: IAEA, 2003. 151 p. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/35/044/35044333.pdf?r=1>

. Acesso em: 28 jul. 2016. **[Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: finanças para gestão de operações]**

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Planning, managing and organizing the decommissioning of nuclear facilities: lessons learned: IAEA-TECDOC-1394.** Vienna: IAEA, 2004. 111 p. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/35/068/35068289.pdf?r=1>

. Acesso em: 28 jul. 2016. **[Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: finanças para gestão de operações]**

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project Experiences in Research Reactor Ageing Management, Modernization and Refurbishment: IAEA-**

TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. Disponível em: <[http://www-](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf)

pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Recycle and reuse of materials and components from waste streams of nuclear fuel cycle facilities: IAEA-TECDOC-**

1130. Vienna: IAEA, 2000. 56 p. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/31/004/31004098.pdf?r=1>

. Acesso em: 29 jul. 2016. **[reciclagem]**

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Return of Research Reactor Spent Fuel to the Country of Origin: Requirements for Technical and Administrative Preparations and National Experiences: IAEA-TECDOC-1593.** Vienna: IAEA, 2008. 349

p. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1593_web.pdf>.

Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão de resíduos]**

JACKSON, D.; MARSHALL, E.; SIDERIS, T.; VASA-SIDERIS, S. Uranium management activities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NUCLEAR ENGINEERING (ICONE), 9., 2001, Nice, France. **Proceedings.** Nice, France: IAEA, 2001. p. 1 - 8.

Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/33/003/33003403.pdf?r=1>

. Acesso em: 28 jul. 2016. **[Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: marketing para gestão de operações]**

KAMOON, A.; ALI, A. Ageing Management Based Maintenance at ETRR-II. In:

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment: IAEA-**

TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 60-66. Disponível em: <[---

XVIII ENGEMA Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente](http://www-</p></div><div data-bbox=)

pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

KOMBELE, D. G.; KANKUNKU-K, P.; MWAMBA, V. L.; KOKAKOZETE, J. I.; KIAMANA, M. M.; LUKIBANZA, J. W.; KALALA, A. T.; MFINDA, D. M.; BILULU, T. L.; ILUNGA, S. T. Ageing Management of the Kinshasa Trico II Research Reactor Components and Structures: A Case Study of the 5 Tonne Overhead Travelling Crane and the Ventilation System Inlet and Outlet. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment: IAEA-TECDOC-1748**. Vienna: IAEA, 2014. p. 53-59. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

KONOPASKOVA, S.; NACHMILNER, L. Risk assessment of institutional waste disposal systems in the Czech Republic. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE SAFETY OF RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT, 2000, Cordoba, Spain. **Contributed papers**. Vienna: IAEA, 2000. p. 70 - 74. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/31/016/31016201.pdf?r=1>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[legislação ambiental relacionada às operações]**

KRALJ, M.; ZELEZNIK, N. Operational Programs for National Program on Radioactive Waste and Spent Fuel Management in 2012-2015. In: INTERNATIONAL NUCLEAR ENERGY FOR NEW EUROPE CONFERENCE, 21., 2012, Ljubljana, Slovenia. **Nuclear Energy for New Europe**. Ljubljana: Nuclear Society of Slovenia (NSS), 2012. p. 1201.1 - 1201.8. Disponível em: <http://djs.si/proc/nene2012/Publication_datoteke/Proceedings/1201.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[legislação ambiental relacionada às operações]**

KUTLU, O. Y. Ageing Management and Modernization of TR-2 Research Reactor. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment: IAEA-TECDOC-1748**. Vienna: IAEA, 2014. p. 156-160. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

LEVINE, S. H. Incorporating the operation of a small research reactor facility to support a national nuclear power. In: ANNUAL MEETING OF THE ISRAEL NUCLEAR SOCIETIES, 11., 1983, Haifa, Israel. **Safety and Siting Problems of Nuclear Power Reactors in a Small Country**. Haifa, Israel: Technion Israel Institute of Technology, 1983. v. 11, p. 10 - 15. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/16/011/16011921.pdf?r=1>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: estratégia para gestão de operações]**

LEVINE, S. H.; KENNEY, E. S. Incorporating the operation of a small research reactor facility to support a national nuclear power program. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Technical committee meeting on research reactor activities in support of national nuclear programmes: IAEA-TECDOC-409**. Vienna: IAEA, 1987. p.

215-225. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/18/086/18086246.pdf?r=1>

. Acesso em: 28 jul. 2016. **[Abordagens interdisciplinares de pesquisa sobre sustentabilidade: estratégia para gestão de operações]**

LOBACH, Y. N. Concept for the WWR-M Reactor Renovation. **International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering**. Terre Haute, IN, USA, p. 26-33. mar. 2014.

Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/271504255_Concept_for_the_WWR-M_Reactor_Renovation>.

Acesso em: 28 jul. 2016. **[projeto de produto sustentável]**

DI LUCH, A.; FABBRI, S.; VEGA, G.; VERSACI, R. Life management programme for long term operation of reactors and nuclear facilities: Ageing management of research reactors in Argentina. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment: IAEA-TECDOC-1748**. Vienna: IAEA, 2014. p. 5-13. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>.

Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

LYRIC, Z. I.; MAHMOOD, M. S.; MOTALAB, M. A.; KHAN, J. H. Optimum burnup of BAEC TRIGA research reactor. **Annals of Nuclear Energy**. Amsterdam, p. 225-229. maio 2013. Disponível em: <http://ac-els-cdn-com.ez67.periodicos.capes.gov.br/S0306454912004999/1-s2.0-S0306454912004999-main.pdf?_tid=eddc4858-551b-11e6-be5c-00000aacb361&acdnat=1469749092_a1d662ee937f907615c19ae3a7f69a45>.

Acesso em: 28 jul. 2016. **[projeto de produto sustentável]**

MATTOS, L. A. T.; MELDONIAN, N. L.; MADI FILHO, T. Environmental management systems tools applied to the nuclear fuel center of IPEN. In: 2013 INTERNATIONAL NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE - INAC 2013, 6., 2013, Recife, Pe, Brasil. **Anais**. Rio de Janeiro: ABEN, 2013. p. 1 - 8. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/45/091/45091428.pdf?r=1> . Acesso em: 28 jul. 2016. **[legislação ambiental relacionada às operações]**

NIEVES, L. A.; CHEN, S. Y.; KOHOUT, E. J.; NABELSSI, B.; TILBROOK, R. W.; WILSON, S. E. **Evaluation of radioactive scrap metal recycling**. Argonne, IL, USA: Argonne National Laboratory, 1995. 474 p. Disponível em:

<http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/27/048/27048468.pdf?r=1> . Acesso em: 28 jul. 2016. **[reciclagem]**

NITISWATI, S.; SYARIP; TJIPTONO, T.; WANTANA. Ageing Management Programme: An Experience of In-Service Inspection of the Kartini Heat Exchanger. In:

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment: IAEA-TECDOC-1748**. Vienna. 2014. p. 85-88. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>.

Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

OBADIA, I. J.; PERROTTA, J. A. A sustainability analysis of the Brazilian Multipurpose Reactor project. In: RRFM 2010: INTERNATIONAL TOPICAL MEETING ON RESEARCH REACTOR FUEL MANAGEMENT (RRFM), 14., 2010, Marrakech. **Transactions**. Brussels: European Nuclear Society, 2010. p. 311 - 315. Disponível em: <<http://www.euronuclear.org/meetings/rrfm2010/transactions/RRFM2010-transactions.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2016. **[análise de sustentabilidade]**

PERROTTA, J. A. Status of Research Reactor Utilization in Brazil. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Research Reactor Application for Materials under High Neutron Fluence**: IAEA-TECDOC-1659. Vienna: IAEA, 2011. Cap. 4. p. 21-29. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1659_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

PERROTTA, J. A.; OBADIA, I. J. The RMB project development status. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH REACTORS, 2011, Rabat, Morocco. **Safe Management and Effective Utilization**. Viena: IAEA, 2012. p. 1 - 11. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1575_CD_web/datasets/papers/C6Perrotta.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[planejamento estratégico para a sustentabilidade]**

RAMANATHAN, L. V. Ageing Management Programme for the IEA-R1 Reactor in São Paulo, Brazil. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment**: IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 43. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

RAMLII, S.; ZAKARIA, M. F.; MASOOD, Z. Refurbishment of the Primary Cooling System of the Puspiti Triga Reactor. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment**: IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 89-99. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[projeto de produto sustentável]**

RIDIKAS, D.; ADELFFANG, P.; ALLDRED, K.; FERRARI, M. New Opportunities for Enhanced Research Reactor Utilization through Coalitions and Networks. In: RRFM (EUROPEAN RESEARCH REACTOR CONFERENCE) 2011, 15., 2011, Rome, Italy. **International Topical Meeting on Research Reactor Fuel Management (RRFM)**. Brussels, Belgium: European Nuclear Society, 2011. p. 114 - 119. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/043/42043841.pdf?r=1>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[planejamento estratégico para a sustentabilidade]**

RIDIKAS, D.; MANK, G.; ADELFFANG, P.; ALLDRED, K.; BRADLEY, E. E.; GOLDMAN, I. N.; KHVAN, A.; PELD, N. The IAEA activities towards enhanced utilization, sustainability and applications of research reactors. In: RRFM 2010: INTERNATIONAL TOPICAL MEETING ON RESEARCH REACTOR FUEL MANAGEMENT (RRFM), 14., 2010, Marrakech. **Transactions**. Brussels: European Nuclear Society, 2010. p. 21 - 25. Disponível em:

<<http://www.euronuclear.org/meetings/rrfm2010/transactions/RRFM2010-transactions.pdf>>. Acesso em: 27 jul. 2016. **[planejamento estratégico para a sustentabilidade]**

RIDIKAS, D. Developing strategic plans for effective utilization of research reactors. **Ens News**. Brussels, Belgium, p. 1-8. maio 2015. Disponível em: <<https://www.euronuclear.org/e-news/e-news-48/strategic-plans.htm>>. Acesso em: 30 jul. 2016. **[planejamento estratégico para a sustentabilidade]**

SANDA, R. M. Research Reactor Conversion to LEU and Modernization of Safety Related Systems. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment**. Vienna: IAEA, 2014. p. 117-121. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[projeto de produto sustentável]**

SANTOS, G. R. T.; DURAZZO, M.; RIELLAB, H. G.; CARVALHO, E. F. U. Environmental concerns regarding a materials test reactor fuel fabrication facility at the Nuclear and Energy Research Institute – IPEN. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL RADIATION PROTECTION ASSOCIATION, 12., 2008, Buenos Aires. **Proceedings**. Buenos Aires: IRPA, 2008. p. 1 - 10. Disponível em: <<http://www.irpa12.org.ar/fullpapers/FP2646.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[legislação ambiental relacionada às operações]**

SAXENA, R. N. Modernization of the IEA-R1 research reactor to secure safe and sustainable operations for radioisotope production. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA (Ed.). **Research Reactor Modernization and Refurbishment: IAEA-TECDOC-1625**. Vienna: IAEA, 2009. p. 33-40. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1625_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[projeto de produto sustentável]**

SERRA, R. C. **Licenciamento de Reatores: Proposta de uma Estrutura Regulatória Integrada com Abordagem em Qualidade e Meio Ambiente para Reatores de Pesquisa no Brasil**. 2014. 125 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia Nuclear - Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/094/46094842.pdf?r=1>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[legislação ambiental relacionada às operações]**

SHARMA, R. C.; RAINA, V. K. An Overview of Ageing Management and Refurbishment of Research Reactors at Trombay. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment: IAEA-TECDOC-1748**. Vienna: IAEA, 2014. p. 67-84. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

SHEPITCHAK, A. Research Reactors of Ukraine. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment: IAEA-TECDOC-1748**. Vienna: IAEA, 2014. p. 161-170. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

SIKORIN, S. N.; POLAZAU, S. A.; LUNEU, A. N.; HRIGAROVICH, T. K. The Experience of Storage and Shipment for Reprocessing of HEU Nuclear Fuel Irradiated in the IRT-M Research Reactor and Pamir-630 Mobile Reactor. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project Experiences in Research Reactor Ageing Management, Modernization and Refurbishment**: IAEA-TECDOC-1748. Vienna. 2014. p. 23-28. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão de resíduos]**

SJÖBLOM, R.; LINDSKOG, S. Management of Intergenerational Environmental Liabilities: Example of Decommissioning of Nuclear Res. **International Journal of Sustainable Development and Planning**. Southampton, UK, p. 135-158. 29 jun. 2012. Disponível em: <<http://www.witpress.com/Secure/ejournals/papers/SDP070201f.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[legislação ambiental relacionada às operações]**

SKEA, D.; CARTWRIGHT, P. Recovery of uranium from manufacturing scraps and blending of recycled MTR uranium. In: EUROPEAN NUCLEAR SOCIETY (Org.). **RRFM '97: 1st. International topical meeting on research reactor fuel management**. Bruges, Belgium: European Nuclear Society, 1997. p. 15-20. Disponível em: <https://www.euronuclear.org/meetings/rrfm/pdf/RRFM_1997.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[reciclagem]**

STANDER, H. J.; DE KOCK, M.; VLOK, J. W. H.; STRYDOM, W. J.; D'ARCY, A. J.; BELAL, M. G. A. H. Replacement of the Core Beryllium Reflector in the SAFARI-1 Research Reactor. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment**: IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 142-149. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[projeto de produto sustentável]**

TIPPAYAKUL, C. Approach for Establishment of an Ageing Management Programme for Thai Research Reactor-1/Modification 1 (TRR-1/M1). In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment**: IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 150-155. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

WHEELER, D. M.; GAWTHROP, M. **SANDIA REPORT**: Technical Area V (TA-V) Transformation Project Close-Out Report. Albuquerque, NM, USA: Sandia National Laboratories, 2010. 54 p. Disponível em: <<http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2010/104717.pdf>>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[planejamento estratégico para a sustentabilidade]**

XIAO, H. Ageing management of CARR. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment**: IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 48-52. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

YOUNOUSSI, C. E.; NACIR, B.; BAKKARI, B. E.; BOULAICH, Y. Ageing Management in the CENM Triga Mark II Research Reactor. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Project experiences in research reactor ageing management, modernization and refurbishment**: IAEA-TECDOC-1748. Vienna: IAEA, 2014. p. 100-103. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/TE-1748_web.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2016. **[gestão do envelhecimento]**

7.2 Outras referências citadas no desenvolvimento do artigo

APICS. **APICS Operations Management Body of Knowledge Framework**. 3. ed. Chicago, IL, USA: APICS, 2011. 107 p. Disponível em: <<http://www.apics.org/docs/default-source/industry-content/apics-ombok-framework.pdf?sfvrsn=2>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Research Reactor Database**. Disponível em: <<http://nucleus.iaea.org/RRDB/RR/ReactorSearch.aspx?rf=1>>. Acesso em: 29 jul. 2016.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Specific Considerations and Milestones for a Research Reactor Project**: IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-5.1. Vienna: IAEA, 2012. 107 p. Disponível em: <www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1549_web.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO 14040**: Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Geneva, Switzerland: ISO, 2006. 20 p.

JOURNAL OF OPERATIONS MANAGEMENT: Sustainable Operations. Amsterdam, jul. 2016. Disponível em: <<http://www.journals.elsevier.com/journal-of-operations-management/sustainable-operations>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

KLEINDORFER, P. R.; SINGHAL, Kalyan; WASSENHOVE, Luk N. Sustainable operations management. **Production and operations management**, v. 14, n. 4, p. 482-492, 2005. Disponível em: <<http://www.icesi.edu.co/blogs/semillerosi3/files/2013/12/06-04-PK.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

SEURING, S.; MÜLLER, M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. **Journal of cleaner production**, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008. Disponível em: <<http://getcloser.dk/content/02-information/05-referencer/seuring-mueller-2008-from-a-literature-review-to-a-conceptual-framework-for-sustainable-supply-chain-management.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

SO, S.; PARKER, D.; XU, H. A conceptual framework for adopting sustainability in the supply chain. In: **ANZAM operations, supply chain and services management symposium**. ANZAM, 2012. p. 397-413. Disponível em: <http://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:276360/UQ276360_fulltext.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2016.

TERREMOTO, L. A. A. **Disciplina TNR5764 Fundamentos de Tecnologia Nuclear Reatores**. 2. ed. São Paulo: IPEN, 2004. 120 p. Disponível em: <<http://stoa.usp.br/turin/files/1/16586/TNR5764-AP.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2016.