

Estado da técnica em dosimetria – segmentos tecnológicos e aplicações

Adriana de Souza Medeiros Batista ^{1,2}

¹ Departamento de Anatomia e Imagem, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Alfredo Balena, 190, Santa Efigênia, 30130-100 – Belo Horizonte, MG, Brasil; ² Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, 31279-901 – Belo Horizonte, MG, Brasil.

E-mail: adriananuclear@yahoo.com.br

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo baseado em depósitos de patentes como recurso para identificação das tecnologias voltadas ao campo da dosimetria das radiações para uma visão do estado da técnica. Teve por objetivo fazer uma análise de portfólios de patentes para delineamento de um cenário de aplicações para os conhecimentos desenvolvidos na área. Foi realizado através de consulta utilizando o sistema de busca e análise *Questel Orbit* tendo como descritor a palavra “dosimetry” e suas semelhantes, por similaridade semântica. Os resultados são discutidos quanto aos principais depósitos, depositantes, evolução temporal, segmentos tecnológicos e cobertura geográfica para os anos entre 1999-2019.

Palavras-chave: dosimetria, patentes, sistemas dosimétricos, tecnologia.

Abstract: This work presents a study based on patent filings as a resource for identifying technologies aimed at the field of radiation dosimetry for a view of the state of the technique. It aimed to make an analysis of patent portfolios to outline an application scenario for the knowledge developed in the area. It was performed through consultation using the Questel Orbit search and analysis system having the word “dosimetry” and its similars as a descriptor, due to semantic similarity. The results are discussed regarding the main deposits, depositors, time evolution, technological segments and geographic coverage for the 1999-2019 years.

Keywords: dosimetry, patents, dosimetry systems, technology.

1. INTRODUÇÃO

O estado da arte em diferentes campos do conhecimento é uma definição de caráter bibliográfico que procura mapear e discutir produções acadêmicas, como um inventário do já construído e produzido sobre determinado tema (FERREIRA, 2002). Por outro lado, o estado da técnica se relaciona ao patenteamento de criações técnicas que garante ao seu titular o domínio tecnológico e apropriação dos

resultados obtidos a partir do processo inventivo. Trata-se de importante aspecto da produção de ciência vinculada à tecnologia e, assim, define produções em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Na prática, a um detentor de patente é assegurado excluir terceiros de explorá-la sem sua autorização (SALES, DE MAGALHÃES PORTO, 2011). Como um diferencial metodológico, a pesquisa através de banco de dados de patentes permite o estudo das tendências tecnológicas e das atividades P&D de um determinado setor (VINCENT, *et al.*, 2017). Neste sentido, auxilia na tomada de decisões a respeito dos investimentos em pesquisas voltadas a resolução de questões práticas de engenharia, entre outras questões técnicas, como no caso da dosimetria das radiações.

O uso pacífico das radiações incluem aplicações médicas, ambientais e industriais que demandam controle preciso da deposição de dose para produção dos efeitos esperados aos processos de irradiação. Com uso de diversas fontes e uma ampla faixa de energia envolvida, desde as baixas doses utilizadas em aplicações médicas até altas doses utilizadas na indústria, é necessário o desenvolvimento de diferentes sistemas e materiais, com propriedades específicas para cada aplicação (MATSUBARA, *et al.*, 2017). Assim, existe uma grande diversidade de dosímetros comerciais disponíveis, no entanto, não há individualmente um sistema dosimétrico de aplicação ampla, ou mesmo um totalmente desprovido de alguma limitação técnica, tal como o desvanecimento do sinal ao longo do tempo após a irradiação. Por isso, esforços contínuos são voltados ao desenvolvimento de materiais com propriedades dosimétricas e sistemas associados, dentro das diversas categorias existentes, sendo, portanto, uma área da ciência diretamente vinculada a uma aplicação técnica (DURAGKAR, *et al.*, 2019).

Assim, entende-se como estratégico o levantamento do cenário histórico e atual deste campo do conhecimento, como forma de acompanhamento e prospecção de tendências tecnológicas em dosimetria das radiações, do uso técnico de fenômenos que respondam de forma proporcional à dose depositada. É uma das formas de delimitar o interesse comercial por determinados segmentos tecnológicos, além de mapear as principais empresas dentro deste mercado, ampliando as perspectivas de aplicação para as pesquisas desenvolvidas. Auxilia no posicionamento dos atuantes na área tanto no desenvolvimento de pesquisas teóricas como experimentais, na produção de tecnologia, ou até mesmo como um agente dentro desta especialidade técnico-científica. Nesse sentido, um mapeamento tecnológico agrega informações relevantes aos estudos bibliográficos de cunho exclusivamente acadêmico, sendo o principal objetivo do presente trabalho o de contribuir para uma ampliação da visão deste campo de atuação, P&D. Trata-se, portanto, de uma análise de várias famílias de patentes relacionadas à dosimetria das radiações que dominaram as pesquisas e invenções nas últimas décadas, com ênfase nas propostas mais recentes.

2. METODOLOGIA

2.1. Sistema Questel Orbit

Questel Orbit é uma empresa da indústria da informação, provedor especial de serviços de informações de propriedade intelectual que detém uma posição de liderança nas áreas de patentes, bem como informações sobre marcas registradas. Tem uma coleção abrangente de bancos de dados de propriedade intelectual com campo de pesquisa por palavras-chave refinado, permitindo a busca

A figura 1 demonstra que a escolha do termo “dosimetry” foi efetiva para abranger, por similaridade, as tecnologias e aplicações relacionadas a este campo do saber, uma vez que resultou na extração de patentes envolvendo outros termos que ampliam assertivamente a consulta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados primeiramente quanto as principais empresas titulares de patentes na área de dosimetria das radiações, seguido pelos segmentos tecnológicos envolvidos. O papel do Brasil neste cenário internacional é apresentado em tópico que busca identificar a abrangência das patentes a diversos escritórios nacionais e o interesse no mercado brasileiro, através de requerimentos de proteção no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) – escritório nacional brasileiro.

3.1. Cenário das empresas titulares de patentes em dosimetria das radiações

A figura 2 apresenta as principais empresas titulares de patentes na área de dosimetria apresentadas na ordem em que foram extraídas pela busca que faz referência ao número de famílias de patentes.

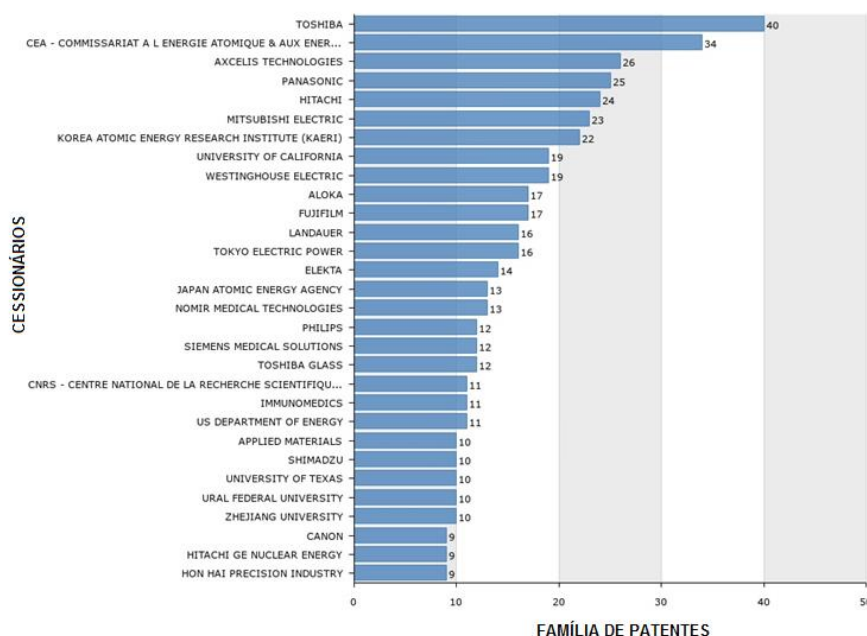


Figura 2. Principais empresas titulares de patentes em dosimetria.

O resultado da busca por empresas titulares de patentes em dosimetria resultou em uma coletânea das trinta principais, sendo quase um terço delas instituições de ensino e pesquisa. A figura 2 apresenta um gráfico que representa os requerentes que possuem o maior número de patentes em seus portfólios na área analisada. A princípio, dentre os destaques temos o aglomerado de empresas *Toshiba* e o órgão público de pesquisa francesa *Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA)*.

Por outro lado, é necessário avaliar a atividade recente destas instituições que pode ser obtida analisando o estado legal dos requerimentos de patentes, entre patentes em vigor, pendentes ou caducadas, no ano de 2019, dados apresentados na figura 3.

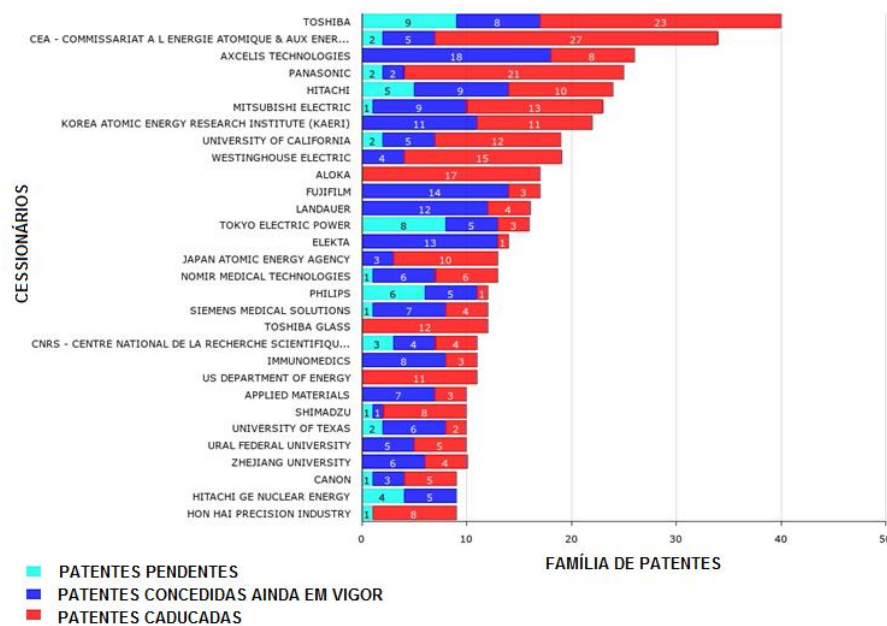


Figura 3. Relação do número de patentes pendentes, em vigor e caducadas em 2019 depositadas pelas principais empresas titulares.

O gráfico apresentado na figura 3 ilustra os principais requerentes no grupo de patentes analisadas de acordo com seu status legal. Esta informação permite identificar os requerentes que já se retiraram do setor (caducidade das patentes) e os que continuam ativos (pedidos pendentes e patentes concedidas ainda em vigor). Observa-se, por exemplo, que o órgão francês *CEA* tem no momento uma expressividade menor no campo da dosimetria que outras instituições públicas de pesquisa, tal como a coreana *Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)*. Dentre as instituições públicas observamos também a ausência de patentes ativas do instituto norte-americano *US Department of Energy*.

Dentre as empresas privadas a *Toshiba* continua em destaque, uma vez que possui o maior número de patentes entre pendentes (9) e em vigor (8). Adquiriu a *Westinghouse Electric* em 2006, que também aparece em destaque no campo da dosimetria, com patentes ativas, mas nenhuma em análise (NODA, *et al.*, 2007). Observa-se ainda que a *Panasonic*, que aparece entre as mais relevantes do setor, na verdade tem a maioria das patentes vencidas, sendo superada por muitas, como a sueca *Elekta*, e as japonesas *Hitachi* e *Fujifilm*. Entre estas últimas se destaca a *Hitachi* por apresentar 14 patentes entre pendentes (5) e ativas (9). Patentes que estão pendentes em geral são devido ao ano de sua primeira publicação, e por isso, em processo para serem concedidas. Neste sentido, patentes pendentes

se relacionam com atividade recente em desenvolvimento de invenções no campo estudado. Em comparação com a *Hitachi*, a *Fujifilm* apresenta 14 patentes ativas, mas nenhuma em análise. A *Hitachi* integrou parte da *Aloka* em 2007, associando-se na produção de tecnologias, o que explica a ausência de patentes ativas desta última (KO, PARK, 2016).

Tanto a *Toshiba* quanto a *Hitachi* e *Fujifilm*, por serem aglomerados de empresas, atuam em diversos segmentos do mercado e, no que se refere à dosimetria, depositam patentes tanto relacionadas com equipamentos de imagens médicas quanto na geração de energia em reatores nucleares, porém nem todas diretamente vinculadas ao monitoramento de exposições, e sim a componentes de sistemas (CROFT, WEAVER, 1992; RICHTER, *et al.*, 2011; MAGALHÃES, *et al.*, 2012; PLATE, *et al.*, 2015; GERKE, *et al.*, 2020). Por outro lado, a *Landauer* se apresenta como relevante por trabalhar exclusivamente oferecendo produtos e serviços em dosimetria (LAZO, 2002). Possui doze patentes em vigor, muito embora nenhuma pendente. Uma forma mais confiável de verificar quais destas empresas estão ativas em produção de inventos é verificar o primeiro ano de publicação das suas últimas patentes e esses dados são apresentados na figura 4.

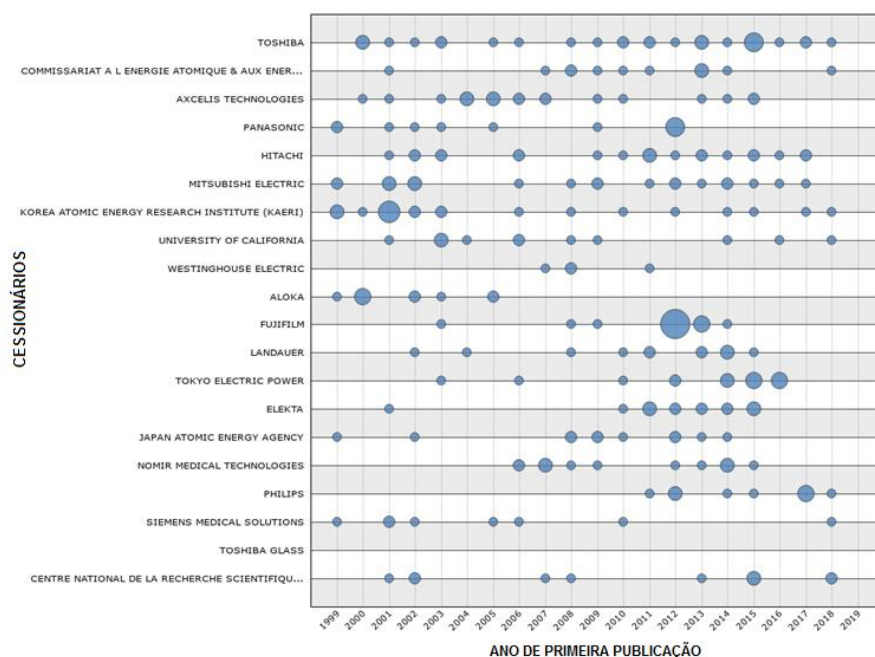


Figura 4. Requerimentos de patentes por ano da primeira publicação.

A figura 4 apresenta um gráfico que possibilita análise para identificação de novos requerentes e os que não estão mais envolvidos na área. Essas informações também ajudam a explicar o volume de famílias de patentes por cessionário através da observação do tamanho das bolhas (quanto maior a bolha, maior o volume de patentes envolvidas no período sinalizado). Observa-se atuação constante da *Toshiba* ao longo das últimas décadas, em especial o ano de 2015. Também se mostram constantes as

participações da *CEA*, *Axelis Technologies*, *Hitachi*, *Mitsubishi Electric* e *KAERI*. A *Panasonic* parece encerrar participação em 2012, com publicação de um bom volume de patentes, o que explica ainda estar vinculada como uma das principais inventoras em dosimetria. A *Fujifilm* teve pico de publicação em 2012, mas apresentou a última em 2014, o que explica não ter nenhuma patente em análise. Observa-se a entrada neste extrato do mercado da *Nomir Medical Technologies* em 2006 e da *Philips* em 2011; assim como o encerramento das participações da *Westinghouse Electric* em 2011 e *Aloka* em 2005, ambas incorporadas respectivamente pela *Toshiba* e *Hitachi* (NODA, *et al.*, 2007; KO, PARK, 2016). Para uma visão geral das empresas em destaque na área a figura 5 relaciona o número de citações das respectivas patentes por requerente.

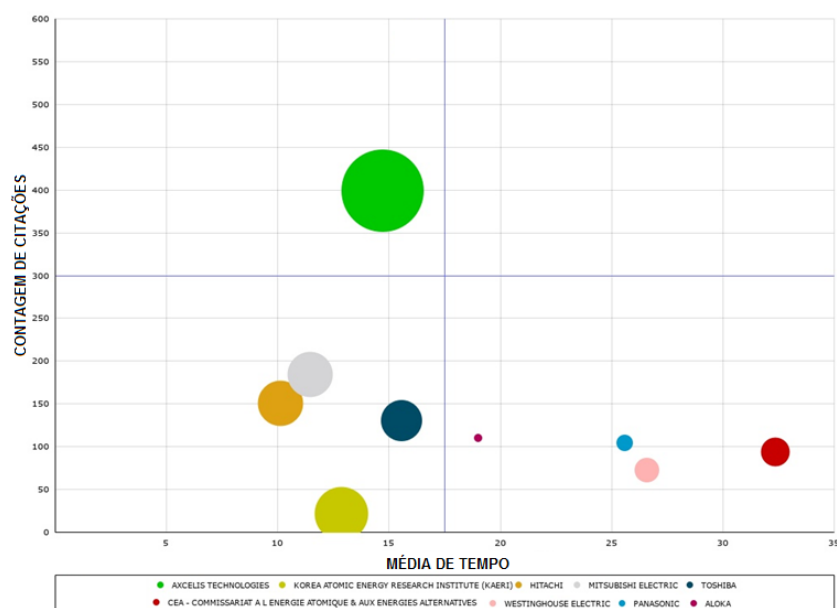


Figura 5. Comparação de portfólios das empresas titulares de patentes por citações.

A figura 5 apresenta um gráfico baseado em indicador de relevância e atuação no setor analisado por número de citações (eixo vertical) em relação à idade média do portfólio (eixo horizontal). O tamanho das bolhas corresponde ao número de famílias de patentes que têm pelo menos um membro da família como patente concedida. Quanto maior a bolha, maior o potencial de competição dentro do setor. Os portfólios posicionados mais à direita deste gráfico correspondem aos pioneiros na área estudada. Uma posição no canto superior direito indica um pioneiro com forte impacto no campo estudado (potencial bloqueador). As carteiras mais à esquerda deste gráfico são as carteiras dos recém-chegados. Uma posição no canto superior esquerdo corresponde a um participante com atuação recente que rapidamente se tornou importante no campo (forte impacto). Assim sendo temos como pioneiros na área *Aloka*, *Westinghouse Electric*, *Panasonic* e *CEA*. No entanto, apesar do pioneirismo, nenhuma destas apresenta hoje potencial bloqueador para as demais, uma vez que suas patentes não

restringem as demais. Como empresas recentes, mas grande competitividade no setor está *Toshiba*, *Hitachi*, *Mitsubishi Electric* e *KAERI* (CHOI, *et al.*, 2011). Com forte participação no segmento aparece a *Axcelis Technologies* que atua como indústria de desenvolvimento e fabricação de semicondutores através da tecnologia de implantação de íons, e, por isso, tendo participação de destaque em dosimetria de feixes de íons (GANDY, *et al.*, 2002; SANO, *et al.*, 2002; CURRENT, 2017).

Outro aspecto importante a ser avaliado, no que se refere às principais requerentes de patentes, é a interação entre elas para composição dos conhecimentos na área. Trata-se de identificar também se as empresas privadas interagem com as instituições de pesquisa públicas. Para tanto a figura 6 apresenta um mapa de citações entre as empresas.

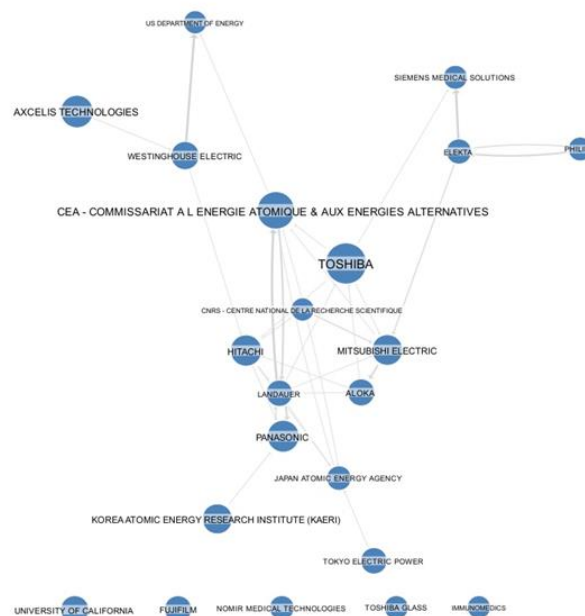


Figura 6. Mapa de citações entre empresas titulares de patentes.

O gráfico da figura 6 ilustra as citações entre as empresas titulares de patente. Essas informações identificam carteiras que têm fortes interações entre si. Um portfólio fortemente citado pela maioria dos participantes é provavelmente um portfólio pioneiro ou de bloqueio. O pioneirismo das empresas *Aloka*, *Westinghouse Electric*, *Panasonic* e *CEA* se confirmam, assim como atuação proeminente das empresas *Toshiba*, *Hitachi*, *Mitsubishi Electric*, uma vez que todas aparecem no centro das citações com grande interação entre elas e com as demais. Percebe-se uma boa interação entre instituições públicas de pesquisa e as empresas privadas, com destaque tanto para *CEA* quanto para o também francês *Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)*. Alguns atores se mostram mais isolados como a *Fujifilm* e a *Nomir Medical Technologies*. Interações isoladas são vistas entre algumas

empresas como a *Siemens* em relação a *Philips* e a *Elekta*. A relação entre a *Philips* e a *Elekta* é explicada por parceria em pesquisa para o desenvolvimento recente de um sistema acoplado de acelerador linear e ressonância magnética (TIJSSEN, *et al.*, 2019; HALL, *et al.*, 2019; KOOREMAN, *et al.*, 2019).

3.2. Segmentos tecnológicos

Para uma visão das tecnologias atualmente focos do interesse em P&D na área de dosimetria foi realizada uma busca por aplicações específicas dentro deste campo através da relação entre as patentes encontradas e o segmento tecnológico nas quais se insere, o resultado pode ser observado na figura 7.

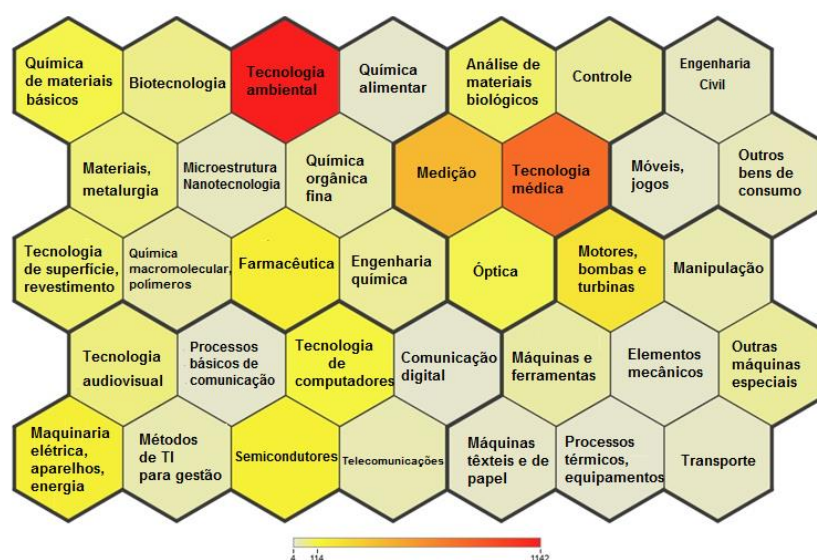


Figura 7. Relação entre as famílias de patentes e os segmentos tecnológicos conforme código da Classificação Internacional de Patentes (ICP).

A figura 7 é baseada nos códigos de Classificação Internacional de Patentes (IPC) contidos no conjunto de patentes em análise, onde os códigos IPC foram agrupados em 35 campos de tecnologia. Este gráfico ajuda a identificar a diversidade ou a especificidade do portfólio de patentes dos requerentes. Assim é possível identificar que os segmentos principais que têm fomentado o desenvolvimento de pesquisas na área de dosimetria são das aplicações médicas do uso da radiação e monitoramento da contaminação ambiental, com ênfase nesta última. No que se refere ao controle de exposições devido à contaminação ambiental, destaca-se as eventualmente provocadas pelas empresas geradoras de energia nuclear (GERKE, *et al.*, 2020). Neste sentido, sua expressividade atual pode estar vinculada ao acidente nuclear de *Fukushima Daiichi* em 2011. De fato, observamos publicações de patentes voltadas aos esforços em inovação de técnicas para medição e controle da contaminação ambiental decorrente do evento (DEVOLPI, 2016; CAI, *et al.*, 2014; MARIELLA, *et al.*, 2016).

Por outro lado, as categorias menos representadas também servem como meio de identificar outras aplicações potenciais das patentes, uma vez que são previstas ao menos no escopo das mesmas e, por isso, aparecem relacionadas aos campos. Assim, por exemplo, temos o uso direto de materiais semicondutores como dosímetros luminescentes (KAMAL, 2016) e materiais biológicos utilizados como dosímetros, baseados no fenômeno da luminescência opticamente estimulada (OSL) (YANAGIDA, *et al.*, 2019). Percebe-se a vasta gama de segmentos tecnológicos que se beneficiam de estudos voltados a dosimetria das radiações, envolvendo profissionais de diversas áreas do saber. Na figura 8 estão apresentados estes mesmos segmentos agora diretamente relacionados com as empresas titulares de patentes, para uma visão específica do interesse e campo de atuação das mesmas.

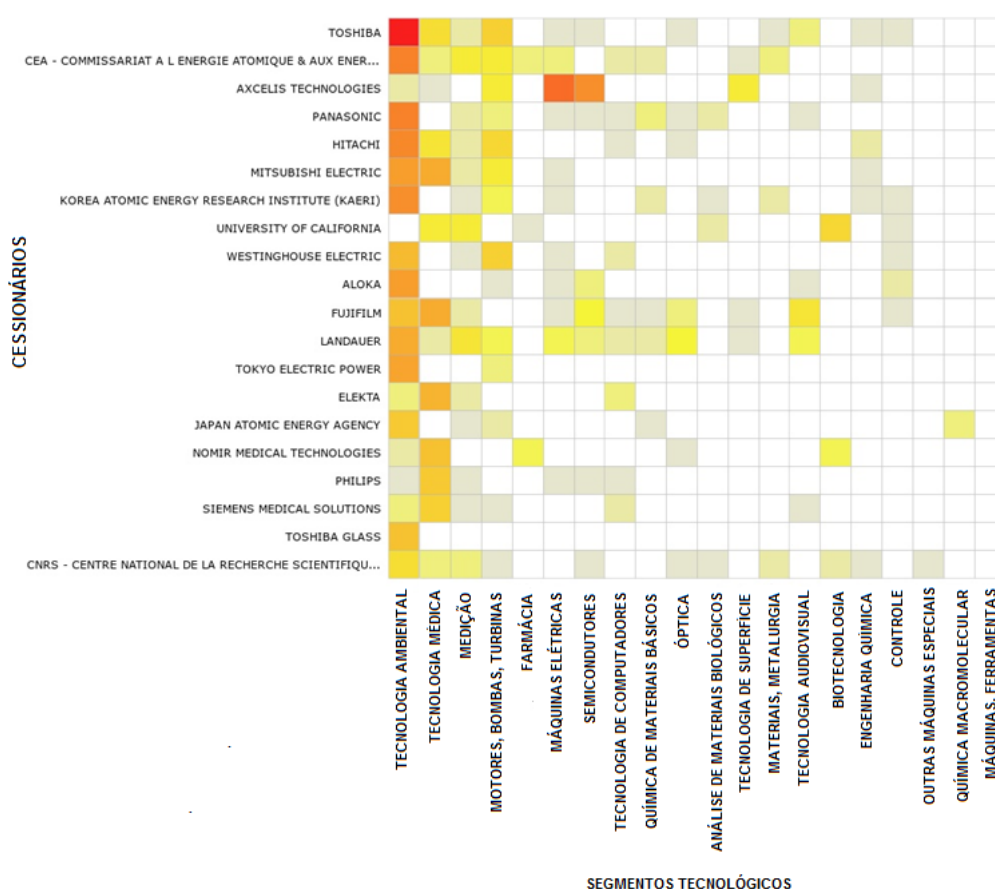


Figura 8. Principais empresas titulares de patentes por atuação nos segmento tecnológico.

O gráfico da figura 8 mostra os segmentos tecnológicos protegidos pelos principais atuantes na área de dosimetria. É útil para identificar patentes em um domínio que pode ter vários usos, amplitude que pode ser conferida para diversas carteiras, que abrangem tanto baixas quanto altas doses de radiação, assim como se relaciona tanto ao campo dos equipamentos e exposições médicas quanto na produção

de energia em reatores nucleares. Percebemos uma distribuição que destaca abrangência de pelo menos seis segmentos tecnológicos distintos para uma mesma empresa. É possível observar os principais aglomerados de empresas voltados ao uso pacífico das radiações atuando de forma simultânea nos segmentos de Tecnologia Ambiental; Tecnologia Médica; Motores, Bombas e Turbinas. São elas a *Toshiba*, *Hitachi*, *Mitsubishi Electric*, *Fujifilm* e *Landauer* que são empresas atuantes tanto na dosimetria médica e ocupacional quanto no contexto dos reatores nucleares e controle ambiental de contaminação por radionuclídeos.

O resultado mostra que a *CEA* enquanto instituto de pesquisa desenvolve trabalhos em dez segmentos distintos, assim como o *CNRS*. Por outro lado, acompanhando os campos de atuação da *University of Califórnia*, por exemplo, observa-se atuação exclusiva no campo das aplicações biológicas, por envolver os domínios Tecnologia Médica; Medição; Farmácia; e Biotecnologia. Também fica claro o segmento de interesse da *Axcelis Technologies* como desenvolvedores de materiais semicondutores, com uso da tecnologia de implantação de íons, o que traz destaque para os segmentos Motores, Bombas e Turbinas; Máquinas Elétricas; Semicondutores; e Tecnologia de Superfície (POATE, SAADATMAND, 2002; RUBIN, 2003). Também é possível distinguir as empresas que atuam exclusivamente no campo da geração de energia em reatores nucleares, como *Westinghouse Electric* (incorporada pela *Toshiba*); *Tokio Electric Power*; e *Japan Atomic Energy Agency* (NIAN, 2018).

Por fim, considera-se que os segmentos Tecnologia Ambiental; Tecnologia Médica; Medição; Motores, Bombas e Turbinas; Tecnologia de Superfície; aparecem em destaque porque se relacionam diretamente ao campo de atuação das empresas e seus processos de produção e, assim, devem ser protegidos por patentes. Ou seja, a dosimetria em si é um sistema de medição com diversas aplicações de controle.

Porém vemos que outros domínios aparecem com menos destaque por envolverem empresas específicas com seus respectivos sistemas dosimétricos de trabalho, tornando-se segmentos que sofrem impacto pelas pesquisas voltadas a produção de materiais dosimétricos. É o caso dos segmentos Semicondutores; Química de Materiais Básicos; Óptica; Análise de Materiais Biológicos; Materiais, Metalurgia; Engenharia Química; e Química Macromolecular. Estes segmentos podem se relacionar, por exemplo, aos sistemas baseados em fenômenos luminescentes de materiais orgânicos e inorgânicos; com base em propriedades ópticas e acompanhamento por espectroscopia; ou de filmes poliméricos. Por outro lado, os demais segmentos aparecem por estarem relacionadas a um mercado de aplicações potenciais.

Dentro desta lógica podemos utilizar como exemplo a empresa sueca *Elekta*. Desenvolve e comercializa soluções clínicas para o tratamento do câncer e, no que se refere à dosimetria, isto se refere ao planejamento radioterápico. Neste sentido, concentra portfólios em informática, estando em primeiro plano situada nos segmentos Tecnologia Médica e Medição e, em segundo plano, também no segmento Tecnologia de Computadores. Espera-se que seus inventos gerem impactos neste último segmento pelos esforços no desenvolvimento de softwares e outros dispositivos relacionados (LACHAINE, *et al.*, 2018).

3.3. Abrangência geográfica das patentes e proteção de mercado

O estudo referente à abrangência geográfica das principais famílias de patentes em dosimetria mostra, como na figura 9, a estratégia de proteção do solicitante e, assim, pode ajudar a identificar os mercados-alvo de seus produtos e/ou serviços. Embora a proteção de mercados internacionais demandem custos elevados, apresentam vantagens para empresas que atuam globalmente. Assim mesmo, em geral envolve a proteção em países onde estão instaladas grandes concorrentes e não necessariamente seu mercado de consumo. Neste sentido, buscam o bloqueio no desenvolvimento de inventos concorrentes e não necessariamente proteção de mercado, mesmo que acabe sendo uma consequência da qualidade final e inovação dos produtos e serviços oferecidos (ZEDTWITZ, GASSMANN, 2002).

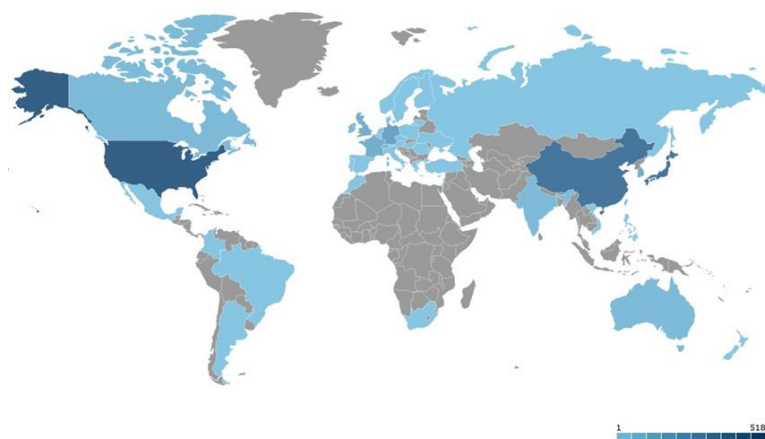


Figura 9. Mapa ilustrativo da estratégia de proteção das patentes em vigor no campo da dosimetria em diversos escritórios nacionais, com regiões destacadas por número de patentes depositadas.

O mapa apresentado na figura 9 traz informações sobre os mercados considerados estratégicos tanto para consumo como para P&D e, portanto, que precisam ser protegidos, como aqueles de origem das empresas, especialmente países da Europa, Japão, China e Estados Unidos. Das trinta empresas e instituições titulares de patentes em dosimetria inicialmente apontadas, treze são japonesas e nove são norte-americanas. Entre os outros países relacionados estão França e Coreia do Sul com seus institutos públicos de pesquisa, universidades da Rússia e China, além da Alemanha (*Siemens*), Suécia (*Elekta*) e Taiwan (*Hon Hai Precision Industry*).

A figura 10 apresenta uma visão mais específica do interesse das empresas titulares de patentes por mercados internacionais. Confirma-se que o Japão é um grande centro P&D em dosimetria, pois todas as empresas titulares depositam patentes no seu escritório nacional. As empresas com cobertura mais ampla são a *Axcelis Technologies* e *Elekta*, além das instituições de pesquisa francesas *CEA* e *CNRS*. Estes dados confirmam o forte impacto e poder bloqueador da *Axcelis Technologies* já avaliada pelo

número de citações e volume de patentes e, agora, pela estratégia de proteção de seus inventos no cenário P&D internacional.

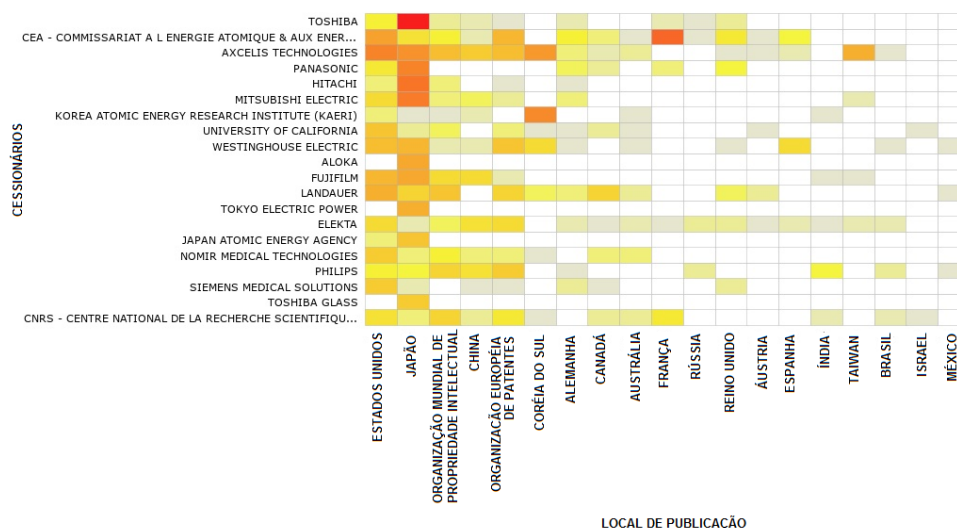


Figura 10. Volume de patentes depositadas por escritórios nacionais.

No que se refere ao mercado brasileiro há interesse demonstrado pelos seguintes cessionários: *Axcelis Technologies*, *Westinghouse Electric*, *Eleka*, *Philips* e *CNRS*. No Brasil, a cadeia produtiva de semicondutores ainda é incipiente, com iniciativas concentradas em universidades, o que não justificaria a proteção de seu mercado pela *Axcelis Technologies* (LIMA, *et al.*, 2017). Por outro lado, no que se refere à tecnologia de implantação iônica, técnica usada na dopagem de semicondutores, além de outras aplicações, é desenvolvida no Brasil tanto no contexto das universidades quanto em institutos de pesquisa, como no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (UEDA, *et al.*, 2001; MEDINA, *et al.*, 2014).

A *Westinghouse Electric* atuou em parceria com as *Indústrias Nucleares do Brasil (INB)* e *Korea Nuclear Fuel Company (KNFC)*, para projetarem, em conjunto, um elemento combustível avançado para uso na central nuclear de Angra I (ESTEVEZ, *et al.*, 2005). Com a falência da *Westinghouse Electric*, a *Toshiba* concluiu sua aquisição em 2006, para possuir e comercializar as tecnologias PWR da empresa (NIAN, 2018). Dentro das aplicações nucleares existe uma cooperação estabelecida e bem estruturada entre as organizações públicas de pesquisa francesas com institutos e universidades brasileiras, como, por exemplo, entre o CNRS com o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), justificando patentes depositadas em ambos os escritórios nacionais (BRIOT, 2015).

A *Eleka* estabeleceu uma subsidiária própria no Brasil em 1998 para atender os brasileiros e outros mercados latino-americanos (HYDER, FREGIDOU-MALAMA, 2018). Foi demonstrada interação entre as empresas *Philips* e *Eleka*, por trocas de citações mostrada na figura 7 e, na figura 10, aparecem juntas protegendo o mercado brasileiro. A associação entre as duas ocorreu em 2012, através

do estabelecimento de um consórcio em pesquisa para produção combinada de equipamento para tratamento de câncer, acelerador linear associado à ressonância magnética, o que parece indicar o mercado que pretendem proteger simultaneamente no Brasil (TIJSEN, *et al.*, 2019; HALL, *et al.*, 2019; KOOREMAN, *et al.*, 2019, WINKEL, *et al.*, 2019). Retornando na figura 4, observa-se que tanto a *Philips* quanto *Elekta* iniciaram uma sequência de depósitos de patentes na área de dosimetria que evoluiu entre 2011 a 2015 simultaneamente.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca de informações sobre o campo de aplicação dos conhecimentos P&D em dosimetria através do estudo das famílias de patentes resultou na configuração de um cenário bastante diversificado, no que se refere à amplitude nos mercados envolvidos. Apresenta como atores principais aglomerados de empresas que atuam globalmente e de forma simultânea nos campos das aplicações médicas e de geração de energia em reatores nucleares. Dentre as principais temos a *Toshiba*, *Hitachi*, *Mitsubishi Electric*, *Philips*, *Fujifilm* e *Landauer*. Mais especificamente nas aplicações médicas se destaca ainda a sueca *Elekta* que, em parceria com a *Philips*, têm desenvolvido inventos direcionados ao tratamento radioterápico associando acelerador linear e ressonância magnética, buscando a proteção de diversos mercados nacionais, inclusive o brasileiro.

Em relação aos institutos públicos de pesquisa temos a participação dos centros franceses *CEA* e *CNRS*, os japoneses *Tokio Electric Power* e *Japan Atomic Energy Agency*, além do coreano *KAERI*. Alguns cessionários pioneiros em dosimetria se retiraram do setor, seja por terem sido adquiridos por outros, caso da *Westinghouse Electric* (incorporada pela *Toshiba*) e a *Aloka* (incorporada pela *Hitachi*), seja pela opção por outros mercados, como a *Panasonic* e a *Siemens*. Destaca-se a agressiva atuação da *Axcelis Technologies* envolvendo número expressivo de famílias de patentes e proteção ampla do mercado internacional, apontando como tendência tecnológica a dosimetria de feixe de íons.

Observa-se, através da análise de citações, uma boa confluência de interesses entre institutos públicos e empresas privadas, sinalizando um campo com boa convergência de estudos. Trata-se, portanto, de um campo estratégico de direcionamento de pesquisas e desenvolvimento de tecnologias, uma vez que se apresenta como de interesse global, de difícil concorrência, uma vez que envolve atores fortemente ativos, gerando impacto em diversos campos do saber e segmentos tecnológicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a Axonal Consultoria Tecnológica referente ao uso do sistema *Questel Orbit*.

REFERÊNCIAS

- BRIOT, J. P. La recherche scientifique en France, le rôle du CNRS et la coopération scientifique avec le Brésil. **Culture juridique française pour les Brésiliens**, p. 1-10, 2015.
- CAI, Jin et al. Method for radiation monitoring. U.S. Patent n. 8,912,030, 16 dez. 2014.

CHOI, Y. H.; LIM, K. M.; JUN, I.; KEUM, D. K.; HAN, M. H. Radioecological studies in Korea atomic energy research institute, KAERI. **Radiation protection dosimetry**, v. 146, n. 1-3, p. 287-290, 2011.

CROFT, S.; WEAVER, D. R. The additivity of the fast neutron and gamma-ray induced radiophotoluminescence and re-usability of Toshiba FD-7 and SEI High-Z RPL glass dosimeters. **International journal of radiation applications and instrumentation. Part A. Applied radiation and isotopes**, v. 43, n. 5, p. 605-608, 1992.

CURRENT, Michael I. Ion implantation of advanced silicon devices: Past, present and future. *Materials Science in Semiconductor Processing*, v. 62, p. 13-22, 2017.

DEVOLPI, Alexander. Radiation-monitoring system with correlated hodoscopes. U.S. Patent n. 9,268,043, 23 fev. 2016.

DURAGKAR, A.; MULEY, A.; PAWAR, N. R.; CHOPRA, V.; DHOBLE, N. S.; CHIMANKAR, O. P.; DHOBLE, S. J. Versatility of thermoluminescence materials and radiation dosimetry – A review. **Luminescence**, v. 34, n. 7, p. 656-665, 2019.

ESTEVES, R. G. et al. DESENVOLVIMENTO DE UM ELEMENTO COMBUSTÍVEL AVANÇADO TIPO PWR 16X16, PARA ANGRA 1, CHAMADO 16NGF. 2005 International Nuclear Atlantic Conference – INAC 2005, Santos, SP, Brasil, 2005.

FERREIRA, N. S. A. As pesquisas denominadas "estado da arte". **Educação & sociedade**, v. 23, n. 79, p. 257-272, 2002.

GANDY, T. H.; SARGUNAS, V.; SINGH, A.; TADURI, S.; THIEFAIN, P.; AMEEN, M. S.; RATHMELL, R. Charging effects on medium current implanter on CMOS and mixed signal IC's. In: **Ion Implantation Technology. 2002. Proceedings of the 14th International Conference on.** IEEE, 2002, p. 299-302.

GERKE, H. C.; HINTON, T. G.; TAKASE, T.; ANDERSON, D.; NANBA, K.; BEASLEY, J. C. Radiocesium concentrations and GPS-coupled dosimetry in Fukushima snakes. **Science of The Total Environment**, p. 139389, 2020.

HALL, W. A. et al. The transformation of radiation oncology using real-time magnetic resonance guidance: A review. **European Journal of Cancer**, v. 122, p. 42-52, 2019.

HYDER, A. S.; FREGIDOU-MALAMA, M. Is context important in healthcare marketing?: A comparison between developed and emerging markets. In: **The 8th meeting of the IMP Group in Asia and 34th meeting of IMP Group'Networks in Context', 2nd-5th December 2018, Negombo, Sri Lanka**, 2018.

KAMAL, S. M. Developing Suitable Sensitive Compound Semiconductor Materials Doped by Transition Metals for Occupational Thermoluminescence Dosimetry. **Advances in Materials Physics and Chemistry**, v. 6, n. 4, p. 77-84, 2016.

KO, Y. K.; PARK, Y. R. Exploring the Medical Device Industry: A Historical Approach of Medison's Competitive Growth Strategy. **East and West Studies**, v. 28, n. 2, p. 5-29, 2016.

- KOOREMAN, E. S. et al. Feasibility and accuracy of quantitative imaging on a 1.5 T MR-linear accelerator. **Radiotherapy and Oncology**, v. 133, p. 156-162, 2019.
- LACHAINE, Martin Emile; LATHUILIERE, Fabienne; MOREAU, Michel. Image guidance for radiation therapy. U.S. Patent n. 9,974,977, 22 maio 2018.
- LAZO, S. A. Speaking of dividends: Landauer pumps payout to 4.3%. **Barron's**, v. 82, n. 45, p. 35-35, 2002.
- LIMA, D. D.; LACERDA, D. P.; SELLITTO, M. A. Systemic analysis of the Brazilian production chain of semiconductors: graphic representation and leverage points. **Systemic Practice and Action Research**, v. 30, n. 3, p. 295-316, 2017.
- MAGALHÃES, C. M. S.; SOBRINHO, M. L.; SOUZA, D. N.; ANTONIO FILHO, J.; SILVA JR., E. F.; SANTOS, L. A. P. A novel dosimetry system for computed tomography using phototransistor. **Radiation measurements**, v. 47, n. 1, p. 30-33, 2012.
- MARIELLA J. R; RAYMOND, P.; DARDENNE, Y. M. Nuclear radiation cleanup and uranium prospecting. U.S. Patent n. 9,250,353, 2 fev. 2016.
- MATSUBARA, K. Computed tomography dosimetry: from basic to state-of-the-art techniques. **Medical Physics**, v. 5, 2017.
- MEDINA, N. H.; SILVEIRA, M. A. G.; ADDED, N.; AGUIAR, V. A. P.; GIACOMINI, R.; MACCHIONE, E. L. A.; MELO, M. A. A.; SANTOS, R. B. B.; SEIXAS JR., L. E. First successful SEE measurements with heavy ions in Brazil. In: **2014 IEEE Radiation Effects Data Workshop (REDW)**. IEEE, p. 1-3, 2014.
- NIAN, V. Technology perspectives from 1950 to 2100 and policy implications for the global nuclear power industry. **Progress in Nuclear Energy**, v. 105, p. 83-98, 2018.
- NODA, T.; TANAZAWA, T.; YOSHIDA, H. Westinghouse technologies and integration with Toshiba. **Toshiba Rebyu**, v. 62, n. 11, p. 32-35, 2007.
- PATLE, A.; PATIL, R. R.; KULKARNI, M. S.; BHATT, B. C.; MOHARIL, S. V. Highly sensitive Europium doped SrSO₄ OSL nanophosphor for radiation dosimetry applications. **Optical Materials**, v. 48, p. 185-189, 2015.
- POATE, J. M.; SAADATMAND, K. Ion beam technologies in the semiconductor world (plenary). **Review of scientific instruments**, v. 73, n. 2, p. 868-872, 2002.
- RICHTER, C.; KALUZE, M.; KARSCH, L.; SCHLENVOIGT, H. P.; SCHURER, M.; SOBIELLA, M.; WOITHE, J.; PAWELKE, J. Dosimetry of laser-accelerated electron beams used for in vitro cell irradiation experiments. **Radiation measurements**, v. 46, n. 12, p. 2006-2009, 2011.
- RUBIN, L.; POATE, J. Ion implantation in silicon technology. **Industrial Physicist**, v. 9, n. 3, p. 12-15, 2003.
- SALES, M. N.; DE MAGALHÃES PORTO, C. A importância da proteção patentária para o desenvolvimento tecnológico na área de biocombustíveis. **Ambito Juridico**, v. 95, 2011.

SANO, M.; HARADA, M.; KABASAWA, M.; SATO, F.; SUGITANI, P. Dose monitoring of heavy ion implantation by Therma-Wave signal. In: **Ion Implantation Technology. 2002. Proceedings of the 14th International Conference on.** IEEE, p. 248-251, 2002.

TIJSSEN, R. H.; PHILIPPENS, M. E.; PAULSON, E. S.; GLITZNER, M.; CHUGH, B.; WETSCHEREK, A.; DUBEC, M.; WANG, J.; VAN DER HEIDE, U. A. MRI commissioning of 1.5 T MR-linac systems—a multi-institutional study. **Radiotherapy and Oncology**, v. 132, p. 114-120, 2019.

UEDA, M.; BERNI, L. A.; ROSSI, J. O.; BARROSO, J. J.; GOMES, G. F.; BELOTO, A. F.; ABRAMOF, E. Plasma immersion ion implantation experiments at the Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brazil. **Surface and Coatings Technology**, v. 136, n. 1-3, p. 28-31, 2001.

VINCENT, C. Lavina et al. Patent data mining in fisheries sector: An analysis using Questel-Orbit and Espacenet. *World Patent Information*, v. 51, p. 22-30, 2017.

WINKEL, D. et al. Adaptive radiotherapy: the Elekta Unity MR-linac concept. **Clinical and translational radiation oncology**, v. 18, p. 54-59, 2019.

YANAGIDA, T.; OKADA, G.; KAWAGUCHI, N. Ionizing-radiation-induced storage-luminescence for dosimetric applications. **Journal of Luminescence**, v. 207, p. 14-21, 2019.

ZEDTWITZ, V. M.; GASSMANN, O. Market versus technology drive in R&D internationalization: four different patterns of managing research and development. **Research policy**, v. 31, n. 4, p. 569-588, 2002.