

## **TECNOLOGIAS PARA OS VEÍCULOS A CÉLULA COMBUSTÍVEL: SINALIZAÇÕES A PARTIR DE DADOS DE PATENTES**

### ***TECHNOLOGIES FOR FUEL CELL VEHICLES: PATENT DATA TRENDS***

---

**João Vitor Leme.**

Graduado em Geografia, Universidade Estadual de Campinas.

[jv.leme28@gmail.com](mailto:jv.leme28@gmail.com)

**Flávia L. Consoni**

Doutora em Política Científica e Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas.

[fconsoni@unicamp.br](mailto:fconsoni@unicamp.br)

---

#### **RESUMO**

Os veículos de célula a combustível (VCCs), em função de suas características de alta eficiência energética e zero emissão, têm se colocado como alternativa para a mobilidade de baixa emissão face aos problemas associados aos veículos a combustão (emissão de poluentes, dependência de combustíveis fósseis, baixa eficiência energética, etc.) e aos veículos elétricos (tempo de recarga, autonomia de rodagem, fonte da matriz energética, etc.). Entretanto, os VCC também apresentam problemas em relação à maturidade tecnológica o que faz com que sua inserção no mercado ocorra de forma lenta. Com o objetivo de melhor compreender quais são as principais tecnologias que norteiam o desenvolvimento dos VCCs e sua dinâmica no mercado, este artigo apresenta um estudo de dados de patentes com foco nas suas duas tecnologias-chaves: tanque de hidrogênio e célula a combustível. A partir da dinâmica de patenteamento dos VCCs obtidas a partir de equações de busca e processamentos no banco de dados orbit.com, identificou-se as principais áreas tecnológicas, tendências e atores (países e empresas). Por tratar-se de uma tecnologia em desenvolvimento, com vários obstáculos que limitam sua viabilidade econômica e produtiva, estudos como este sobre patentes ajudam a visualizar tendências tecnológicas, aporte de esforços em áreas do conhecimento, assim como identificar os atores e instituições que são protagonistas destas tecnologias.

**Palavras-chave:** Patentes; Tendência Tecnológica; Veículos de Célula Combustível; Tanque de Hidrogênio; Célula a Combustível.

#### **ABSTRACT**

---

The Fuel cell electric vehicle (FCEV), about its characteristics of high energy efficiency and zero emission, it has become an alternative for low emission mobility due to the problems related with the combustion vehicles (pollutant emission, fossil fuels dependency, low energy efficiency, etc.) and the electric vehicles (charge time, driving autonomy, power source, etc.). However, FCEV also has problems regarding the technological maturity, which does its market insertion happen slowly. In order to understand the key technologies that drive the development of FCEVs and their market dynamics, this paper presents a study of patent data focusing on its two main technologies: hydrogen tank and fuel cell. From the patenting dynamics of FCEV acquired from search equations and processings on orbit.com database, the main technological areas, trends and actors (countries and companies) were identified. Because it is a technology under development, with several barriers that limit its economic and productive viability, studies such as this one on patents help to visualize technological trends, to contribute efforts in areas of knowledge, as well as to identify the actors and institutions that are protagonists of these technologies.

**Keywords:** Patents; Technological Trend; Fuel Cell Electric Vehicles; Hydrogen tank; Fuel Cell.

**JEL Classification:** O33.

## 1. INTRODUÇÃO

O setor de transportes tem sido responsável por cerca de ¼ de todas as emissões de gases de efeito estufa no mundo; para o caso brasileiro, a contribuição do setor de transporte é ainda maior, respondendo por 46% das emissões em 2016<sup>1</sup>. A grande responsabilidade para esse cenário recai nos veículos a combustão interna (VCIs), que, ao promover a queima de combustíveis fósseis, em especial diesel e gasolina, intensificam a emissão de poluentes, lançando na atmosfera gases como óxidos de nitrogênio, enxofre, aldeídos e materiais particulados. Além de comprometer o clima, intensificando os efeitos das mudanças climáticas, a alta intensidade de emissão atrelada ao funcionamento dos VCIs fósseis compromete negativamente a saúde pública, ampliando o número de mortes e de problemas diversos, tais como cardio respiratórios, diabetes e alterações cognitivas (Olmo et al., 2011).

De forma a viabilizar meios de transporte com menor emissão, iniciativas de eletrificação dos veículos estão em curso, com destaque para duas delas: os veículos à bateria (VEB), nas suas configurações híbridas e híbrida plug-in, e os veículos de célula combustível (VCCs). Essas tecnologias, ainda que se mostrem bastante promissoras, apresentam barreiras tecnológicas a serem superadas. No caso dos VEB com conexão à rede elétrica, destaca-se o tempo de recarga, a autonomia, a origem da matriz energética que abastecerá o veículo e o descarte adequado das baterias no final do ciclo de vida (Barassa, 2015). Entretanto, tem sido uma alternativa bastante promissora e cada vez mais apoiada por uma diversidade de países, que têm mobilizado um conjunto de políticas públicas para estimular seu desenvolvimento e adoção (Consoni et al, 2018). Os números de mercado dos VEs ainda são modestos, ainda mais se comparado aos 86 milhões<sup>2</sup> de VCIs comercializados em 2017; porém o que impressiona é o percentual de crescimento acentuado. Em 2013, o estoque era inferior a 0,5 milhão de unidades, ultrapassou 1 milhão em 2015, chegou a 2 milhões em 2016 e em 2018 já somavam 5,2 milhões de VEs em circulação (IEA, 2019).

---

<sup>1</sup> Organização Mundial da Saúde, <https://www.who.int/sustainable-development/transport/health-risks/climate-impacts/en/>. Nos casos internacionais, a matriz energética é altamente representada por fontes não renováveis, o que eleva a participação do setor de eletricidade e calor nas emissões globais; no Brasil, por sua vez, o setor de eletricidade é mais dependente de fontes renováveis, fato que deixa em destaque a contribuição do setor de transporte no cálculo das emissões..

<sup>2</sup> Carsalesbase. Disponível em: <<http://carsalesbase.com/global-car-sales-2017/>>. Acesso: 08/08/2018.

Os VCCs revelam números bem mais modestos e uma inserção mais lenta no mercado, com apenas três modelos disponíveis: Toyota Mirai, Honda Clarity FCEV e o Hyundai ix35/Tucson FCEV. Juntos, tais modelos acumularam 3.382 unidades<sup>3</sup> comercializadas em 2017, sendo que apenas o Toyota Mirai respondeu sozinho por 2.689 vendas. Tais valores são reflexo das barreiras e do estágio ainda embrionário de desenvolvimento tecnológico do VCC.

Em termos da arquitetura técnica, os VCCs mostram-se muito semelhantes ao VE, sendo a principal diferença em relação à sua fonte de energia. Ambos são equipados com motor elétrico, mas o sistema de energia do VCC é a célula a combustível (CC), alimentada por hidrogênio, também podendo ser abastecida com gasolina, etanol ou metanol (dependendo da tecnologia e sistema empregado, com reformador interno ou não), e geralmente são zero emissão. Sua composição é uma integração entre a engenharia automotiva, elétrica e a CC. A CC lhe garante eficiência, confiabilidade, otimização, durabilidade e custo adequados (Chan, 2010).

As CC são alimentadas por hidrogênio e, por não armazenarem energia, as CC alimentam baterias, que acumulam energia e movem os veículos. Para as CCs serem empregadas em veículos, é necessário que elas sejam eficientes; por isso é empregado o controle de gerenciamento em seu sistema para os fluxos de potência entre as fontes de energia para que a CC opere com baixo consumo de combustível e manutenção do *state of charge* das baterias, e assim possa responder à potência exigida pelo veículo (Revoredo, 2007).

Apesar do VCC apresentar grande eficiência energética, independência de combustíveis de origem fóssil, dirigibilidade satisfatória e ser uma opção vantajosa para substituição dos VCI, ainda há outras barreiras a serem vencidas, tais como seu alto custo (devido à CC) e a infraestrutura de abastecimento de hidrogênio (Chan, 2010).

Com o objetivo de melhor compreender quais comportamentos e atores estão por trás da geração de conhecimento que alimenta as principais tecnologias que integram um VCC, ou seja, o tanque de hidrogênio (TH) e a CC, este artigo estudo apresenta um exercício de vigilância tecnológica (VT) com análise de indicadores baseados em patentes obtidas a partir de buscas no banco de dados do orbit.com. A

---

<sup>3</sup> EV Sales. Disponível em: <<https://ev-sales.blogspot.com/2018/02/fcevs-full-year-2017.html>>. Acesso: 08/08/2018.

partir da dinâmica de patenteamento dos VCC, busca-se identificar as principais áreas tecnológicas, tendências e atores (países e empresas). Por tratar-se de uma tecnologia em desenvolvimento, com vários obstáculos que limitam sua viabilidade econômica e produtiva, estudos como esse sobre patentes ajudam a visualizar tendências tecnológicas, aporte de esforços em áreas do conhecimento, assim como dos atores e instituições protagonistas deste movimento.

## 2. METODOLOGIA PARA A BUSCA DE PATENTES

Estudos de vigilância tecnológica (VT) são importantes para o apontamento de possíveis situações e tendências no atual cenário de transferências tecnológicas, pois analisam o desenvolvimento do *state of the art*, assim como suas consequências e oportunidades. Servem também de apoio para prospecções tecnológicas, além de serem ferramentas para atualização das prospecções. A VT designa atividades de prospecção das transferências tecnológicas e permite focar nas trocas de capacidade funcional e no ritmo e importância da inovação. Seu modo de trabalho está baseado na acumulação sistêmica e na análise de dados para realizar a prospecção. (Palop e Vicente, 1999).

No exercício da VT, a patente é objeto de análise por conter informações e descrições detalhadas de suas tecnologias e informar seus principais atores e responsáveis pela criação e produção dos componentes. A patente é um título de posse sobre uma invenção ou modelo de utilidade por tempo determinado concedido pelo Estado aos autores/inventores que passam a ter o direito sobre o produto patenteado, podendo negar o usufruto a terceiros sem prévia autorização. Para conseguir tal usufruto, a patente deverá revelar o conteúdo técnico do produto a ser protegido (INPI, 2017).

Para o estudo de VT, a patente se torna relevante dado que ela informa nome e endereço do inventor e aplicante, códigos de patentes que relacionam-se a uma classificação tecnológica, como o IPC (Código Internacional de Patentes) e CPC (Código Cooperativo de Patentes), além de detalhamento da invenção, séries de datas e referências (bibliográficas e/ou de outras patentes). Os dados estatísticos das patentes, por sua vez, permitem construir um mapa tecnológico relacionado a processos

inovativos (redes de cooperação e difusão de tecnologias a partir das indústrias e países) e competitivos, que fazem parte do mercado estratégico. Para tanto, a análise de patentes favorece o estudo da performance tecnológica (monitorando a competência tecnológica de uma empresa ou território), tecnologias emergentes (detectados por indicadores de patentes), difusão de conhecimento, dinâmica de mudança tecnológica e participação de universidades no desenvolvimento tecnológico (por meio da criação de patentes e citações) (OCDE, 2009).

A busca ocorre em um banco de dados de patentes, no qual os resultados são produzidos por autoridades de patentes e publicados por instituições privadas (OCDE, 2009). A busca no banco de dados é realizada por meio de palavras-chave, família e código de patente que definem a tecnologia almejada e/ou seu campo tecnológico. Para a definição dos códigos, é recomendável a consulta com *experts* da tecnologia ou do campo almejados. A família de patentes refere-se aos documentos de uma mesma invenção em diferentes idiomas, que são depositados em vários territórios (França, 1997). Os códigos de patentes permitem determinar o tipo de tecnologia da patente, sendo a Classificação Internacional de Patentes (IPC) a mais empregada, por ser organizada em seção, classe, subclasse, grupo e subgrupo (Wipo, 2017a).

A partir da revisão bibliográfica, principalmente voltada a conceitos técnicos de um VCC e entrevista com *expert*<sup>4</sup>, identificou-se duas tecnologias-chaves em VCCs que foram objeto de investigação neste artigo: as CCs e o TH. A partir de buscas de patentes para os anos de 1996 a 2016, foi possível estabelecer a dinâmica de patenteamento para ambas as tecnologias ao longo do período, mostrando a relação/causas desses resultados a partir da análise de algumas políticas que possibilitaram esse desenvolvimento. Este exercício permitiu identificar os agentes regionais e institucionais que concentram tais tecnologia, quem as promove e como tais agentes cooperam entre si.

Para o caso das CCs, e seleção dos códigos de patentes para a PEMFC (*Proton-Exchange Membrane Fuel Cell*), SOFC (*Solid Oxide Fuel Cell*) e a DEMFC (*Direct Ethanol Fuel Cell*), foram utilizados os códigos do *IPC green*<sup>5</sup>, pois as CCs fazem parte desse

---

<sup>4</sup> Entrevista realizada no dia 24 de janeiro de 2018 no Laboratório de Hidrogênio (LH2) da UNICAMP com especialista em célula combustível.

<sup>5</sup> Portfólio da WIPO para tecnologias consideradas sustentáveis.

portfólio como uma tecnologia sustentável. Ademais, também foram feitas buscas prévias no orbit.com com seleção de algumas patentes, com as quais foi possível analisar os códigos mais utilizados.

A opção por trabalhar com o banco de dados de patentes orbit.com é devido ao fato do seu sistema cobrir mais de 90 escritórios de patentes (nacionais e regionais), possuir publicações agrupadas por famílias de patentes e permitir que resumos, inventores, titulares e classificações de patentes sejam pesquisados simultaneamente e independentemente entre os membros de cada família, além de permitir buscas por status de tramitação e facilidade de visualização e exportação de dados<sup>6</sup>.

### 3. O CONTEXTO GLOBAL E OS ESTÍMULOS AOS VCC

Desde o início deste século, tem sido crescente o desenvolvimento de tecnologias em programas governamentais realizados principalmente pelos Estados Unidos (EUA), pelo Japão e pela União Europeia (UE), evidência esta que se destaca entre os resultados das patentes e patenteadores conforme mostra este estudo.

De acordo com a abordagem realizada por Santos (2008), os EUA têm se posicionado pós anos 2000 no desenvolvimento de CCs, tendo investido 1,2 bilhão de dólares em pesquisas do uso energético do hidrogênio sob o governo do presidente George Bush, que anunciou no discurso *The State of the Union* que os EUA conseguiram superar os obstáculos tecnológicos dos VCCs para poder revendê-los como um veículo não poluente; as CCs foram citadas de forma indireta. Nesse discurso, muitos objetivos ambientais foram listados como alvo de investimentos. A partir desse contexto, os volumes de investimentos em VCC só cresceram. Em 2003, o país lançou o *International Partnership for the Hydrogen Economy* (parceria internacional que oferece recursos para implementar pesquisas relacionadas a hidrogênio e CCs) e o *Carbon Sequestration Leadership Forum* (política alternativa ao Protocolo de Quioto, com objetivo de reduzir o dióxido de carbono da atmosfera). Em 2006, foi criado o *Climate Change Technological Program* para acelerar o desenvolvimento de tecnologias para a redução de emissão de

---

<sup>6</sup> Vale informar que o orbit.com é o principal sistema de busca de patentes utilizado na UNICAMP, a qual mantém convênio com a empresa para disponibilização de licenças para alunos, professores e pesquisadores. (Axonal, 2014; Inova, 2014)

poluentes e seus valores, tendo sido investidos 3 bilhões de dólares, predominantemente com foco nas CCs.

Também a UE tem criado programas para incentivo do desenvolvimento das CCs. Tais programas levaram a UE a liderar o desenvolvimento dessas tecnologias e dos laboratórios para aplicações no mundo real, chegando ao estágio da sua produção e comercialização, o que incentivou a sua maior produção. Em 2000, a Comissão Europeia lançou o relatório *Green Paper* que definiu o debate europeu sobre política energética para um patamar de energias limpas e incluía propostas para intensificar a pesquisa do hidrogênio. Nessa época, o hidrogênio já era visto como uma aposta para o futuro do transporte. Em 2002, foi estabelecido um grupo para tecnologias de hidrogênio e CCs, formado por 19 partes interessadas que incluíam representantes da comunidade científica, indústrias, autoridades públicas e de consumidores e que resultou no programa *Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking* (FCH JU). Há destaque também para o programa *European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform*. Tais iniciativas colocaram a UE como um dos principais desenvolvedores de tecnologias relacionadas a CCs (European Union, 2017)

O Japão vem colocando as tecnologias de hidrogênio como alvo de desenvolvimento desde 1991, quando criou um programa de 8 anos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em CCs e hidrogênio. Ao final, o Japão já era um dos líderes da tecnologia. Devido ao resultado do programa, foi criado o *Millennium Project*, outra fase do programa de P&D que tinha os VCCs como um dos seus focos. No início dos anos 2000, houve o desenvolvimento e aplicação de protótipos de tecnologias de CCs. Como os investimentos do governo japonês para P&D são realizados como co-financiamento de 50%, há um montante igual de recurso investido pelo setor privado, além de haver uma estimativa de que o setor privado invista em torno de 300 milhões de euros por ano no desenvolvimento das tecnologias de CCs e hidrogênio. (European Union, 2018).

#### **4. RESULTADOS**

A partir da revisão bibliográfica, principalmente voltada para conceitos técnicos de um VCC e de uma CC, identificou-se algumas tecnologias-chave. Devido às semelhanças entre os VCCs e os VEs, algumas tecnologias são comuns em ambos os

veículos, como o motor elétrico e baterias. A especificidade do VCC está na CC e no TH, o que justifica um estudo mais detalhado sobre tais tecnologias, apresentado na sequência.

#### **4.1. Célula a Combustível**

A CC é um dispositivo eletroquímico capaz de transformar (mas não armazenar) energia química em energia elétrica (Chan, 2010) que, por meio de reações químicas entre um combustível gasoso e um oxidante, consegue gerar uma corrente elétrica contínua. Esse dispositivo tem alta eficiência de operação, baixos níveis de ruídos, recuperação de calor, rápido abastecimento, é leve e consegue entregar boa autonomia para a locomoção do veículo (Revoredo, 2007). O hidrogênio é o principal combustível de uma CC, mas secundariamente pode ser abastecido com hidrocarbonetos (etanol, gasolina e/ou metanol).

Segundo Chan (2010), os principais componentes de uma CC são: ânodo, cátodo e eletrólito. Em seu sistema, o hidrogênio é introduzido no ânodo, que será quebrado em prótons e elétrons pelo catalisador que recobre a ânodo. Os íons positivos vão para o catalisador atravessando o eletrólito, que consiste no meio condutor de eletricidade, para então combinar-se com o oxigênio, resultando em água e calor. Os elétrons, por não conseguirem atravessar o eletrólito, irão gerar uma corrente elétrica ao circularem pelo sistema externo (Ferreira, 2003).

O hidrogênio é o combustível não-poluente adequado para a CC, por conter maior energia por unidade de peso; ademais, o produto de suas reações no dispositivo é água. O hidrogênio não é um combustível primário, pois é derivado de outros combustíveis, como hidrocarbonetos, através de um reformador (Chan, 2010).

Temos em torno de seis tipos de CCs disponíveis no mercado. Cada tipo de CC tem suas especificidades, sendo classificadas segundo seu eletrólito e temperatura de operação, tornando-as distintas para cada tipo de aplicação. (Revoredo, 2007). Ao analisar a composição de alguns VCCs, é possível encontrar que as CCs aplicados em veículos são a Sólido Óxido (SOFC) e a Membrana de Troca de Prótons (PEMFC). Há também variações de CC, como aquelas alimentadas diretamente com Etanol (DEMFC), no esforço de eliminar o uso do reformador para transformá-lo em hidrogênio.

A SOFC utiliza como combustível o hidrogênio, o carbono e hidrocarbonetos e, como agente oxidante, o ar. Ela opera em altas temperaturas (800 a 1.000°C), o que demanda maior tempo para partida. Como vantagens, é tolerante a impurezas de monóxido e dióxido de carbono, é eficiente quando operada em cogeração e possui capacidade de reformar internamente combustíveis hidrocarbonetos. (Santos, 2008)

Já a PEMFC (*Proton-Exchange Membrane Fuel Cell*) ou a de Eletrólito Polimérico (*Solid Polymer Fuel Cell – SPFC*) possui o eletrólito composto por uma membrana polimérica entre dois eletrodos porosos de carbono, que são de metal em suporte de carbono com cobertura catalítica. Seu catalisador é de platina, um metal precioso que eleva o preço da CC. Ela utiliza hidrogênio como combustível e oxigênio como oxidante e opera em temperaturas abaixo dos 100°C em diferentes níveis de pressão, o que permite partida rápida. Apesar disso, sua temperatura de operação é limitada pela necessidade de água nos polímeros condutores de prótons para atingir uma condutividade adequada. Essa tecnologia já se encontra em uma condição de desenvolvimento mais avançado frente às outras. Porém, ela é pouco tolerante ao carbono que pode estar presente no combustível, necessitando ser alimentada com hidrogênio e oxigênio puros para evitar contaminação e desgaste (Santos, 2008)

A Célula de Etanol (*Direct Ethanol Fuel Cell – DEMFC*), por sua vez, é resultado de esforços para aperfeiçoar as CCs e adaptá-las para alguns mercados, por ser abastecida com etanol sem a necessidade de utilizar um reformador para transformá-lo em hidrogênio. Mostra-se, portanto, adequada para o mercado brasileiro. A DEMFC segue as mesmas formas que uma PEMFC, utilizando um catalisador de platina no ânodo e um catalisador de platina-carbono no cátodo. Nesse sistema, o etanol é fornecido ao ânodo, reagindo na forma de prótons, elétrons e dióxido de carbono. Os prótons passam para o cátodo, atravessando a membrana, e os elétrons vão para um sistema externo para gerar energia. No cátodo, o oxigênio e o hidrogênio reagem para formar vapor d'água. A oxidação do etanol no catalisador é difícil, tendo como produtos de sua eletro-oxidação em baixas temperaturas o ácido acético e acetaldeídos. (Gomes et al., 2018)

A Nissan criou um protótipo de VCC a base de etanol, que utiliza uma SOFC alimentada diretamente por etanol, testando protótipos no Brasil. Essa CC consegue quebrar as moléculas do etanol, gerando o oxigênio e o hidrogênio que utilizará na produção de sua energia. Essa quebra ocorre em temperaturas próximas de 600°C,

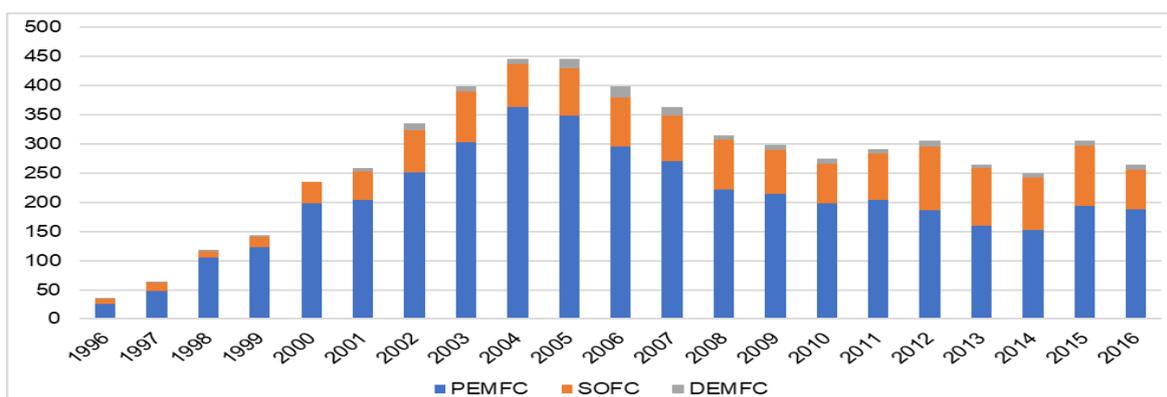
utilizando um condutor de eletricidade (Oliveira, 2017). Se essa tecnologia chegar ao mercado brasileiro, poderá ser uma oportunidade para a transição da frota brasileira para a propulsão elétrica aproveitando a infraestrutura já existente para o combustível e as capacidades produtivas.

### ***O patenteamento das CCs para VCCs***

A busca de patentes das CCs na base orbit.com se deu por meio de três buscas e equações específicas para cada um dos três tipos de CCs prioritárias para essa pesquisa. Cada equação foi composta por palavras-chave que incluíam o nome, abreviação e siglas da tecnologia buscada com base em literatura técnica e também incluiu palavras que indicassem que seu uso em veículos como “car”, “bus”, “automotive”, etc. combinado com uma lista de códigos de patentes do IPC e CPC que estivessem relacionados às CCs que foram obtidos por buscas prévias dessa tecnologia e que foram selecionadas pelo seu conteúdo. A análise dessas equações se deu de maneira individual e conjunta.

Os gráficos a seguir, elaborados a partir dos resultados das buscas de patentes, apresentam a dinâmica do patenteamento das CC, identificando no período analisado a evolução dessa tecnologia, empresas e países que concentram esse desenvolvimento e algumas redes de colaboração.

**Gráfico 1. Patenteamento das CCs por ano de prioridade (1996-2016)**



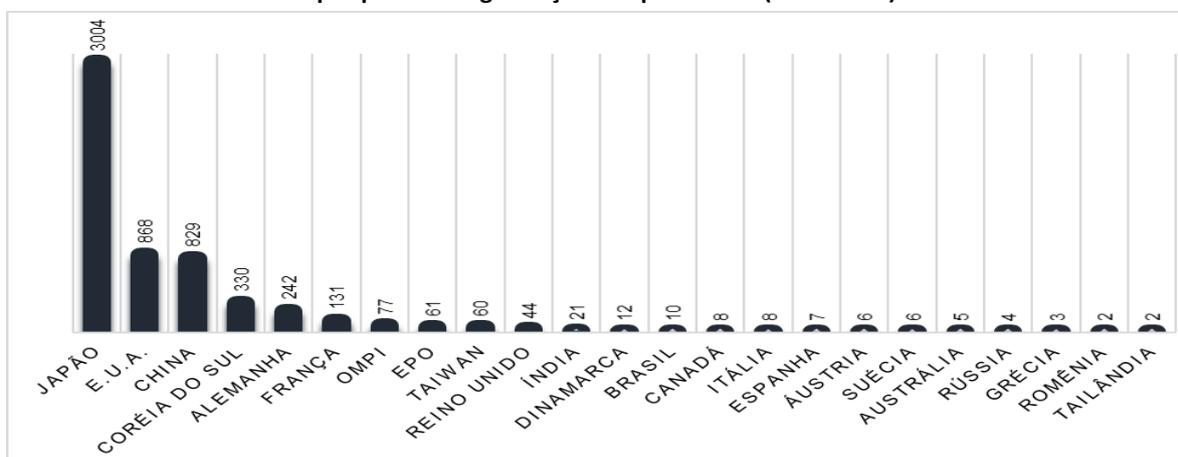
Fonte: Elaboração própria a partir de orbit.com

O gráfico 1 traz 5.751 patentes relacionadas a CCs para uso veicular e mostra que o patenteamento das CCs vem crescendo de maneira significativa, principalmente a partir dos anos 2000. Esse crescimento é explicado pelos investimentos feitos principalmente pelos EUA, durante o Governo Bush, e pelo Japão, desde os anos 1990,

conforme Gráfico 2, fazendo o patenteamento alcançar seus picos máximos em 2004 e 2005, seguido de uma retraída nos patenteamentos anuais, até atingir um padrão que flutua entre 250 e 315 patentes anuais desde 2008 até o final do período analisado.

As tecnologias relacionadas à PEMFC concentram mais de 73% do total de patentes do período, seguido pela SOFC e DEMFC, que concentram 24% e 2%, respectivamente, das patentes encontradas. Em uma análise detalhada do conjunto das patentes obtidas, foi possível identificar a sua concentração em alguns países e organizações considerados como prioritários na proteção destas tecnologias que seguem no gráfico 2.

**Gráfico 2. Patentes de CC por países e organizações de prioridade (1996-2016)**



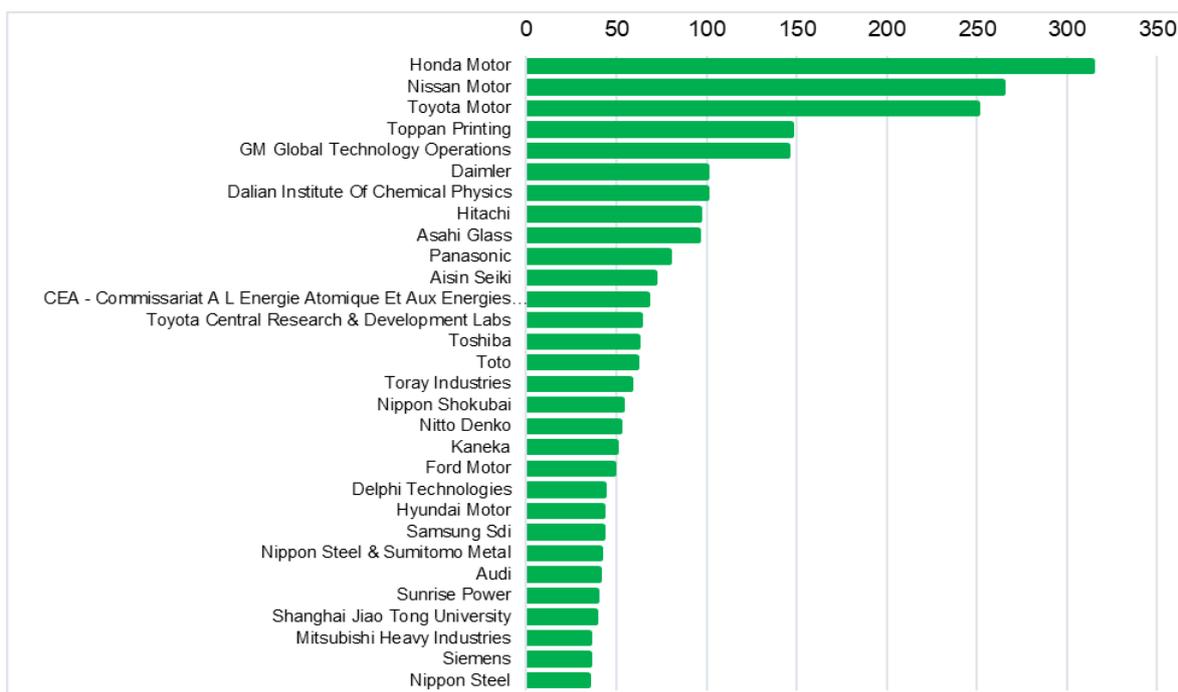
Fonte: Elaboração própria a partir de orbit.com

A partir dessas informações, nota-se a centralidade do Japão como principal alvo de patenteamento das CCs com 3.004 patentes (sendo 2.426 apenas de PEMFC, que representa 80% das PEMFCs mundiais), valor três vezes maior que o número de patentes dos EUA, que está em segundo lugar e possui 868 patentes. Seguindo a ordem, tem-se a China, República da Coreia, Alemanha, França, Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI/WIPO), Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO), Taiwan, Reino Unido, Índia, Dinamarca e, em 13º lugar, o Brasil, com 10 patentes. Os demais países aparecem com menos de 10 patentes no período de análise.

As instituições líderes de patenteamento seguem no gráfico 3, sendo a maioria constituída por montadoras tradicionais do setor. A liderança está à cargo das japonesas: Honda, Nissan, Toyota, seguidas pela norte americana General Motors. Isso se explica pelo fato de tratar-se de empresas que possuem VCCs em seu portfólio.

Também se nota a presença de empresas do setor eletroeletrônico, tradicionais e consolidadas nesse campo, como a Panasonic e Samsung. Apenas uma universidade aparece no ranking, a chinesa Shanghai Jiao Tong University. Cabe dar destaque às empresas Toppan Printing (inicialmente uma empresa para produtos gráficos) e Asahi Glass (inicialmente uma empresa de arquitetura e vidraçaria), que conseguiram expandir suas atuações para a área de eletrônica e, conseqüentemente, na de energia, envolvendo CCs.

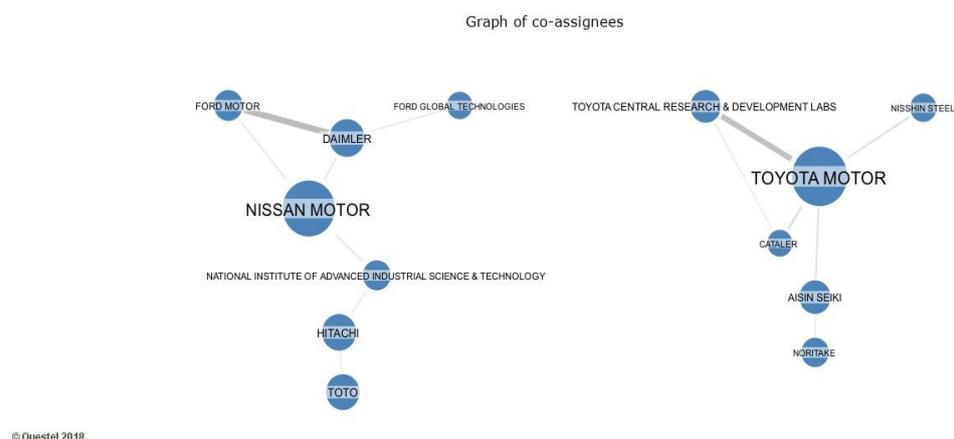
**Gráfico 3. Principais instituições patenteadoras de tecnologias de CCs (1996-2016)**



Fonte: Elaboração própria a partir de orbit.com

Um ponto de destaque diz respeito às redes de colaboração em patentes, demonstrando a importância de unir esforços em torno de tecnologias que ainda estão consolidando-se no mercado. Vale pontuar que, embora o *hub* seja controlado por empresas japonesas, a Nissan e a Toyota, a interação com empresas de outras nacionalidades ocorre. Exemplos dessas patentes obtidas em colaboração, como demonstrado na figura 1, incluem: patente sobre estrutura catalítica de cátodo de camada dupla para uma PEMFC, realizada pela Automotive Fuel Cell Cooperation em colaboração com a Daimler e Ford Motor; e patente sobre método de montagem de uma CC feita pela Nissan, Honda e Daimler.

**Figura 1. Redes de colaboração para patenteamento de CCs (2016-1996)**



Fonte: Elaboração própria a partir de orbit.com

## 4.2. Tanque de Hidrogênio

O sistema de armazenamento de hidrogênio, sendo ele um dos principais dispositivos de um VCC, precisa ser capaz de armazenar hidrogênio de maneira eficaz e segura para garantir boa autonomia ao veículo sem necessidade de reabastecer (Bakker, 2010).

O método de armazenamento depende do combustível que se pretende utilizar, como o hidrogênio líquido ou gasoso, o que definirá suas características, como material, peso e tamanho. Como os VCCs utilizam principalmente o hidrogênio na forma de gás comprimido, tem-se optado por empregar cilindros de alta pressão para o armazenamento do combustível, que são reforçados e constituídos por alumínio e envoltos por fibra de carbono (Amaral, 1994).

O armazenamento de hidrogênio em alta pressão, mesmo que represente um método barato e simples, vem perdendo a atratividade na perspectiva dos fabricantes, pois esse método de armazenamento também é prejudicado pelo sistema necessitar de tecnologias e protocolos específicos para seu abastecimento, uma vez que há falta de padronização. Devido à sua baixa densidade volumétrica de energia, o hidrogênio gasoso, em temperatura ambiente, torna-se um condicionante para a autonomia de rodagem do veículo, que pode ser melhorado a partir da maior pressurização do hidrogênio ou sua liquefação, que aumentariam sua densidade energética. Entretanto, nesses métodos há a necessidade de consumo de grande quantidade de energia

considerando suas perdas. A pressurização do hidrogênio gasoso (acima de 700 bar) pode ser um risco de segurança. Já o hidrogênio líquido sofre de perdas a partir da evaporação pelo aquecimento do tanque (Bakker, 2010).

Outras alternativas têm sido estudadas, como o armazenamento de hidrogênio em materiais sólidos por meio de hidretos metálicos, que contém maior conteúdo volumétrico de hidrogênio em relação ao hidrogênio gasoso ou líquido, além de ser mais seguro (Maddalena, et al. 2006). Nesse sistema, o hidrogênio é abastecido em um tanque com pó metálico que absorve os átomos do hidrogênio para sua estrutura atômica formando hidreto metálico (Bakker, 2010).

Também se considera usar o metanol, um transportador de hidrogênio ligado quimicamente. Por meio de um reformador interno, o metanol é reformado para hidrogênio gasoso e dióxido de carbono. Essa tecnologia vem sendo testada em protótipos por algumas montadoras, com a vantagem de garantir alta autonomia de rodagem. (Bakker, 2010)

Os (nano) materiais de carbono/grafite são outras tecnologias em desenvolvimento, nas quais o hidrogênio pode ser absorvido e armazenado em hidretos químicos, ligando o hidrogênio a substâncias químicas líquidas, como a amônia; e os clatratos, que são estruturas semelhantes ao gelo, capturam o hidrogênio (Bakker, 2010).

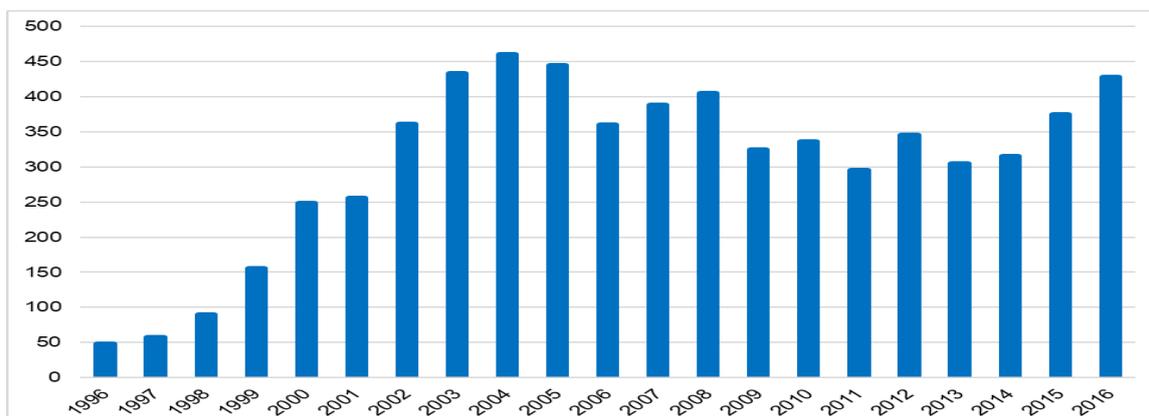
### ***O patenteamento dos sistemas de armazenamento de hidrogênio para VCC***

A busca e análise de patentes para as tecnologias de armazenamento de hidrogênio foram feitas de forma semelhante às CCs, sendo compostas pela junção de quatro equações de buscas, cada uma com uma palavra-chave e suas derivações da tecnologia que foram encontradas em literaturas técnicas, como “cylinder”, “tank”, “storage” e “vessel”, juntamente a palavras buscadas em campos específicos que indicassem o seu uso em automóveis e a uma seleção de códigos de patentes IPC e CPC, que foram obtidas através de uma seleção de patentes feita por buscas breves apenas por palavras-chaves.

A partir dos resultados, foi possível identificar a dinâmica do patenteamento referente ao armazenamento de hidrogênio para VCCs no período de análise, que segue representado pelo gráfico 4.

Nota-se que o patenteamento do armazenamento de hidrogênio vem se desenvolvendo desde o início do período de análise, com crescimento significativo a partir de 2000 e alcançando pico máximo em 2004 com 461 patentes, seguido de uma ligeira retraída nos anos seguintes com flutuações entre 300 e 450 patentes anuais. O crescimento observado a partir dos anos 2000 pode ser explicado pelos investimentos feitos por Japão, EUA e UE, para tecnologias de hidrogênio, como já explorado.

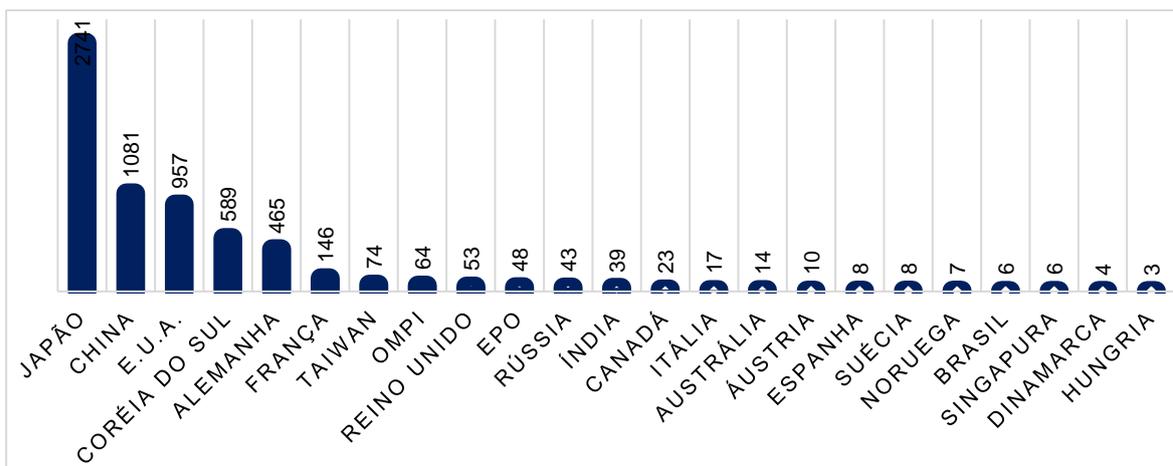
**Gráfico 4. Patenteamento de armazenamento de hidrogênio para VCCs por ano de prioridade (1996-2016)**



Fonte: Elaboração própria a partir de orbit.com

Por sua vez, o gráfico 5 complementa estas informações ao identificar em quais países essas patentes tiveram prioridade para proteção. Nota-se que os dados de patentes para armazenamento de hidrogênio não se diferem tanto na comparação com as CCs em relação aos seus principais países depositantes e empresas. A maior parte das patentes para armazenamento de hidrogênio estão concentradas no Japão, que possui mais que o dobro do segundo colocado, que é a China. Na sequência, tem-se EUA, República da Coreia, Alemanha, França, Taiwan, Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI/WIPO), Reino Unido, Organização Europeia de Patentes (OPE/EPO), Federação Russa, Índia, Canadá, Itália, Austrália e Áustria. Os demais países detêm menos de 10 patentes de armazenamento de hidrogênio em seus territórios, sendo o Brasil um deles, com apenas 6 patentes, atingindo a 20ª posição do ranking.

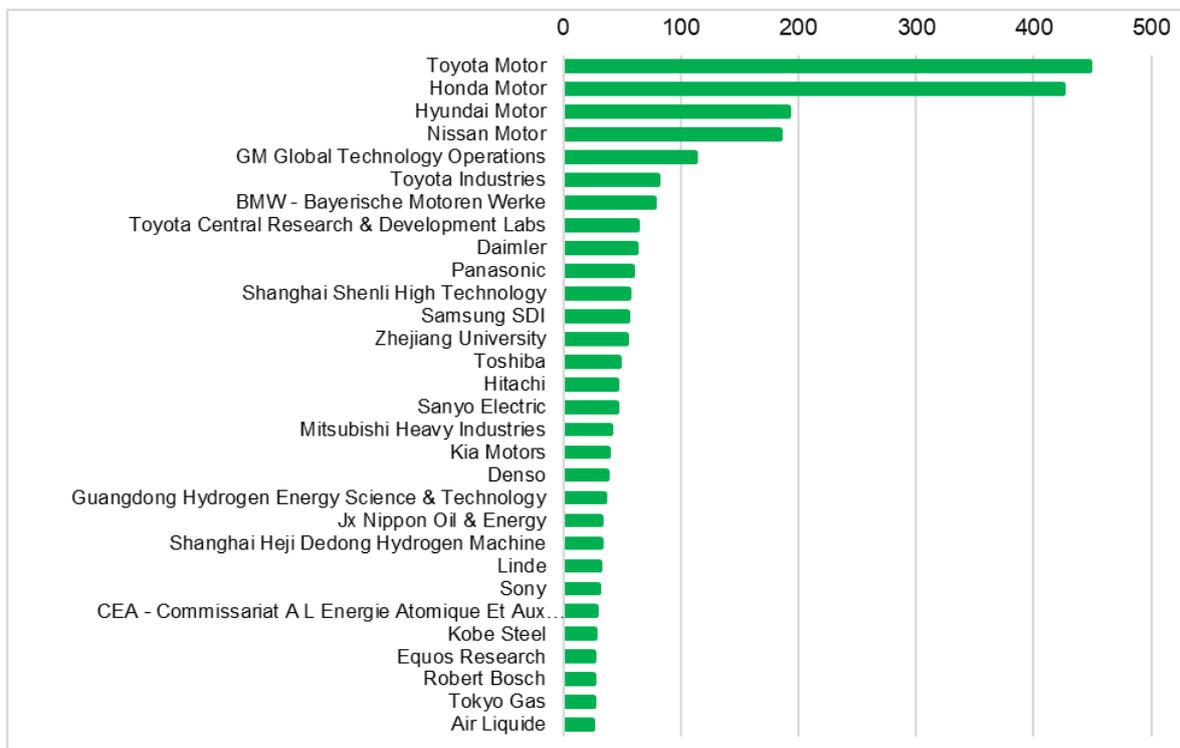
**Gráfico 5. Patentes de armazenamento de hidrogênio por países de prioridade (1996-2016)**



Fonte: Elaboração própria a partir de orbit.com

O gráfico 6 mostra que, assim como verificado em relação às CC, também para TH as instituições do setor automotivo, sobretudo montadoras tradicionais como Toyota, Honda, Nissan, Hyundai, General Motors, BMW e Daimler, aparecem como principais patenteadoras, seguidas de empresas de eletroeletrônicos, químicas, energia, P&D, universidades, etc.

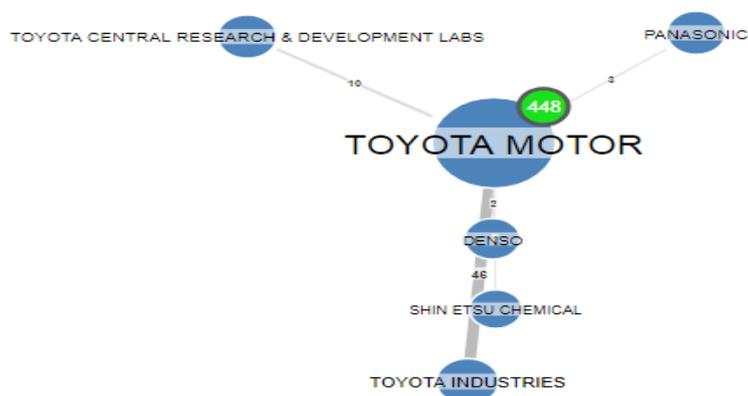
**Gráfico 6. Principais Instituições patenteadoras de tecnologias de armazenamento de hidrogênio (1996-2016)**



Fonte: Elaboração própria a partir de orbit.com

As redes de colaboração estão representadas na figura 2, sendo a principal delas formada pela Toyota. Algumas das patentes resultantes dessas redes são: aparelho de fornecimento de hidrogênio feito pela Toyota Motor com a Toyota Industries e Toyota Central Research & Development Labs, que são suas subsidiárias. Também foram encontradas outras cinco patentes resultantes das mesmas redes com tecnologias relacionadas a VCCs que não apenas referentes ao armazenamento de hidrogênio. Outro exemplo inclui a patente de bateria de níquel-hidrogênio, criada pela Toyota Motor com a Panasonic.

Figura 2. Rede de colaboração para patentes de armazenamento de hidrogênio (2016-1996).



Fonte: Elaboração própria a partir de orbit.com

#### 4.3. Considerações sobre as Patentes de CC e Armazenamento de Hidrogênio

Tanto o avanço tecnológico das CCs, como as de armazenamento de hidrogênio, evoluem de forma semelhante com picos de patentes em 2003 e 2004, além de pouca diferença de número de patentes no mesmo período de análise. Nesse aspecto, as tecnologias de armazenamento de hidrogênio tiveram mais resultados, mas isso mostra que ambas as tecnologias crescem proporcionalmente e que estão muito atreladas.

Em relação às CCs, a literatura e aplicação apresentam duas opções de tecnologias (PEMFC e SOFC) para os VCCs e, uma terceira que segue em situação emergente (a DEMFC) que ainda é um campo a ser desenvolvido. A PEMFC mostra-se a mais promissora no momento para ser aplicada nos VCCs; suas características técnicas explicam esta possível vantagem em relação às demais, principalmente a menor temperatura de funcionamento, mais fácil de ser alcançada, e por possui menor necessidade de consumo de energia e tempo para a partida do veículo. Dessa

tecnologia, é inegável a preferência do patenteamento da PEMFC pelos principais países detentores de patentes de CCs, e o Japão se destaca devido à alta preferência pela PEMFC em relação aos demais, concentrando sozinho aproximadamente 57% de todas as patentes de PEMFC mundiais.

Sobre os detentores dessas tecnologias, o Japão se encontra à frente de todos os países, possuindo aproximadamente metade das patentes de ambas as tecnologias (CC e TH para VCCs) protegidas em seu território, seguido pela China, EUA, Coreia do Sul, Alemanha e França. Esse movimento revela que a Ásia, a Europa e os EUA têm maior competência sobre essas tecnologias, conforme já exposto. Em ambas as tecnologias, montadoras e suas subsidiárias se encontram à frente no patenteamento, seguidas de empresas de eletroeletrônicos, que, de alguma forma, possuem interesse no desenvolvimento de energia renovável a partir do hidrogênio.

O Japão se encontra como o maior líder atual das patentes. E, como é possível perceber, foi um dos pioneiros a apostar na importância dessa tecnologia, já tendo criado um programa de P&D na área desde o início da década de 1990, tendo desde então intensificado e ampliado essa área de pesquisa.

A UE é um dos principais líderes de patentes graças a suas iniciativas através dos programas criados voltados integralmente para o desenvolvimento de tecnologias de hidrogênio e CCs e a inclusão desses na agenda do governo, pois conseguiram tirar essas tecnologias dos laboratórios e levá-las ao mercado, Essa iniciativa está na base do programa FCH JU, criado com esse objetivo, e conta com a mobilização da união de grupos formados por agentes científicos, industriais, públicos e consumidores.

Os EUA é um dos principais líderes de patentes graças à iniciativa do governo Bush em alocar volumes de recursos nessas tecnologias, com a criação de programas robustos e de parceria internacional que refletem em seus números de patentes.

As CCs de etanol direto representam uma alternativa estratégica para o Brasil, que possui uma infraestrutura e competências já consolidadas para esse combustível, podendo futuramente aproveitar as potencialidades das CCs nos veículos em sua frota.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os VCCs têm se desenvolvido significativamente nas últimas três décadas, com grande aceleração a partir dos anos 2000, devido a iniciativas promovidas pelos EUA, pelo Japão e pela UE, países que estão na liderança do desenvolvimento das tecnologias de hidrogênio e CCs. Tais iniciativas demonstram a importância do papel do Estado para o desenvolvimento dos VCCs, que ocorreu de maneira sistêmica e organizada, com vistas ao desenvolvimento da energia do hidrogênio como uma alternativa para os problemas ambientais e crises energéticas, como a dependência de combustíveis.

Mesmo que as iniciativas tenham sido motivadas por programas governamentais, é possível ver que seus resultados têm se difundido no setor privado, pois quando se observa os resultados dos dados analisados, prevalecem as instituições privadas, sendo poucas as instituições públicas. Percebe-se o resultado dos programas dos EUA, Japão e UE, quando se observa a origem das instituições que são as principais detentoras de patentes.

É notável observar que o esforço do desenvolvimento de cada tecnologia dificilmente ocorre sob a liderança de um único agente ou instituição, envolvendo geralmente mais de um ator. Portanto, muito mais do que somente olhar para o número de patentes, é necessário estudar suas redes de colaboração. O artigo que aqui apresentamos traz algumas das redes de colaboração em CC e armazenamento de hidrogênio, revelando o quão estratégico e desafiador são os investimentos em áreas tecnológicas novas, e o quão importante se tornam as iniciativas que somam esforços e compartilham os riscos do desenvolvimento. Novos estudos poderiam ampliar esses achados de forma a trazer mais contribuições sobre a atividade de patenteamento que ocorre de forma cooperativa.

As CCs exigem uma análise detalhada uma vez que demonstram uma competição interna sobre quais das suas possibilidades tecnológicas são viáveis, cada qual com suas vantagens e desvantagens, sendo necessário distingui-las na análise. Tal competição faz-se presente ao apresentar os números individualmente, mostrando que os principais países detentores de patentes de CCs seguem a tendência inicialmente para a PEMFC e, secundariamente, de forma mais lenta, para a SOFC, enquanto os países que têm posição intermediária ou distante não possuem uma rota preferencial para a escolha de um tipo de CC para patentear.

Diferentemente das CCs, o TH ainda não mostra tendências bem definidas, não necessitando de análises específicas e diferenciadas, principalmente por ser quase exclusivo o armazenamento de hidrogênio no estado gasoso nos tanques e/ou cilindros dos veículos.

Apesar de todas as suas vantagens, a tecnologia dos VCCs ainda encontra resistências tecnológicas e econômicas para sua ampla difusão. Promover a reestruturação da infraestrutura de abastecimento e ampliar a capacidade produtiva para atender à demanda de VCCs exige grandes investimentos e implica um período de transição até que o território se torne adequado para a completa difusão dos VCCs.

Esse trabalho demonstra que os VCCs têm grandes potencialidades para o futuro, mas que ainda possuem barreiras a serem superadas, como a infraestrutura de distribuição de hidrogênio. Não obstante, os VCCs têm se apresentado como um setor com potencial a ser explorado e desenvolvido, em linha para ampliar a sua representatividade no mercado e contribuir com a transição para meios de transporte que sejam de baixa emissão de poluentes.

## 6. REFERÊNCIAS

- AMARAL, E. G. do. (1994) O sistema "solar-hidrogênio" como fonte de energia para veículos: o protótipo "VEGA". 90p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica, Campinas, SP. 1994.
- AMARAL, E. G. do. (1998) Veículo elétrico com sistema energético híbrido: Célula de combustível/baterias eletroquímicas. 139p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Campinas, SP. 1998.
- Axonal (2014) Questel orbit: visão geral sobre o sistema. Disponível em: <[https://www.axonal.com.br/arquivos/PDF/Apresentacao\\_Questel\\_Orbit.pdf](https://www.axonal.com.br/arquivos/PDF/Apresentacao_Questel_Orbit.pdf)>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.
- BAKKER, S. (2010) Hydrogen patent portfolios in the automotive industry – The search for promising storage methods. *International Journal of Hydrogen Technology*, v. 35, n. 13, p. 6784-6793, 2010.
- BARASSA, E. (2015) Trajetória Tecnológica do Veículo Elétrico: Atores, Políticas e Esforços Tecnológicos no Brasil. Dissertação (Mestrado), Política Científica e Tecnológica, Universidade Estadual de Campinas.
- CHAN, C. C. (2010) Electric, Hybrid and Fuel- Cell Vehicles: Architectures and Modeling. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2010. Vol.59, No2, pp. 589-598.
- CHAN, C.C. (2007) The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles, *Proceedings of the IEEE*, vol. 95. n. 4. 2007. pp. 704-718.

CHAN, C. C. (2002) The state of the art of electric and hybrid vehicles. Proceedings of the IEEE, 90(2):247–275, 2002. doi:10.1109/5.989873.

CONSONI, F. L.; OLIVEIRA FILHO, A. A.; BARASSA, E.; MARTÍNEZ BUIRAGO, J. A.; MARQUES, M. C.; BERMUDEZ, T. (2018) Estudo de governança e políticas públicas para veículos elétricos. 1 ed. Brasília: PROMOB-e, 2018. V.1, p.124.

Espacenet. <[https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en\\_EP](https://worldwide.espacenet.com/classification?locale=en_EP)>. Acesso em: 08 de agosto de 2018.

European Union (2018). Case Study Report: Hydrogen Society (Japan). Mission-oriented R&I policies: In-depth case studies. Luxembourg. doi: 10.2777/516513.

European Union (2017). Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking. 10 th Stakeholder Forum. Luxembourg. doi:10.2843/875050.

FERREIRA, P. F. P. (2003). Análise da viabilidade de sistemas de armazenamento de energia elétrica na forma de hidrogênio utilizando células a combustível. 100p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP.

FRANÇA, R. O. (2007). Patente como fonte de informação tecnológica. Perspectivas em Ciência da Informação, [S.l.], v. 2, n. 2, nov. 2007. ISSN 19815344. Disponível em: <<http://portaldeperiodicos.eci.ufmg.br/index.php/pci/article/view/636>>. Acesso em: 25/07/2017.

GOMES, R. S.; SOUZA, M. M. de e BORTOLI, A. L. de. (2018). Modeling and simulation of a direct ethanol fuel cell considering overpotential losses and variation of principal species concentration. Chemical Engineering Research and Design. n. 136. 2018. pp. 371-384.

IEA, 2019, Global EV Outlook 2019: Scaling up the transition to electric mobility [s.l: s.n.]. Disponível em: [https://webstore.iea.org/download/direct/2807?fileName=Global\\_EV\\_Outlook\\_2019.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2807?fileName=Global_EV_Outlook_2019.pdf). />. Acesso em: 01 de outubro de 2019.

Inova (2014) Unicamp assina licença para sistema Questel Orbit, ferramenta de busca e análise de patentes. Disponível em: < <https://www.inova.unicamp.br/noticia/3366/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2019.

INPI (2016). Como proteger patente no exterior. Disponível em: < <http://www.inpi.gov.br/menu-servicos/patente/pct>>. Acesso em: 03/08/2017.

INPI (2017). O que é patente? Disponível em < <http://www.inpi.gov.br/servicos/perguntas-frequentes-paginas-internas/perguntas-frequentes-patente#patente>>. Acesso em 28/07/2017.

LEVE (2017). Viabilidade da criação de um cluster de mobilidade elétrica no Brasil: caracterização da cadeia de valor e das políticas regulatórias e de incentivo. Relatório de Pesquisa, Projeto CPFL/ ANEEL e DPCT/ Unicamp

MADDALENA, A.; PETRIS, M.; PALSADÉ, P.; SARTORI, S.; PRINCIPI, G.; SETTIMO, E.; MOLINAS, B. e RUSSO, S. lo. (2006) Study of Mg-based materials to be used in a functional solid state hydrogen reservoir for vehicular applications. n. 31. 2006. pp. 2097-2103.

OCDE. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2009). Patent Statistics Manual. Paris: OCDE. 158 p. Disponível em: < <http://www.oecd.org/sti/inno/oecdpatentstatisticsmanual.htm>>. Acesso em: 03/08/2017.

OLIVEIRA, D. (2017). Aceleramos a van elétrica da Nissan que bebe etanol. R7 Notícias. Jun 2017. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/carros/aceleramos-a-van-eletrica-da-nissan-que-bebe-etanol-05062017>>. Acesso em: 13 de agosto de 2018.

OLMO, N.R.S.; SALDIVA, P.H.N.; BRAGA, A.L.F.; LIN, C.A.; SANTOS, U.P.; PEREIRA, L.A.A. (2011) A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: implications for epidemiological studies and public policy. *Clinics*, Sao Paulo, v.66, n.4, pp.681-90.

PALOP, F.; VICENTE, J.M. (1999). *Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva: su potencial para la empresa española*. Madrid: COTEC. 107p.

REVOREDO, T. C. (2007) *Modelagem e Gerenciamento de Potência de um Veículo Elétrico Híbrido de Célula a Combustível*. 2007. 149 pgs. Dissertação de Mestrado. UFRJ. Rio de Janeiro.

SANTOS, A. M. R. (2008) *Tendências tecnológicas das células a combustível para uso do hidrogênio derivado de petróleo e gás natural*. 105p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP. 2008.

WIPO (2017a). *Guide to the International Patent Classification*. Suíça. 52 p. Disponível em: <[http://www.wipo.int/export/sites/www/classifications/ipc/en/guide/guide\\_ipc.pdf](http://www.wipo.int/export/sites/www/classifications/ipc/en/guide/guide_ipc.pdf)>. Acesso em: 03/08/2017.

WIPO (2017b). *IPC Green Inventory*. Disponível em <<http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/est/>>. Acesso em: 27/07/2017.