



**ANA BEATRIZ ALVES BORGES**

**PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA A MÉDIO PRAZO  
SOBRE PILHAS A COMBUSTÍVEL E SEU MERCADO**

**CAMPINAS, 2013**





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ANA BEATRIZ ALVES BORGES**

# **PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA A MÉDIO PRAZO SOBRE PILHAS A COMBUSTÍVEL E SEU MERCADO**

Orientadora: Profa. Dr. Wagner dos Santos Oliveira

Tese de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Química da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE DEFENDIDA PELA ANABEATRIZALVES BORGES E ORIENTADA PELO PROF.DR.WAGNER DOS SANTOS OLIVEIRA**

Assinatura do Orientador

A handwritten signature in red ink, appearing to read "Wagner", is written over a horizontal red line. The signature is stylized and cursive.

CAMPINAS  
2013

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

B644p Borges, Ana Beatriz Alves, 1982-  
Prospecção tecnológica a médio prazo sobre pilhas a combustível e seu mercado / Ana Beatriz Alves Borges. – Campinas, SP : [s.n.], 2013.

Orientador: Wagner dos Santos Oliveira.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química.

1. Combustíveis. 2. Mercado. 3. Prospecção. I. Oliveira, Wagner dos Santos, 1947-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Química. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em inglês:** Medium term technological forecasting on fuel cells and their market

**Palavras-chave em inglês:**

Fuel

Market

Forecasting

**Área de concentração:** Ciência e Tecnologia de Materiais

**Titulação:** Mestra em Engenharia Química

**Banca examinadora:**

Wagner dos Santos Oliveira [Orientador]

Afonso Rodrigues de Aquino

Reginaldo Guirardello

**Data de defesa:** 13-05-2013

**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Química

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA  
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE POLÍMEROS

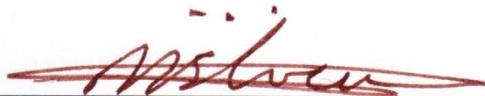
TESE DE MESTRADO

## Prospecção Tecnológica a Médio Prazo sobre Pilhas a Combustível e seu Mercado

Autora: Ana Beatriz Alves Borges

Orientadora: Wagner dos Santos Oliveira

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Tese:



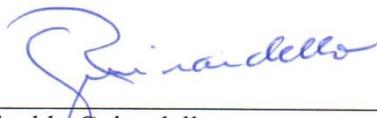
---

Prof. Dr. Wagner dos Santos Oliveira  
Instituição FEQ/UNICAMP



---

Prof. Dr. Afonso Rodrigues de Aquino  
Instituição IPEN/CNEN



---

Prof. Dr. Reginaldo Guirardello  
Instituição FEQ/UNICAMP

Campinas, 13 de maio de 2013



## **Dedicatória**

Aos meus pais e irmãos que me acompanharam durante essa jornada sempre incentivando e apoiando o aprofundamento no conhecimento da Engenharia Química.



## **Agradecimento**

Agradeço este trabalho ao professor Dr. Wagner dos Santos de Oliveira, pelo incentivo e tempo dedicado para que a tese pudesse ser concluída. Agradeço ainda a CAPES pelo financiamento desta pesquisa.

Agradeço também aos professores Ennio Peres da Silva, Newton Cesario Frateschi, do Instituto de Física "Gleb Wataghin" e ao engenheiro William Rezende pela contribuição proporcionada para o enriquecimento dessa pesquisa.

Agradeço ainda aos meus amigos que me acompanharam e se tornaram importantes nessa minha jornada.



“A parte que ignoramos é muito maior que tudo quanto sabemos”  
Platão

“A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces”  
Aristóteles



# **PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA A MÉDIO PRAZO SOBRE PILHAS A COMBUSTÍVEL E SEU MERCADO.**

## **Resumo**

Avaliar o futuro é uma atividade realizada pela humanidade desde a antiguidade. A capacidade de prever eventos possibilita tomar-se medidas necessárias para a própria sobrevivência e para evitar surpresas desagradáveis. Na área da ciência e tecnologia, a previsão do futuro, tornou-se uma importante ferramenta que auxilia e possibilita aos estrategistas de mercado saber onde investir o capital do presente, para geração de lucro e também aos governos a decisão estratégica sobre campos de investimento tecnológico.

A crescente preocupação com a perspectiva de esgotamento e a intensa poluição da atmosfera pelo uso de combustíveis fósseis estimulou os cientistas a pesquisar fontes alternativas de energia, preferencialmente limpas e renováveis, sendo uma das mesmas as pilhas a combustível.

O trabalho consiste em uma prospecção tecnológica de médio prazo sobre a presença das pilhas a combustível no mercado, constituindo-se em um levantamento dos seis principais tipos presentes hoje no mercado: AFC, DMFC, MCFC, PAFC, PEMFC, SOFC.

Para a realização do mesmo, utilizou-se da Metodologia Delphi e a contribuição de especialistas em pilhas a combustível. Para estes peritos, foi enviado um questionário através de correio eletrônico, com perguntas sobre o parecer quanto a presença das pilhas a combustível no mercado dentro de 20 anos.

Através das respostas enviadas, pode-se concluir que o mercado das pilhas a combustível é promissor e está em pleno crescimento e que as mesmas estarão cada vez mais presentes no cotidiano em um futuro próximo. As pilhas a combustível que mostraram ser mais promissoras, segundo a opinião dos respondentes, são as de tipo PEMFC e SOFC. Os resultados obtidos foram comparados com os dados da indústria nos últimos cinco anos.

Palavra-Chave: AFC, DMFC, MCFC, PAFC, PEMFC, SOFC, PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA, DELPHI



# **MEDIUM TERM TECHNOLOGICAL FORECASTING ON FUEL CELLS AND THEIR MARKET.**

## **Abstract**

To evaluate the future is one task realized by the human kind since the dawn of time. The capability to foresee events enables adoption of measures for our own survival and also helps to avoid unpleasant surprises. In the science and technology areas, the future evaluation became an important tool that enables the market strategists to know where invest today's money for generation of profit, as well as it enables governments to make strategic decisions on which science fields would be best to invest money.

The growing concern with the fossil fuel sources shortage and for its intense atmospheric pollution pressed the scientists to research alternative energy sources, being them preferably clean and renewable. One of these technologies is the use of fuel cells.

This work consists of a technological prospection regarding the market availability on the near term of six of the current fuel cell technologies: AFC, DMFC, MCFC, PAFC, PEMFC and SOFC.

To realize this work, it was used both the Delphi Methodology and the field specialists input. The fuel cell specialists received an electronic questionnaire via email with pertinent questions on the availability of each fuel cell technology listed in the next 20 years.

Using the answers, it can be concluded that the fuel cell market is promising and in full growth leading to an increasing presence of them in the daily life in a near future. The technologies that are preeminent according to the pool are the fuel cells based on PEMFC and SOFC. The results obtained were compared to recent years industry data.

Key-Words: AFC, DMFC, MCFC, PAFC, PEMFC, SOFC, Technological Forecasting, Delphi



## Sumário

<b>1 Introdução .....</b>	<b>1.</b>
1.1 Histórico das Pilhas a Combustível .....	3.
1.1.1 Desenvolvimento das Pilhas a Combustível .....	3.
1.2 Estrutura da Dissertação .....	6.
<b>2 Objetivos .....</b>	<b>9.</b>
<b>3 Revisão da Literatura .....</b>	<b>11.</b>
3.1 Pilhas a Combustível .....	11.
3.1.1 AFC.....	13.
3.1.2 DMFC .....	15.
3.1.3 MCFC .....	18.
3.1.4 PAFC .....	20.
3.1.5 PEMFC .....	23.
3.1.6 SOFC .....	26.
3.2 Síntese sobre Pilhas a Combustível .....	31.
3.2.1 Principais Características.....	31.
3.2.2 Vantagens e Desvantagens.....	33.
3.3 Empresas do Ramo .....	36.
3.4 Prospecção Tecnológica .....	38.
3.4.1 Histórico sobre a Prospecção Tecnológica .....	39.
3.4.1.1 Termos Usados na Prospecção Tecnológica.....	41.
3.4.2 Família de Métodos e Técnicas .....	42.
3.4.2.1 Árvore de Relevância .....	46.
3.4.2.2 Brainstorming .....	46.
3.4.2.3 Cenários .....	46.
3.4.2.4 Delphi .....	47.
3.4.2.5 Matriz de Impactos Cruzados .....	48.
3.4.2.6 Sistemas Dinâmicos.....	48.
3.4.2.7 Regressão.....	48.



3.4.3 Vantagens e Desvantagens das Técnicas .....	49.
<b>4 Método Delphi .....</b>	<b>51.</b>
4.1 A Técnica.....	51.
4.1.1 Vantagens.....	54.
4.1.2 Desvantagens .....	54.
4.1.3 Especialistas.....	54.
4.1.4 Formulação do Questionário.....	55.
<b>5 Resultados e Discussões.....</b>	<b>57.</b>
5.1 Metodologia.....	57.
5.1.1 Question Pro .....	58.
5.2 Resultados.....	59.
5.2.1 Perfil dos Participantes .....	60.
5.2.2 Familiaridade com o Assunto .....	62.
5.2.3 Importância do Estudo.....	67.
5.2.4 Presença no Mercado.....	68.
5.2.5 Tipos de Mercado .....	78.
5.2.6 Vantagens das Pilhas a Combustível .....	78.
5.2.7 Como o Mercado Estará em Vinte Anos .....	80.
5.2.8 Presença no Mercado.....	81.
5.2.9 Fatores Limitantes.....	87.
5.2.10 Aceitação dos Consumidores.....	89.
5.2.11 Mudanças Necessárias .....	95.
5.2.12 Processos de Fabricação do Hidrogênio .....	101.
5.3 Dados da Indústria .....	102.
<b>6 Conclusão.....</b>	<b>107.</b>
<b>7 Sugestões para Trabalhos Futuros .....</b>	<b>111.</b>
<b>8 Referências .....</b>	<b>113.</b>



## Listas de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Título da Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 01 -	Ilustração do experimento da “pilha a gás” de Sir William Grove	4
Figura 02 -	Ônibus da Cope, lançado em junho de 2012 no Rio+20	6
Figura 03 -	Grupo das regiões dos usuários das pilhas a Combustível.	12
Figura 04 -	Funcionamento da pilha AFC	14
Figura 05 -	Modelo de uma pilha do tipo AFC	15
Figura 06 -	Funcionamento da pilha DMFC	16
Figura 07 -	Empilhadeira movida pilha tipo DMFC.	17
Figura 08 -	Instalação de uma MCFC feita na empresa Sierra Nevada, Estados Unidos	19
Figura 09 -	Funcionamento da pilha MCFC	19
Figura 10 -	Funcionamento da pilha PAFC	21
Figura 11 -	Instalação de uma PAFC em na fábrica da Fuji-Eletric	22
Figura 12 -	Pilha tipo PAFC, em uma fábrica na Coreia do Sul	22
Figura 13 -	Funcionamento da pilha PEMFC	24
Figura 14 -	Um dos modelos de PEMFC produzida pela <i>Altergy</i>	26
Figura 15 -	Ilustração de funcionamento da pilha SOFC	27
Figura 16 -	Modelo de uma SOFC produzida pela Simiens/Westinghouse	29
Figura 17 -	Componentes de uma SOFC planar	30
Figura 18 -	Componetes de uma SOFC tubular	30
Figura 19 -	Fluxograma das etapas da metodologia Delphi	47
Figura 20 -	Tela do questionário criado no <i>QuestionPro</i> * enviada aos especialistas	58
Figura 21 -	Ramo de trabalho dos entrevistados	61
Figura 22 -	Conhecimento dos respondentes sobre AFC	62
Figura 23 -	Conhecimento dos respondentes sobre DMFC	63
Figura 24 -	Conhecimento dos respondentes sobre MCFC	64
Figura 25 -	Conhecimento dos respondentes sobre PAFC	65
Figura 26 -	Conhecimento dos respondentes sobre PEMFC	66
Figura 27 -	Conhecimento dos respondentes sobre SOFC	67



Figura 28 -	Importância dos estudos das pilhas a combustível	68
Figura 29 -	Presença no mercado em 20 anos das AFC	69
Figura 30 -	Crescimento das pilhas AFC nas últimas décadas	69
Figura 31 -	Presença no mercado em 20 anos das DMFC	70
Figura 32 -	Crescimento das pilhas DMFC nas últimas décadas	71
Figura 33 -	Presença no mercado em 20 anos das MCFC	72
Figura 34 -	Crescimento das pilhas MCFC nas últimas décadas	72
Figura 35 -	Presença no mercado em 20 anos das PAFC	73
Figura 36 -	Crescimento das pilhas PAFC nas últimas décadas	74
Figura 37 -	Presença no mercado em 20 anos das PEMFC	75
Figura 38 -	Crescimento das pilhas PEMFC nas últimas décadas	75
Figura 39 -	Presença no mercado em 20 anos das SOFC.	76
Figura 40 -	Crescimento das pilhas SOFC nas últimas décadas	77
Figura 41 -	Vantagens do uso das pilhas a combustível	78
Figura 42 -	Importância em investir em pesquisas na área de pilhas a combustível	80
Figura 43 -	Grau de relevância da AFC no mercado em 20 anos	81
Figura 44 -	Grau de relevância da DMFC no mercado em 20 anos	82
Figura 45 -	Grau de relevância da MCFC no mercado em 20 anos	83
Figura 46 -	Grau de relevância da PAFC no mercado em 20 anos	84
Figura 47 -	Grau de relevância da PEMFC no mercado em 20 anos	85
Figura 48 -	Grau de relevância da SOFC no mercado em 20 anos	86
Figura 49 -	Fatores que limitam a produção em grande escala das pilhas a combustível	87
Figura 50 -	Aceitação do uso de pilhas AFC pelo consumidor final	90
Figura 51 -	Aceitação do uso de pilhas DMFC pelo consumidor final	91
Figura 52 -	Aceitação do uso de pilhas MCFC pelo consumidor final	92
Figura 53 -	Aceitação do uso de pilhas PAFC pelo consumidor final	93
Figura 54 -	Aceitação do uso de pilhas PEMFC pelo consumidor final	94
Figura 55 -	Aceitação do uso de pilhas SOFC pelo consumidor final	95
Figura 56 -	Medidas necessárias para a redução nos preços das AFC	96



Figura 57 -	Medidas necessárias para a redução nos preços das DMFC	97
Figura 58 -	Medidas necessárias para a redução nos preços das MCFC	98
Figura 59 -	Medidas necessárias para a redução nos preços das PAFC	99
Figura 60 -	Medidas necessárias para a redução nos preços das PEMFC	100
Figura 61 -	Medidas necessárias para a redução nos preços das SOFC	101



## Listas de Tabelas

<b>Tabela</b>	<b>Título da Tabela</b>	<b>Página</b>
Tabela 01 -	Diferenças entre a PEM de alta temperatura e a PEM de baixa temperatura.	25
Tabela 02 -	Resumo das Principais Características das Pilhas a Combustível	32
Tabela 03 -	Principais vantagens e desvantagens das pilhas a combustível	35
Tabela 04 -	Algumas empresas que Trabalham com Pilhas a Combustível	37
Tabela 05 -	Enfoques filosóficos da geração do conhecimento.	43
Tabela 06 -	Classificação dos Métodos e Técnicas de Análises de Tecnologia do Futuro	45
Tabela 07 -	Vantagens e Desvantagens de alguns métodos e técnicas de prospecção tecnológica	50
Tabela 08 -	Opinião dos especialistas sobre o processo de obtenção de Hidrogênio.	102
Tabela 09 -	Crescimento das vendas das pilhas a combustível por setor	103
Tabela 10 -	Energia das pilhas a combustível produzida por setor.	103
Tabela 11 -	Crescimento das Vendas por Pilha a Combustível	103
Tabela 12 -	Energia Gerada por Pilha a Combustível	104
Tabela 13 -	Crescimento das Vendas por Região	104
Tabela 14 -	Geração de energia por Região	104



## Listas de Abreviaturas

- AFC - Pilha a combustível Alcalina
- APU - Auxiliary Power Unit – Unidade de energia auxiliar
- CHP - Combined Heat and Power – Combinação de Calor e Energia
- COPPE - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
- CTPETRO - Fundo Setorial de Petróleo e Gás Natural
- DMFC - Pilha a combustível de Metanol Direto
- FC - Fuel Cell – Pilhas a Combustível
- FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle – Veículo movido a pilha a combustível
- GE - *General Electric*
- HT PEMFC - Pilha a combustível de Membrana Polimérica de Alta Temperatura
- MCFC - Pilha a combustível de Carbonato Fundido
- NASA - National Aeronautics and Space Administration
- PAFC - Pilha a combustível de Ácido Fosfórico
- P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
- PEM - Pilha a combustível de Membrana Polimérica
- PEMFC - Pilha a combustível de Membrana Polimérica
- RAND - Research and Development – Rand Corporation
- RoW - Resto of the World – Resto do Mundo
- SOFC - Pilha a combustível de Óxido Sólido
- UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro
- UPS - “Uniterruptible Power Supply”



## Lista de Símbolos

- V - Volts
- A - Ampére
- atm - Atmosfera
- kW - Quilowatt
- km - Quilometro
- °C - Celsius



## 1 Introdução

A necessidade de uma fonte de energia é parte da história da humanidade. Desde os tempos mais remotos, o ser humano buscou auxiliar os afazeres do cotidiano com alguma fonte geradora de energia. Descobriu-se então, a lenha, o carvão e por fim o petróleo, entre outros. O uso extensivo da lenha e do petróleo foi feito sem maiores preocupações com o ambiente, fazendo com que ao longo dos séculos os problemas de poluição se agravassem.

Ao passar dos anos, o padrão de qualidade de vida da sociedade cresceu, e a necessidade de um aperfeiçoamento na qualidade de energia distribuída e dos serviços inerentes aumentou (GOLDEMBERG, 2003).

O modelo atual, dependente de combustíveis fósseis, já não atende mais a necessidade de preservação e conservação de recursos naturais. Além disso, esses combustíveis não são renováveis e o seu beneficiamento e uso promovem diversos impactos ambientais, entre eles a emissão de poluentes atmosféricos como o dióxido de carbono, principal responsável pela ocorrência do efeito estufa e consequente aquecimento global. Não obstante, existem fatores estratégicos e econômicos relevantes associados a concentrações de suas jazidas em poucas regiões do mundo e à instabilidade de seus preços (FUKUROZAKI, 2004).

A exaustão de alguns recursos e os altos custos sociais com as fontes tradicionais de energia levaram à procura de novos recursos energéticos. Começou então uma intensa busca e aprimoramento de fontes renováveis, que apesar de não serem propriamente de descobrimento recente, não eram utilizadas principalmente pelo alto custo e pelo então menor rendimento.

Entre as fontes menos poluentes e que têm mostrado uma eficiência satisfatória e muitas vezes até melhor que a dos meios convencionais estão as pilhas a combustível.

As pilhas a combustível representam uma tecnologia cujo estudo cresceu muito na segunda metade do século XX. Por definição, elas consistem em diversas células, ligadas geralmente em paralelo, nas quais a energia química é transformada em energia elétrica. As células são compostas por dois eletrodos porosos e necessitam de um eletrólito para seu funcionamento.

A tecnologia de tais pilhas vem ao encontro das necessidades do mundo atual, no que concerne ao uso de energias alternativas. Geram energia elétrica, não recorrendo aos dispositivos

térmicos, evitando seus inconvenientes e limitações como as impostas pelo ciclo de Carnot. A energia resultante é ecologicamente limpa e com alta eficiência. No futuro poderá ser um importante substituto dos motores a combustão, pelo uso de veículos movidos a hidrogênio.

Para que as pilhas a combustíveis sejam realmente utilizadas no cotidiano em um futuro de 10 a 20 anos, são necessários investimentos para que a simplicidade de construção e que os componentes da estrutura sejam mais econômicos. Caso contrário, o resultado seria formatos robustos, excessivamente caros, inviabilizando o processo. Digno de nota é que um fator importante no que diz respeito a custos é a quantidade de platina utilizada como eletrocatalisador desses reatores.

O estudo da tecnologia de pilhas a combustível encontra-se em rápida expansão, sendo a cada dia lançados novos produtos com diferentes características operacionais, dimensões, potência, e outras adaptações, adequando-se a diversas necessidades comerciais e residenciais. Modelos computacionais que simulam novos produtos próximos à realidade, com seu complexo comportamento de células, evitam a necessidade da montagem de um número excessivo de protótipos durante o desenvolvimento tecnológico.

As maiores vantagens das pilhas a combustível devem-se ao fato de que elas são silenciosas e têm baixas emissões de poluentes (o que torna o seu uso interessante dada à ênfase com a preservação ambiental, sendo, contudo, digno de nota que o problema não é totalmente eliminado). A desvantagem nos dias de hoje está no fato de que esse método de geração de energia é, na maioria das vezes, caro, tornando inviável economicamente uma produção em grande escala.

As pilhas a combustível podem ser classificadas de diversos modos como pela temperatura de funcionamento, pelo tipo de eletrólito e por sua funcionalidade. Podem ser empregadas em diversos campos do comércio e da indústria, como a aeroespacial, automobilística e pequenas edificações, e utilizadas também para fins de geração portátil como em telefones celulares, notebooks e pequenos veículos.

## 1.1 Histórico das Pilhas a Combustível

Embora o funcionamento das pilhas a combustível envolva uma alta tecnologia, o aparecimento das mesmas tem origem no século XIX. Os dispositivos mais modernos, contudo, apareceram no fim da primeira metade do século XX, na época da Segunda Guerra Mundial, quando foram intensamente estudadas.

Sir Humphrey Davy, químico inglês, foi quem deu início à “ideia” das pilhas a combustível, fazendo um importante estudo em eletroquímica, usando carbono e ácido nítrico. Mas foi Sir William Grove, um advogado e físico galês, quem foi considerado o precursor das pilhas a combustível, pois apresentou, em 1839, por meio de um experimento em Paris, a “Célula de Grove”. Essa ideia remota de pilha usava um eletrodo de platina imerso em ácido nítrico e um eletrodo de zinco imerso em sulfato de zinco para gerar uma corrente de 12 A e uma tensão de 1.8 V (NETO, 2005).

Em meados dos anos 30, Francis Bacon fazia nos Estados Unidos um importante e intenso trabalho de desenvolvimento das pilhas a combustível. Embora fossem extremamente caras, estas provaram ser suficientemente confiáveis para atrair a atenção da *Pratt & Whitney*. Essa empresa se uniu à *Energy Conversion*, iniciando assim um trabalho para o desenvolvimento de um sistema de geração de energia para a NASA.

Este sistema era constituído por três unidades de pilhas a combustível alcalinas e operava a pressões de 3,5 atm, cada um produzindo 1,4 kW de potência. A tensão variava entre 27 V e 31 V, com a vida útil limitada a 400 horas de operação, devido principalmente à corrosão do cátodo (eletrodo). A construção de novas pilhas a combustível alcalinas, operando com altas pressões, foi paralisada, pois sua comercialização mostrou-se inviável, tendo como principais obstáculos o alto custo e a pequena vida útil (NETO, 2005).

### 1.1.1 Desenvolvimento das Pilhas a Combustível

Nesta seção será apresentado um breve histórico do desenvolvimento das pilhas a combustível. Desde a descoberta no século XIX, com o ensaio do Sir William Grove, até os experimentos relevantes que conduziram sua criação e os dias atuais.

1801: Humphry Davy demonstrou o princípio de funcionamento do que se tornaria mais tarde a pilha a combustível;

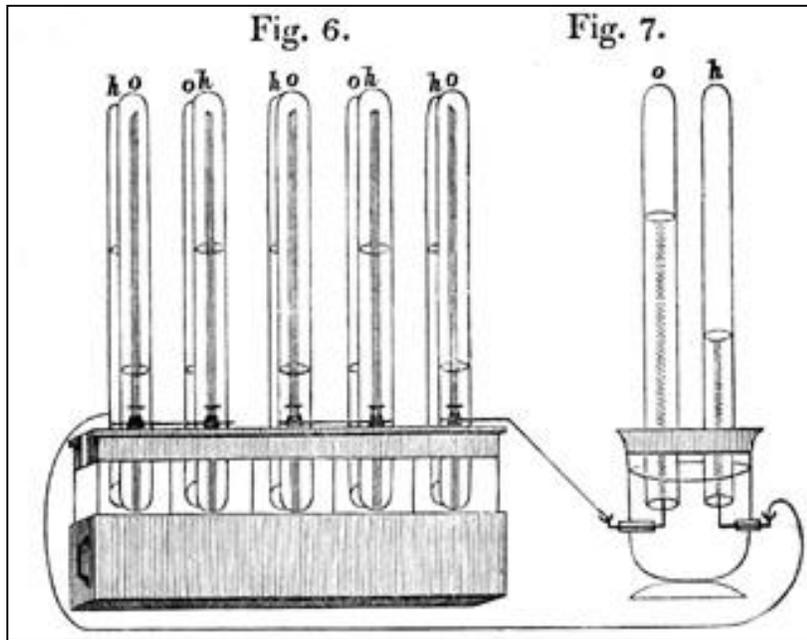


Figura 01- Ilustração do experimento da “pilha a gás” de Sir William Grove.  
(Fonte: Proceedings of the Royal Society)

1839: Sir William Robert Grove desenvolveu a primeira pilha a combustível, chamada “pilha a gás”;

1889: Charles Langer e Ludwig Mond desenvolveram a invenção de Grove e a nomearam “pilha a combustível”;

1939: Francis Bacon desenvolve uma pilha, utilizando eletrodos de níquel, que operava em até 220 atm;

1950: A General Electric desenvolve nos Estados Unidos a PEM;

1959: Francis Bacon faz uma demonstração da AFC de 5 kW;

Anos 1960: A NASA é pioneira no uso de pilhas a combustível, que eram utilizadas nos programas espaciais Apollo e Gemini;

*Anos 1970:* A crise petrolífera incentiva a busca de novos meios de energia alternativa. Nessa época já começam a aparecer as PAFC;

*Anos 1980:* A “*US Navy*” utilizou pilhas a combustível em submarinos;

*Anos 1990:* Pilhas a combustível para fins estacionários são desenvolvidas para utilização comercial e industrial;

*2007:* Pilhas a combustível começam a ser vendidas comercialmente como APU e como fonte de energia substituta;

*2008:* A empresa Honda começa a alugar carros que são movidos a energia de pilhas a combustível;

*2009:* No Japão inicia-se a venda comercial de micro-CHP residencial e baterias a base de pilhas a combustível, que têm grande aceitação do público.

Na Figura 02 é mostrado o primeiro ônibus desenvolvido pela COPPE e a UFRJ, com tecnologia 100% nacional, lançado em junho de 2012, movido por uma pilha a combustível. Tem capacidade para 70 passageiros e autonomia próxima de 500 km. Consome 5 kg de hidrogênio para 100 km percorridos. Espera-se com o mesmo propagar a tecnologia no país e também incentivar o uso do veículo nas áreas urbanas já por ocasião da copa do mundo de 2014.



Figura 02 – Ônibus da Cope, lançado em junho de 2012 no Rio+20  
(fonte: COPPE, 2012)

## 1.2 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está constituído de oito capítulos, sendo a pesquisa e seus resultados descritos em cinco capítulos, que são:

- Capítulo 03: Revisão da literatura sobre o tema proposto: Pilhas a combustível. Nesse capítulo há um breve resumo sobre as AFC, DMFC, MCFC, PAFC, PEMFC e SOFC. Em seguida, apresentam-se as vantagens e desvantagens do uso das pilhas a combustível. Ainda nesse capítulo, é apresentado um levantamento das principais indústrias que trabalham direta ou indiretamente com pilhas a combustível. Por fim, consta uma discussão acerca de alguns dos diversos métodos e técnicas de prospecção tecnológica, sendo expostas resumidamente as vantagens e desvantagens das mesmas e as situações em que são indicadas para uso;
- Capítulo 04: Exposição da metodologia Delphi. Explicitadas as principais vantagens e desvantagens, a origem da técnica e o método de condução da pesquisa. Também é discutida a construção do questionário e é apresentada a maneira como foram registrados

e tabulados os dados da pesquisa através do sistema do *QuestionPro*, que também é descrito;

- Capítulo 05: Discussão dos resultados da pesquisa sobre o mercado das pilhas a combustível em um período de médio prazo. É realizada também uma comparação desses resultados com um levantamento feito sobre as indústrias nos últimos cinco anos;
- Capítulo 06: É o capítulo onde são apresentadas as conclusões da pesquisa realizada;
- Capítulo 07: Sugestões e trabalhos futuros;

Ainda neste trabalho é apresentado, na forma de anexo, o questionário enviado aos especialistas, nas versões em português e em inglês, e a lista de empresas ligadas à área de pilhas a combustível, com seus respectivos sites e ramos de atividades, assim como os dados tabulados das questões enviadas aos especialistas.



## 2 Objetivos

Nos últimos anos, a busca por fontes de energias alternativas tem atraído pesquisadores e indústrias no mundo todo. Atualmente, um novo mercado está sendo visto como promissor: o das chamadas pilhas a combustível. Estas são fontes de energia limpa e não dependem das limitações impostas pela natureza, como no caso dos recursos fósseis, que têm um estoque finito e são os principais poluidores do ambiente.

O objetivo desta pesquisa consiste em fazer uma prospecção tecnológica de médio prazo, considerando um período de 20 anos, para as principais pilhas a combustível (AFC, MCFC, DMFC, PAFC, PEMFC, SOFC) presentes no mercado.

Para a realização desta pesquisa, será utilizada a metodologia Delphi. O foco do trabalho será o estudo do parecer, quanto ao mercado destes dispositivos eletroquímicos geradores de energia, de profissionais que trabalham com pilhas a combustível, ligados a universidades, à iniciativa privada e ao governo.



### 3 Revisão da Literatura

A revisão da literatura abordará as características mais importantes das principais pilhas a combustível, sendo expostas as principais vantagens e as desvantagens das mesmas e o nicho de mercado. Também serão apresentadas algumas características funcionais das mesmas, assim como as principais reações químicas envolvidas (cátodo, ânodo e global) em cada uma.

As principais vantagens e desvantagens do uso das pilhas combustível são levantadas, e é feito um resumo de algumas empresas que trabalham no ramo.

Por fim, também são abordados os métodos mais relevantes para realização de uma prospecção tecnológica.

#### 3.1 Pilhas a Combustível

As pilhas a combustível são dispositivos extremamente versáteis, com sistemas capazes de gerar energia, desde pequenas potências até grandes megawatts.

Elas são utilizadas em três tipos de mercado:

- Portáteis: São utilizadas em equipamentos eletroeletrônicos de pequeno porte que possuem certa mobilidade. Potência típica: 5 W – 20 kW. Pilhas indicadas para este uso: PEMFC, DMFC. Exemplos de aplicação: Câmeras, MP3, celulares, aplicações militares, lanternas, etc.
- Estacionárias: São utilizadas na geração de energia elétrica em postos fixos como indústrias, prédios, redes hospitalares, universidades, etc. Potência típica: 0,5 kW – 400 kW. Pilhas indicadas para este uso: MCFC, PAFC, PEMFC, SOFC. Exemplos de aplicações: Fornecimento grande de energia combinado com calor e potência (CHP), fornecimento de pequenas quantidades de energia (micro-CHP), e fornecimento ininterrupto de energia (UPS).

- Transporte: utilizada para locomoção ou aprimoramento da energia de veículos. Potência típica: 1 kW – 100 kW. Pilhas indicadas para este uso: PEMFC, DMFC. Exemplos de aplicações: Carros elétricos movidos a pilha a combustível (FCEV), caminhões, ônibus.

No mercado hoje, existe uma diversidade de tipos de pilhas a combustível. As principais são: PEMFC, HT PEMFC, DMFC, PAFC, MCFC, SOFC e as AFC. Estas são utilizadas no mundo todo, e existem quatro grandes regiões que podem ser classificadas quanto ao uso: Ásia, Europa, Estados Unidos, e o Resto do Mundo (RoW), conforme é mostrado na Figura 03.

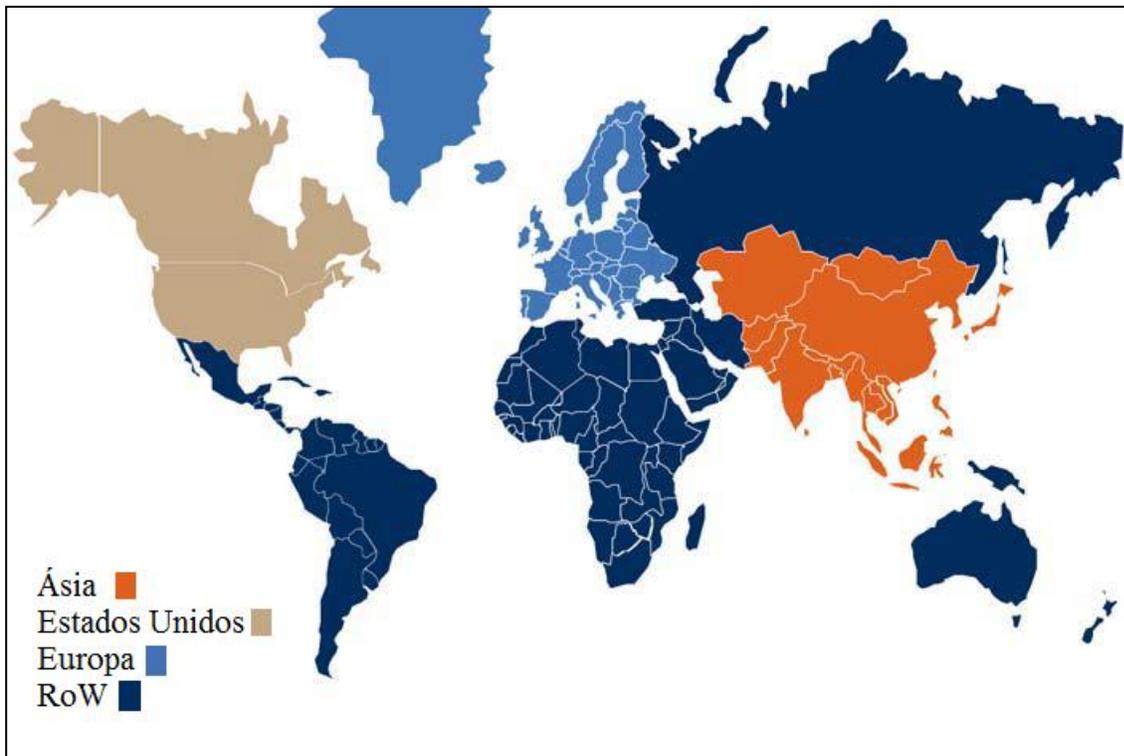


Figura 03 – Grupo das regiões dos usuários das pilhas a Combustível.

(Fonte: Adaptado do Fuel Cell Today, 2012)

As pilhas a combustível podem ser classificadas de diversos modos: pelo eletrólito utilizado, pela temperatura de operação, pela eficiência de conversão e pelo tipo de catalisador, entre outros. Cada uma das pilhas a combustível tem suas próprias características e oferecem uma série de combinações de benefícios.

A classificação adotada, nesta pesquisa, para separar as pilhas a combustível, foi a mais usual delas: foram caracterizadas pelo tipo de eletrólito que utilizam e serão discutidas em ordem alfabética de sigla. As pilhas HT PEMFC e PEMFC serão apresentadas juntas.

### 3.1.1 AFC

A sigla AFC vem do inglês “*Alkaline Fuel Cell*”, que em português significa “Pilha a combustível Alcalina”. É uma tecnologia que foi desenvolvida pelo britânico Francis Bacon e sua equipe em 1930 e utiliza eletrólitos alcalinos em vez de eletrólitos ácidos. (NETO, 2005).

As AFC operam em baixas temperaturas, ao redor de 70 °C. Isto permite a utilização de eletrodos de níquel e teflon ligados ao carbono, assim como o uso de polímeros menos dispendiosos em outras partes. Ainda pode-se citar como vantagem a possibilidade de não se utilizar platina como catalisador, podendo no lugar utilizar-se níquel ou prata. A reação no cátodo das pilhas do tipo AFC é mais rápida em comparação com as outras pilhas, devido à presença do eletrólito alcalino. Sendo assim, elas conseguem uma maior eficiência energética (até 70%).

As pilhas alcalinas foram o primeiro tipo desenvolvido e foram utilizadas por vários anos na NASA para geração de energia e produção de água dentro das naves. Já foram empregadas em missões como a Apollo e a Gemini, sendo atualmente utilizadas nos ônibus espaciais. Atualmente, os principais usos das AFCs estão no meio militar e na indústria aeroespacial, sendo que as pilhas alcalinas da *UTC Fuel Cell* já operaram em 18 missões espaciais e por um tempo acima de 10.000 horas. (UTC Fuel Cells, 2012). O mercado das AFC é dominado pela empresa britânica *AFC Energy*.

Na Figura 04, é apresentada a imagem do modo de operação da pilha alcalina.

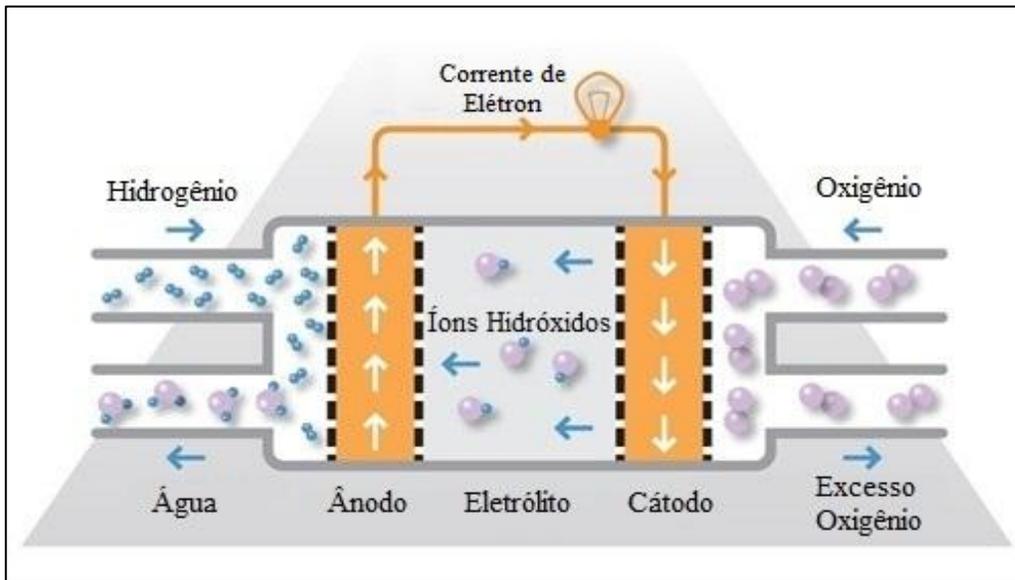
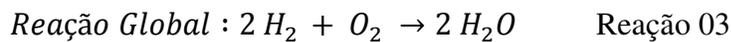
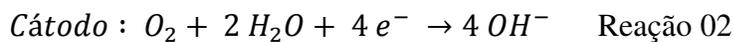
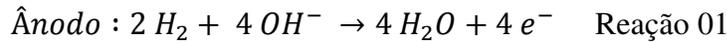


Figura 04 - Funcionamento da pilha AFC.

(Fonte: Adaptado do Fuel Cell Today, 2012)

Nas pilhas alcalinas, ocorrem as seguintes reações químicas:



Uma de suas desvantagens está no fato que elas são muito sensíveis à presença de  $\text{CO}_2$ . Por essa razão, o uso de oxigênio e hidrogênio altamente puros é recomendado para que se evite a formação de carbonatos sólidos que viriam a bloquear as reações na própria pilha. Outra desvantagem é a necessidade do uso de um eletrólito de hidróxido de potássio embebido numa matriz. Ambos os fatores tornam esse tipo pilha extremamente cara, tornando praticamente inviável a sua comercialização para o grande público. Recentes investimentos estão sendo realizados a fim de trazer as AFC para um mercado mais abrangente. Para isso, testes com AFC sem platina estão sendo desenvolvidos, na esperança de baixar o custo das mesmas e abordar o mercado portátil. Na Figura 05, é exibida uma das pilhas a combustível utilizadas em um dos programas espaciais.



Figura 05 - Modelo de uma pilha do tipo AFC.  
(Fonte: UTC Power, 2012)

### 3.1.2 DMFC

A sigla DMFC é oriunda do inglês “*Direct Methanol Fuel Cell*” e significa Pilha a Combustível de Metanol Direto. Sua origem data do início dos anos 1990, quando foi criada e desenvolvida por dois pesquisadores, Dr. Surya Prakash e Dr. George A. Olah (ambos da *University of Southern California*), juntamente com membros de diversas instituições americanas, como a *Jet Propulsion Laboratory*. Essa pilha tem um eletrólito polimérico e um catalisador de platina-rutênio no ânodo, possibilitando assim a utilização de metanol em vez de hidrogênio como combustível. O uso de metanol como combustível para as células faz com que seja possível a geração de baixas densidades de corrente.

A Figura 06 mostra o mecanismo de funcionamento da pilha do tipo DMFC.

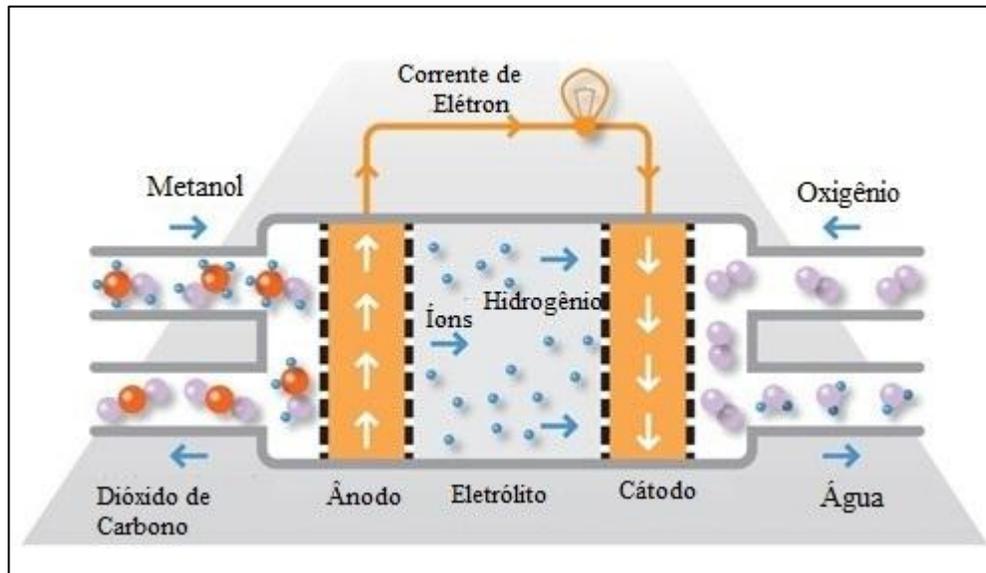


Figura 06 - Funcionamento da pilha do tipo DMFC.  
(Fonte: Adaptado do Fuel Cell Today, 2012)

Essas pilhas a combustível ainda estão em etapas iniciais de pesquisa e desenvolvimento e têm mostrado uma boa eficiência no uso de motores veiculares pequenos e aplicações portáteis. Sua eficiência é de cerca de 40%.

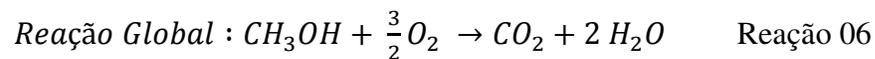
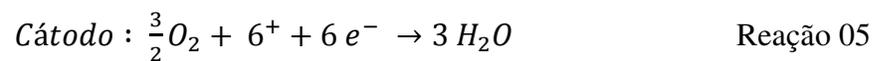
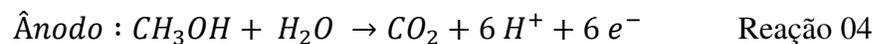
A DMFC funciona em baixas temperaturas, entre 60 °C e 130 °C.

É ideal para o uso onde a necessidade de eletricidade é pequena, como equipamentos eletroportáteis e pequenos veículos. A Figura 07 mostra uma empilhadeira fabricada por uma empresa alemã. Esse tipo de veículo tem atraído a atenção dos compradores, já que a substituição da bateria pela pilha do tipo DMFC diminuiu consideravelmente o tempo de recarga.



Figura 07 – Empilhadeira movida a pilha tipo DMFC.  
(Fonte: Juelich, 2012)

Nas pilhas do tipo DMFC, ocorrem as seguintes reações químicas:



Uma vantagem dessa pilha é que ela não utiliza hidrogênio como combustível e, conseqüentemente, não existem as limitações de toda uma infraestrutura de produção, armazenagem e distribuição desse insumo, reduzindo custos e facilitando a logística.

A grande vantagem, todavia, consiste na utilização do metanol como combustível, sendo que o mesmo é mais barato, tem uma alta densidade de energia e é de fácil armazenamento. Conseqüentemente, não existem as limitações de infraestrutura de produção e distribuição desse insumo, o que reduz custos e facilita a logística.

A desvantagem está no caráter tóxico do metanol, tendo sido as pesquisas direcionadas para o uso de etanol direto nessas aplicações – já que o mesmo não é agressivo ao ser humano. Independentemente do combustível, ainda há necessidade de desenvolvimento de novos materiais, sejam eletrocatalisadores, sejam membranas, para aplicações em escala industrial.

### 3.1.3 MCFC

A sigla MCFC origina-se do inglês “*Molten Carbonate Fuel Cell*” o que em português quer dizer “Pilha a Combustível de Carbonato Fundido”, e é uma pilha a combustível destinada a aplicações que necessitam de alta potência (acima de 1 MW). Foi desenvolvida no final da década de 1950 pelos cientistas holandeses G.H.J. Broers e J.A.A. Ketelaar. Na metade dos anos 1960, o exército americano iniciou uma sequência de testes com pilhas cuja potência variou entre 100 kW e 1.000 kW.

Em meados dos anos 1970, o *U.S. Department of Energy* iniciou um programa de pesquisa sobre a MCFC juntamente com o setor privado, com o intuito de consolidar o projeto do desenvolvimento de uma unidade estacionária. (THOMAS, 2001)

Neste dispositivo, o eletrólito é uma combinação de carbonatos (Na e K) que ficam numa matriz de  $\text{LiAlO}_2$ . Para garantir que os carbonatos sejam mantidos como sal fundido, é necessário que essa pilha opere em elevada temperatura (600 °C – 700 °C). Isso garante também que os íons de carbonato forneçam uma alta condutividade iônica (RIBEIRO, 2009). Por operarem em altas temperaturas, é possível o uso de combustíveis como o gás natural, o biogás e o etanol sem a utilização de reformadores.

Diferentemente dos outros tipos de pilhas a combustível, nesse caso, após reação no ânodo, íons carbonato migram através do eletrólito. Para que a reação não cesse, é necessária a alimentação de oxigênio no lado do cátodo e de monóxido de carbono do lado do ânodo.

Esse tipo de pilha a combustível é recomendado para fins estacionários de energia, tais como abastecimento de hospitais, universidades, indústrias, etc.

Na Figura 08, é possível ver uma instalação feita pela *FuelCell Energy*, uma das empresas pioneiras na produção e distribuição dessa tecnologia.



Figura 08 – Instalação de uma MCFC feita na empresa Sierra Nevada, Estados Unidos.

(Fonte: Sierra Nevada, Estados Unidos, 2012)

Na Figura 09 é mostrada uma ilustração sobre o funcionamento das MCFC e como ocorre o fluxo dentro delas.

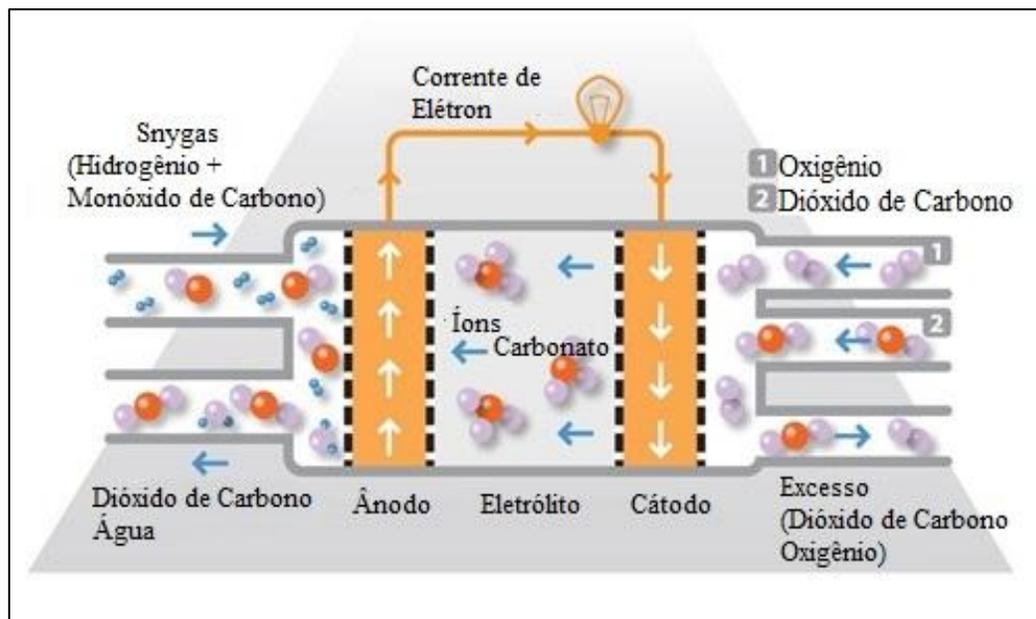
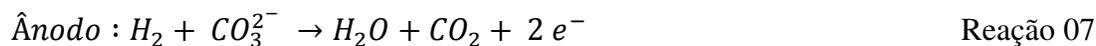


Figura 09 - Funcionamento da pilha tipo MCFC.

(Fonte: Adaptado do Fuel Cell Today, 2012)

Nas pilhas do tipo MCFC, ocorrem as seguintes reações químicas:



Uma grande vantagem do funcionamento a altas temperaturas está no fato de não se necessitar de catalisadores como a platina para acelerar a reação, fazendo assim com que o custo do dispositivo diminua. Além disso, a eficiência da pilha é bastante satisfatória, chegando a ser superior a 50%. Também é possível realizar cogeração de energia. Nesse caso, a eficiência da pilha aumenta para 80%.

A principal desvantagem está relacionada à corrosão. Por possuir partes metálicas em sua estrutura, devido à elevada temperatura, essa pilha a combustível está mais sujeita a corrosão, já que são utilizados eletrólitos líquidos em vez de sólidos. Outro fator que acelera o processo de deterioração é a injeção de CO<sub>2</sub> no cátodo.

### 3.1.4 PAFC

A sigla PAFC vem do inglês “*Phosphoric Acid Fuel Cell*”, que em português pode ser traduzido como “Pilha a Combustível de Ácido Fosfórico”. Essa tecnologia emprega como eletrólito o ácido fosfórico, e seu funcionamento é similar à tecnologia PEMFC (NETO, 2005).

A origem dessa pilha a combustível data do início dos anos 1960, quando os pesquisadores G. V. Elmore e H. A. Tanner apresentaram em um artigo um novo dispositivo fornecedor de energia, que operava em temperaturas intermediárias, a PAFC. É uma pilha utilizada em grandes veículos, como ônibus.

Sua principal aplicação, contudo, é para fins estacionários (fornecem uma potência de 100 kW a 400 kW), podendo ser utilizadas em aeroportos, escolas, escritórios, hospitais, hotéis etc. No mundo existem várias unidades instaladas, e um dos principais consumidores é o Japão.

É uma pilha que opera em temperaturas moderadamente elevadas (160 °C - 240 °C), devendo ser utilizado um catalisador de platina.

Comparada com os demais tipos de pilha a combustível, a PAFC é a que tem a menor eficiência de conversão (valores próximos a 50%). Entretanto, como o ácido fosfórico é um bom condutor iônico, a faixa dos 150 °C – 220 °C, determina uma temperatura de operação onde é possível o reaproveitamento da energia térmica dissipada, havendo então cogeração de energia, com a eficiência aumentando para 85%.

Na Figura 10 encontra-se o mecanismo de funcionamento de uma PAFC.

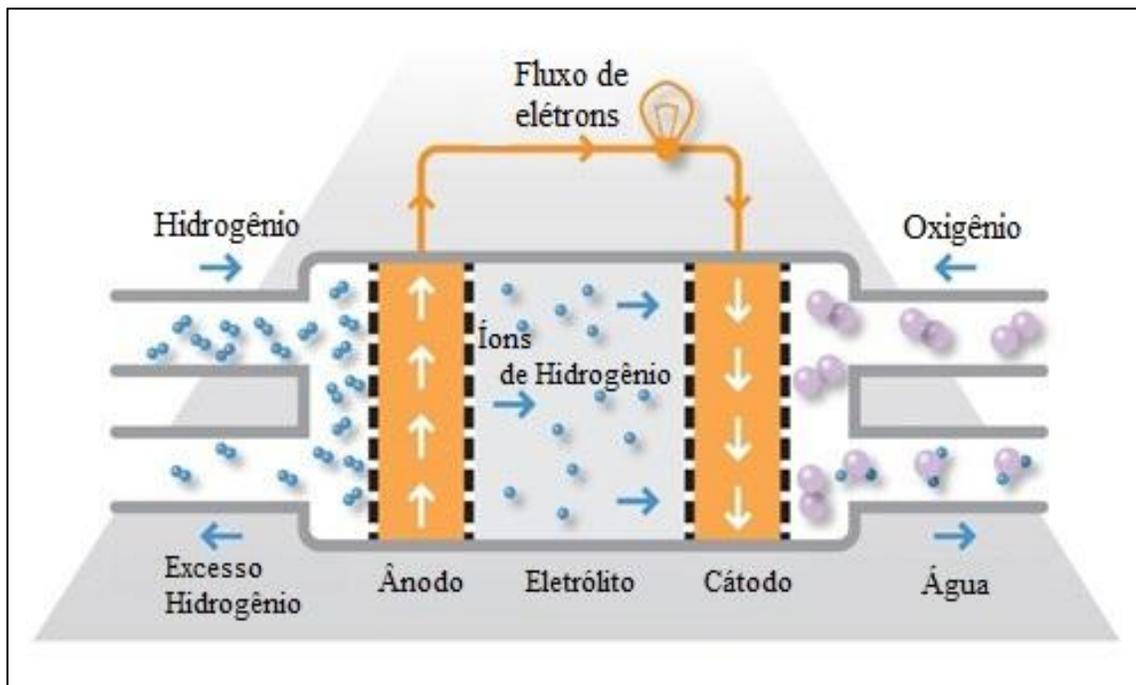
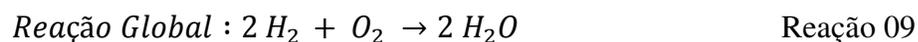
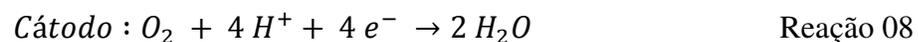


Figura 10 - Funcionamento da pilha tipo PAFC.

(Fonte: Adaptado do Fuel Cell Today, 2012)

Nas pilhas do tipo PAFC ocorrem as seguintes reações químicas:



Na Figura 11, é mostrada uma das instalações da Fuji-Eletric do Japão, onde há em operação uma PAFC de 100 kW.



Figura 11 – Instalação de uma PAFC em na fábrica da Fuji-Eletric.

(fonte: <http://www.fuelcell.no/>)



Figura 12 – Pilha tipo PAFC, em uma fábrica na Coreia do Sul.

(fonte: Energy Korea, 2012)

Na Figura 12, é mostrada uma das instalações de PAFC na GS Power em Anyang, Coreia do Sul.

Uma das principais vantagens desse tipo de pilha a combustível é sua resistência à contaminação por monóxido de carbono. Além disso, o tempo de vida da pilha é bastante satisfatório. Pode-se citar ainda como pontos positivos sua estabilidade e simplicidade de construção.

Como desvantagem há o fato de que o eletrólito das PAFC é de ácido fosfórico, sólido à temperatura ambiente, sendo, portanto, necessário que se tenha um cuidado especial com a estocagem para que não haja danos à pilha. Além disso, é necessário ainda o fornecimento de energia para a pilha quando esta não está operando, para que o eletrólito não se solidifique. As PAFC são de grande porte, necessitando de um amplo espaço para sua implantação, e necessitam de catalisadores de platina.

### 3.1.5 PEMFC

A sigla PEMFC vem do inglês e significa “*Proton Exchange Membrane Fuel Cell*”, que em português pode ser traduzida como “Pilha a Combustível de Membrana de Troca de Prótons”.

Essa tecnologia utiliza uma membrana polimérica, sólida, que tem a capacidade de transportar as cargas positivas (prótons) quando está úmida. Foi desenvolvida pela General Electric nos anos 1950 e muito utilizada pela NASA nos seus projetos espaciais como Gemini e Apollo. (NETO, 2005)

As PEMFC operam em baixas temperaturas. Devido a isso, e também pela presença de metais preciosos nos eletrodos da pilha, é necessário que o hidrogênio utilizado seja de alta pureza, o que acaba elevando o seu custo.

O eletrólito é constituído de uma membrana polimérica representada por um polímero fluorado semelhante ao teflon, que tem como principais propriedades a seletividade e condução protônica, quando em meio aquoso ácido.

O gerenciamento da água nas células PEMFC é extremamente importante, pois a membrana deverá permanecer embebida em água, em concentração desejável, o que limita a sua temperatura de operação, evitando-se que haja perda da água por evaporação. Esse tipo de pilha a

combustível não permite a cogeração devido à baixa temperatura de operação, apresentando eficiência por volta de 50%.

Na Figura 13, é mostrada uma ilustração do funcionamento de uma PEMFC.

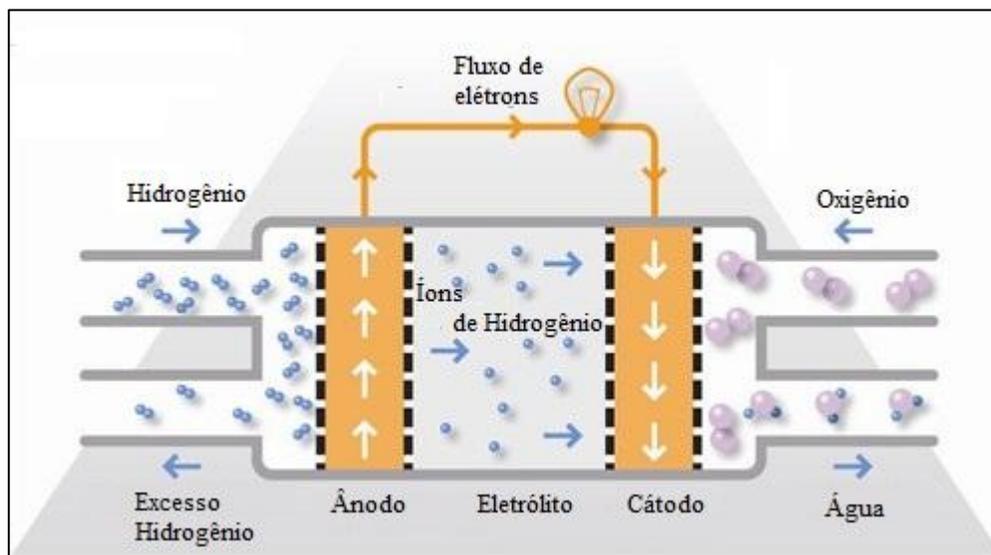
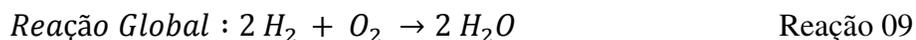
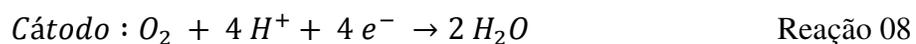


Figura 13 – Funcionamento da pilha tipo PEMFC.

(Fonte: Adaptado do Fuel Cell Today, 2012)

Nas pilhas do tipo PEMFC, as reações químicas que ocorrem no interior são as mesmas que na PAFC; portanto:



Existe outro tipo de pilha de membrana de troca de prótons, que é a PEMFC de alta temperatura (HT PMEFC). Esta pode operar a uma temperatura de até 200 °C. Devido a isso, a mesma é capaz de suportar uma pequena presença de impurezas, como o CO, em sua estrutura. Ainda é possível simplificar a estrutura da pilha a combustível, pois a elevada temperatura de funcionamento dispensa o umidificador.

Não se pode dizer que as HT PEMFC são superiores à PEMFC. Ambos os tipos têm um mercado específico e suas vantagens e características próprias.

As HT PEMFC ainda estão em fase de pesquisa. Questões técnicas como o tempo de vida útil e a durabilidade dessas pilhas a combustível têm de ser resolvidas a fim de que estes dispositivos sejam competitivos no mercado.

Na Tabela 01, são apresentadas as principais diferenças entre as características da PEM de alta e de baixa temperatura.

Tabela 01 – Diferenças entre a PEM de alta temperatura e a PEM de baixa temperatura.

	<b>PEMFC</b>	<b>HT PEMFC</b>
Temperatura de Operação	80 ° C - 100 ° C	Até 200 ° C
Eletrólito	Água	Mineral ácido-base
Tolerância a CO	< 50 ppm	(1-5) % do Volume
Tolerância a outras impurezas	Baixa	Alta
Densidade de corrente	Alta	Baixa
Início a frio	Sim	Não
Manutenção de água	Complexo	Não Tem

(fonte: adaptado do Fuel Cell Today, 2012)

Na Figura 14, tem-se um protótipo de PEMFC produzida pela *Altergy*.



Figura 14 – Um dos modelos de PEMFC produzida pela *Alteryg*.

(fonte: LC energy, 2012)

A PEMFC já está presente com grande competitividade no mercado. Elas são produzidas para fins estacionários e vendidas para ambientes que não necessitam de grande potência, como pequenas edificações. Por serem leves e robustas, são muito utilizadas em residências para a geração de calor e eletricidade. Além disso, como o eletrólito é sólido, esse tipo de pilha acaba se tornando mais seguro.

A grande desvantagem da PEMFC está no fato de necessitar de catalisador de platina para o seu bom funcionamento.

### 3.1.6 SOFC

A sigla SOFC origina-se do inglês “*Solid Oxide Fuel Cell*”, que em português tem o significado de “Pilha a Combustível de Óxido Sólido”, e é uma pilha a combustível construída de um material cerâmico e sólido que permite a passagem dos íons (NETO, 2005).

A primeira tentativa de se utilizar um óxido sólido surgiu em meados da década de 1930, pelos cientistas suíços Emil Baur e H. Preis. Os pesquisadores, porém, não obtiveram resultados satisfatórios.

As pesquisas em torno das SOFC continuaram remotas, até que, no início dos anos 1950, houve um grande aumento do interesse nesse tipo de pilha a combustível. Nessa época, empresas da Holanda e dos Estados Unidos começaram a investir maciçamente em pesquisas sobre SOFC. Nesse período, foram apresentados diversos problemas associados ao dispositivo, principalmente devido à semicondutividade do eletrólito sólido, quando então se acreditou que as MCFC eram mais promissoras. Mais tarde, as pilhas SOFC chamaram novamente a atenção dos pesquisadores e, em meados dos anos 1980, houve um grande avanço nos estudos.

Atualmente é uma das pilhas a combustível em maior evidência no mercado, por sua eficiência e capacidade de gerar uma grande quantidade de energia.

Na Figura 15, é ilustrado o mecanismo de funcionamento de uma SOFC.

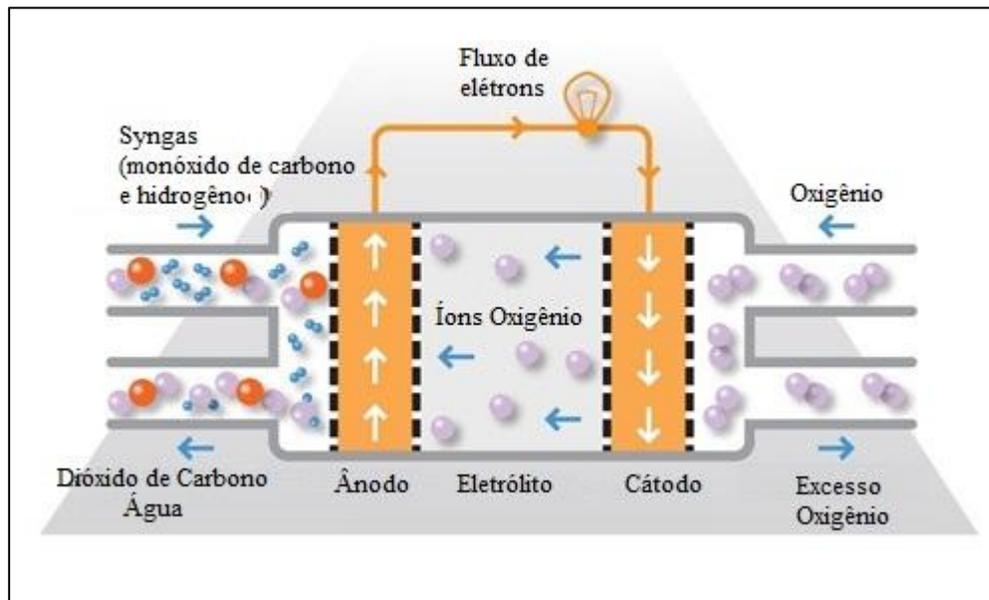


Figura 15 - Ilustração de funcionamento da pilha SOFC.

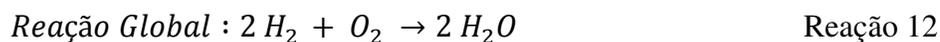
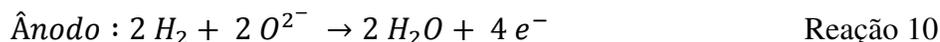
(Fonte: Adaptado do Fuel Cell Today, 2012)

A SOFC é uma pilha a combustível que opera em elevadas temperaturas, entre 800 °C e 1000 °C, aproximadamente. Apresenta uma ótima eficiência, cerca de 60%, e, se o calor gerado durante seu funcionamento for reaproveitado, essa eficiência pode chegar a 80%. É usada para

fins estacionários e pode atender desde pequenas construções, como residências, até grandes indústrias. Seu eletrólito é constituído por um material cerâmico, como óxido de zircônio e ítrio, em vez de uma membrana polimérica. As altas temperaturas permitem que o combustível utilizado possa ser reformado dentro da própria pilha, eliminando assim a necessidade de uma reforma externa e possibilitando que diversos combustíveis possam ser utilizados para a operação. O fato de ser resistente a pequenas quantidades de enxofre possibilita que o gás de carvão seja também adequado para a pilha a combustível. A elevada temperatura faz ainda com que a cinética química seja mais eficiente, dispensando assim o catalisador de metal.

As SOFC são construídas em dois tipos de geometria: as microtubulares e as planares. Nas microtubulares existe um tubo de óxido onde passa o ar por seu interior enquanto o combustível flui no exterior do tubo. Já nas planares, a pilha é montada de maneira plana e o ar e o hidrogênio passam por ela. O ar entra pelo cátodo, onde o oxigênio será convertido em íons de oxigênio (Equação 11). Estes, por sua vez, atravessam os íons cristalinos do óxido sólido e oxidam o hidrogênio presente no ânodo, conforme mostra a Equação 12. Essa reação gera calor e água.

Nas pilhas do tipo SOFC, ocorrem às reações químicas:



A Figura 16 mostra um dos protótipos produzido pela *Siemens*. Esta instalação é tubular e é capaz de produzir 100 kW. Ela já esteve em funcionamento na Holanda, na Alemanha e na Itália. Nos três países, houve sucesso em sua operação, devido à sua estabilidade e à diversidade de combustíveis que puderam ser utilizados para o seu funcionamento.



Figura 16 – Modelo de uma SOFC produzida pela *Siemens/Westinghouse*.

(fonte: NETL, 2012)

As Figuras 17 e 18 mostram ilustrações de como seriam pilhas SOFC em suas geometrias plana e tubular, respectivamente. O formato da célula pode trazer vantagens interessantes. Nas SOFC planas, por exemplo, pode-se fazer com que a alimentação seja a partir do eixo central (caso a placa seja circular) ou que o combustível circule pelas bordas (caso a placa seja quadrada). Já nas SOFC tubulares, é possível ter tubos lisos para que se obtenha uma maior densidade de energia. Nesse formato, é importante lembrar que uma das extremidades é fechada, fazendo com que se crie um isolante natural para o ar e para o combustível circulante, o que, em termos de eficiência, é bastante positivo.

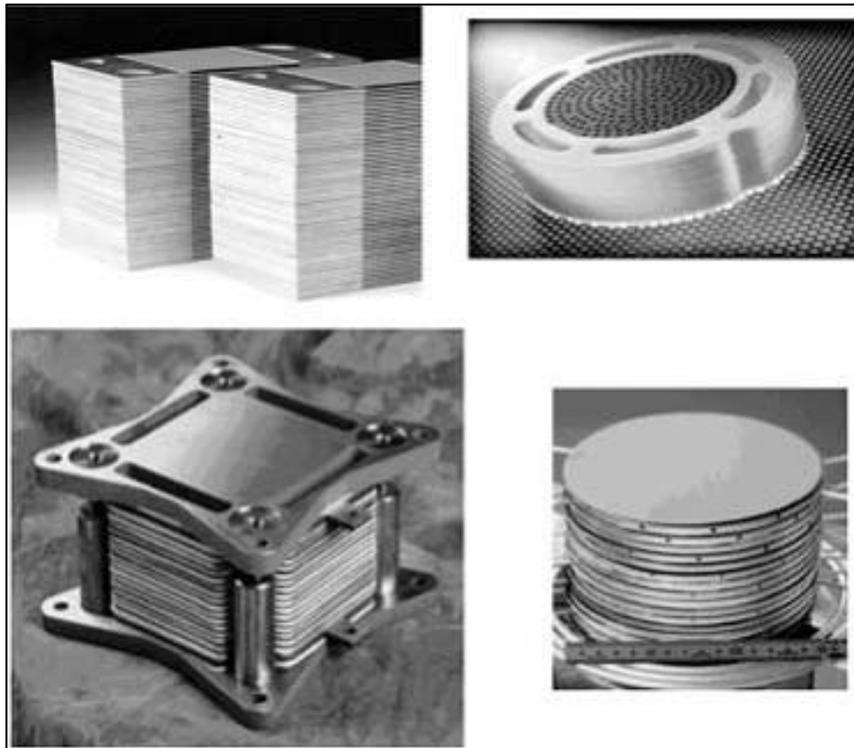


Figura 17 – Componentes de uma SOFC planar.  
(fonte: electrochem, 2012)

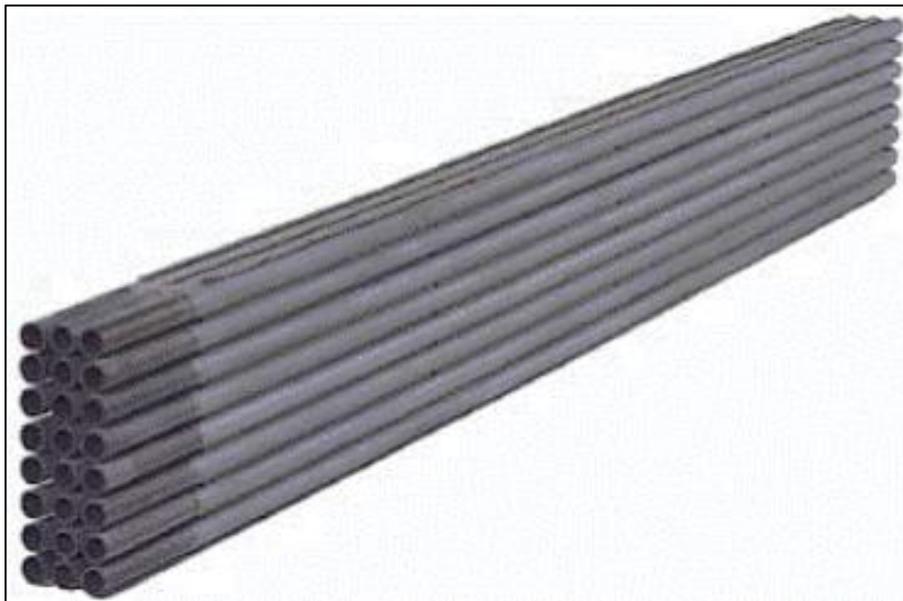


Figura 18 – Componentes de uma SOFC tubular.  
(fonte: electrochem, 2012)

Os principais mercados para esse tipo de pilha a combustível são os estacionários de grande porte, uma vez que elas são capazes de gerar grande densidade de energia. Diversas unidades que operam entre 1 kW e 25 kW já foram testadas e usadas em diversas indústrias.

As SOFC também podem ser utilizadas para fins residenciais. Nesse caso, seriam dispositivos que forneceriam de 1 a 5 kW. A SOFC ainda pode ser aplicada no setor de transporte.

A grande desvantagem desse dispositivo é o início de operação demorado, visto que ele exige certo tempo para atingir a temperatura de funcionamento ótimo. Além disso, as pilhas precisam ser robustas e construídas com materiais que sejam resistentes ao calor.

### **3.2 Síntese sobre as Pilhas a Combustível**

Esta seção contém um breve resumo do que já foi dito na última seção.

Nela serão ressaltadas as principais características das pilhas a combustível, assim como suas maiores vantagens e suas desvantagens.

#### **3.2.1 Principais Características**

As pilhas a combustível possuem diversas características atrativas. Como visto na seção anterior, elas podem ser empregadas para diversos fins e podem gerar desde pequenas a grandes quantidades de potência. Possuem diversos modos de operar, e cada pilha a combustível tem sua peculiaridade.

A Tabela 02 mostra as principais características das pilhas a combustível abordadas neste trabalho. Nela são apresentados os dados sobre os eletrólitos, a temperatura de operação, o catalisador que cada uma necessita para ter um bom funcionamento, o íon migrante, o oxidante, a potência típica de cada pilha a combustível, a eficiência e, por fim, a área de uso de cada uma delas.

Tabela 02 - Resumo das Principais Características das Pilhas a Combustível

	AFC	DMCF	MCFC	PAFC	PEMFC*	SOFC
Eletrólito	Hidróxido de Potássio	Membrana Polimérica	Lítio, Potássio, Carbonatos Fundidos	Ácido Fosfórico	Membrana Polimérica	Óxidos de Ytria e Zircônio
Temperatura de Operação	70 °C - 200 °C	50 °C - 120 °C	600 °C - 700 °C	160 °C - 240 °C	60 °C - 90 °C	700 °C - 1000 °C
Combustível	$H_2$	$CH_4$	$CH_4, H_2, CO$	$H_2$	$H_2$	$CH_4, H_2, CO$
Catalisador	Níquel e Prata	Platina	Níquel-Cromo	Platina	Platina	Níquel-Zircônia
Íon migrante	$OH^-$	$H^+$	$CO_3^{2-}$	$H^+$	$H^+$	$O^{2-}$
Oxidante	$Ar + H_2O$	$Ar$	$Ar + CO_2$	$Ar$	$Ar$	$Ar$
Potência Típica	< 50 kW	< 1 kW	300 kW - 3 MW	50 kW - 300 kW	< 250 kW	50 kW - 5 MW
Eficiência	Até 70 %	40 %	(50 - 80) %	(45 - 85) %	(35 - 40) %	(60 - 80) %
Área de Uso	- Aeroespacial; - Militar; - Pequenas unidades de potência.	- Transportes pequenos; - Equipamentos eletroportáteis.	- CHP; - Plantas Térmicas; - Estacionária: Pequeno e grande porte.	- CHP - Plantas Térmicas - Estacionária: Pequeno porte	- Aeroespacial; - Transporte; - CHP; - Equipamento Eletroportáteis; - Substituição de baterias.	- CHP; - Aplicações domésticas; - Estacionárias; - Transporte.

\*PEM de baixa temperatura.

### 3.2.2 Vantagens e Desvantagens

O cenário que está se configurando quanto ao uso de pilhas a combustível é promissor. Em cerca de 20 anos, acredita-se que as mesmas terão ampla gama de aplicações e uso no mercado, pois têm inúmeras propriedades que superam as outras tecnologias convencionais de conversão de energia. Dentre as mesmas, pode-se citar:

- **Aumento da vida útil:** Por ser um sistema dito simples e sem peças de grande porte para gerar energia, espera-se, no futuro próximo, que a vida útil de uma pilha, que hoje é da ordem de 3.000 até 5.000 horas, seja estendida para 40.000 a 80.000 horas (BABIR, 2005).
- **Autonomia:** São capazes de operar desde que exista combustível disponível;
- **Capacidade de Cogeração:** Operam em altas temperaturas e, como na produção de energia geram calor, este pode ser reutilizado para cogeração de energia, aumentando assim as eficiências elétrica e térmica;
- **Confiabilidade:** Não existe degradação da tensão ao longo do tempo, o que eleva a confiabilidade nas pilhas a combustível. Além disso, as falhas tendem a ser de mais fácil solução;
- **Eficiência:** Comparadas com um motor de combustão interna, apresentam eficiência maior;
- **Emissão de poluentes:** Por utilizarem basicamente hidrogênio e oxigênio, geram eletricidade, água e calor, sendo conhecidas como “energia limpa”. No entanto, algumas necessitam retirar o hidrogênio de outros combustíveis nocivos ao meio ambiente, gerando poluição ambiental, que ainda assim ocorre em menor escala quando em comparação com as fontes de combustíveis fósseis.

- **Footprint:** O tempo de recarga é menor quando comparado com o das baterias. Além disso, as pilhas a combustível não necessitam de refrigeração.
- **Manutenção:** Apresentam poucas partes móveis em sua estrutura, o que faz com que a exigência de manutenção regular seja menor e menos dispendiosa.
- **Monitoramento remoto:** Possibilitam o controle através de uma central, com os dados de sinal de funcionamento, bem como do tempo restante de atividade.
- **Modular:** A conexão em série das pilhas a combustível cria uma estação de energia (útil, por exemplo, na alimentação de pequenas edificações)
- **Silenciosa:** Ausência de ruído na produção de energia, ideal para aplicações que exigem energia de reserva (“*backup*”) silenciosa, como em hospitais, equipamentos portáteis, aplicações militares, em centro de processamento de dados, residências, etc.
- **Simplicidade e tendência à diminuição de custos:** Até o presente momento, o custo da geração de energia está relativamente alto, pois as pilhas a combustível utilizam em sua estrutura a platina como eletrocatalisador. Com a produção em massa e o desenvolvimento da tecnologia, a tendência é a diminuição de custos, viabilizando assim a produção em grande escala.
- **Tamanho e peso:** Podem ser produzidas pilhas a combustível de vários tamanhos e pesos, com a potência variando de microwatts até megawatts, dependendo de sua aplicação e de seus componentes.

As pilhas a combustível apresentam diversas vantagens, porém sua tecnologia ainda é bastante complexa e requer inúmeras melhorias, como aumentar efetivamente o tempo de vida da maioria delas, procurar novos catalisadores mais baratos e menos dispendiosos, melhorar a estocagem de hidrogênio, simplificar a construção e aprimorar os eletrólitos utilizados.

Na Tabela 03, é apresentado um resumo das principais vantagens e desvantagens de cada uma das pilhas a combustível.

Tabela 03 - Principais vantagens e desvantagens das pilhas a combustível.

	Vantagens	Desvantagens
AFC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto rendimento;</li> <li>- Podem utilizar materiais de baixo custo em sua fabricação;</li> <li>- Alta eficiência de conversão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessidade de hidrogênio e oxigênio com alto teor de pureza;</li> <li>- Sensíveis à presença de CO<sub>2</sub>;</li> <li>- Eletrólitos líquidos e corrosivos.</li> </ul>
DMFC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo;</li> <li>- Utiliza metanol como combustível.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita de elevada quantidade de platina.</li> </ul>
MCFC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eletrodos à base de Ni;</li> <li>- Tolerância a CO, CO<sub>2</sub>;</li> <li>- Não é necessário o uso de metal nobre como catalisador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessidade da reciclagem do CO<sub>2</sub>;</li> <li>- Apresentam problemas ligados à corrosão e à estabilidade do eletrólito.</li> </ul>
PAFC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande desenvolvimento tecnológico;</li> <li>- Simplicidade de construção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessita de compartimento especial para estocagem do ácido fosfórico;</li> <li>- Eficiência limitada pela corrosão.</li> </ul>
PEMFC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operação flexível;</li> <li>- Alta densidade de potência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo da membrana polimérica;</li> <li>- Contaminação do catalisador com CO.</li> </ul>
SOFC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta eficiência;</li> <li>- Reforma do combustível pode ser feita no interior da pilha.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necessidade de materiais resistentes a altas temperaturas;</li> <li>- Expansão térmica;</li> <li>- Necessidade de uma pré-reforma.</li> </ul>

### 3.3 Empresas do Ramo

O mercado das pilhas a combustível cresce desde os seus primórdios na década de 1950 nos Estados Unidos. Na última década, esse crescimento foi bastante acelerado.

A busca incessante por uma fonte de energia que não seja oriunda dos combustíveis fósseis tem proporcionado intensas pesquisas de novas tecnologias.

Muitas empresas já despontam no mercado com significativa importância como detentoras de produtos cujo funcionamento é à base de pilhas a combustível. É o caso das que fabricam pequenos veículos, como empilhadeiras, e das que produzem unidades capazes de fornecer energia estacionária, muito útil para indústrias, redes hospitalares e até mesmo universidades, que precisam de energia ininterrupta. Além disso, existem as que fabricam fornecimento de energia auxiliar para equipamentos eletroportáteis, como *notebook* e celulares. Esses equipamentos, quando utilizam energia proveniente das pilhas a combustível, mostram um melhor desempenho e uma menor necessidade de recarga que aqueles que utilizam baterias.

As empresas presentes no mercado hoje são as principais interessadas na avaliação de como será o futuro mercadológico das pilhas a combustível, pois são as detentoras do capital para a fabricação das unidades desses dispositivos e, para as mesmas, é fundamental saber com precisão onde investir.

Tem havido também um crescente interesse em outros setores como o militar, o de pesquisa e o acadêmico. É de importância estratégica para os governos a pesquisa de uma fonte de energia, em virtude da provável carência desta no futuro.

Nos últimos anos, o número de publicações sobre pilhas a combustível em revistas científicas aumentou consideravelmente, assim como em cinco anos houve grande crescimento do uso de pilhas a combustível no mundo. O mesmo será apresentado no Capítulo 05.

Na Tabela 04, são apresentados os representantes de uma associação europeia (<http://www.fuelcelleurope.org>) que trabalham e pesquisam as tecnologias das pilhas a combustível. Nela, é apresentado o nome das empresas, seu site oficial, o país ao qual cada uma pertence e o ramo de trabalho. Muitas outras empresas, porém, trabalham no ramo. Mais alguns exemplos de indústrias que trabalham com alguma atividade ligada ao mercado de pilhas a combustível são listadas no Anexo C.

Tabela 04 – Algumas empresas que Trabalham com Pilhas a Combustível.

<b>Empresa</b>	<b>Site</b>	<b>País</b>	<b>Ramo de Atividade</b>
ALEPA LTD	<a href="http://www.fuelcelleurope.org">www.fuelcelleurope.org</a>	Chipre	Indústria
Ballard Power Systems	<a href="http://www.ballard.com">www.ballard.com</a>	Alemanha	Indústria
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)	<a href="http://www.dlr.de/tt">www.dlr.de/tt</a>	Alemanha	Instituto de Pesquisa e Universidade
DuPont	<a href="http://www.dupont.com">www.dupont.com</a>	Suíça	Indústria
EADS Deutschland GmbH	<a href="http://www.eads.net">www.eads.net</a>	Alemanha	Indústria
Forschungszentrum Jülich	<a href="http://www.fz-juelich.de">www.fz-juelich.de</a>	Alemanha	Instituto de Pesquisa e Universidade
Fraunhofer-Gesellschaft	<a href="http://www.fraunhofer.de">www.fraunhofer.de</a>	Alemanha	Instituto de Pesquisa e Universidade
Fuel Cell Markets Ltd	<a href="http://www.fuelcellmarkets.com">www.fuelcellmarkets.com</a>	Reino Unido	Outros
H2BZ Initiative Hessen	<a href="http://www.h2bz-hessen.de">www.h2bz-hessen.de</a>	Alemanha	Outros
Hydrogenics Corporation	<a href="http://www.hydrogenics.com">www.hydrogenics.com</a>	Alemanha	Indústria
Istituto CNR-TAE (ITAE)	<a href="http://www.itae.cnr.it">www.itae.cnr.it</a>	Itália	Instituto de Pesquisa e Universidade
Logan Energy Europe	<a href="http://www.loganenergy.eu">www.loganenergy.eu</a>	Reino Unido	Indústria
Nedstack	<a href="http://www.nedstack.com">www.nedstack.com</a>	Holanda	Indústria
Tanaka	<a href="http://gold.tanaka.co.jp/english/">gold.tanaka.co.jp/english/</a>	Japão	Indústria
Toshiba	<a href="http://www.toshiba.co.jp">www.toshiba.co.jp</a>	Japão	Indústria
University of Twente	<a href="http://www.utwente.nl">www.utwente.nl</a>	Holanda	Instituto de Pesquisa e Universidade
Vaillant GmbH	<a href="http://www.vaillant.de">www.vaillant.de</a>	Alemanha	Indústria
Vattenfall	<a href="http://www.vattenfall.com">www.vattenfall.com</a>	Alemanha	Indústria
VTT Technical Research Centre of Finland	<a href="http://www.vtt.fi">www.vtt.fi</a>	Finlândia	Instituto de Pesquisa e Universidade
Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (ZBT)	<a href="http://www.zbt-duisburg.de">www.zbt-duisburg.de</a>	Alemanha	Instituto de Pesquisa e Universidade
ZSW -Zentrum Sonnenenergie & Wasserstoff Forschung	<a href="http://www.zsw-bw.de">www.zsw-bw.de</a>	Alemanha	Instituto de Pesquisa e Universidade

### 3.4 Prospecção Tecnológica

A necessidade de antever o futuro está presente desde tempos imemoriais. Há registros na antiguidade sobre esta prática. Particularmente os antigos gregos pensavam, debatiam e tentavam prever o futuro, sendo um dos mais famosos registros o Oráculo de Delfos. Todavia, não foram nem os primeiros nem os únicos povos voltados para este fim, sendo bem conhecidas as pesquisas tecnológicas e proposições filosóficas no oriente, particularmente na China e na Índia. Há também aqueles povos que não trouxeram contribuições significantes para o mundo ocidental e suas previsões passaram ser vistas como mera curiosidade de hábito de vida, como os cálculos da civilização Maia, tão em voga no fim do ano de 2012.

Quando se fala em ciência e tecnologia, os exercícios prospectivos ou de prospecção tecnológica são fundamentais para promover a criação e organizar sistemas de inovação que respondam aos interesses da sociedade. A partir de intervenções planejadas em sistemas de inovações, fazer prospecção significa identificar quais são as oportunidades e necessidades mais importantes para a pesquisa e desenvolvimento no futuro (SANTOS et al., 2004). Atualmente, a prática é vista como um meio de se ter uma ideia aproximada do que ocorrerá em determinadas situações, podendo assim fornecer, mesmo que minimamente, uma vantagem competitiva para quem faz a prospecção.

A prospecção tecnológica é uma ferramenta que é muito utilizada para fornecer uma visão de futuro, seja ele determinista ou probabilístico, sobre um dado evento, em relação às atividades científico-tecnológicas das diversas áreas do conhecimento humano (ZACKIEWICZ et al., 2001). Está diretamente relacionada com a prospecção econômica e social. A prospecção econômica é extremamente importante para a gestão tecnológica, pois é necessário que se conheçam os custos da tecnologia e do capital humano, bem como os recursos, preço e infraestrutura exigida, assim como as forças que orientam o mercado. A prospecção social é necessária, pois mesmo a tecnologia mais poderosa tem valor limitado se o ambiente social, político ou regulatório impedir que ela seja produzida com lucro (COELHO, 2003).

As prospecções são muito utilizadas para indicar os níveis de possibilidades futuras e não os valores pontuais. Posto isso, é importante lembrar que são válidas particularmente para:

- Aprimorar o setor de pesquisa e desenvolvimento;
- Avaliar novos processos ou produtos;
- Desenvolver planos e estratégias para a elaboração de uma nova tecnologia;
- Fazer a distribuição de recursos;
- Maximizar ganhos e diminuir as perdas devido a acontecimentos internos ou externos à organização;
- Orientar o planejamento da tecnologia, seja no âmbito pessoal, de infraestrutura ou financeiro;
- Verificar as oportunidades e ofertas, e quando possível identificando e indicando as ameaças de mercado.

Uma prospecção pode ser feita para diversas finalidades e ramos. São utilizadas nas áreas sociais, políticas e culturais. Geralmente, o foco dos trabalhos é a competitividade nacional e a definição de metas para a área de ciência e tecnologia (MILES & KEENAN, 2002). Pode ser aplicada tanto de maneira quantitativa como qualitativa. Existem diversos métodos para se realizar uma prospecção tecnológica. A escolha do método depende basicamente do objetivo da pesquisa, assim como da quantidade de dados disponíveis.

### **3.4.1 Histórico sobre a Prospecção Tecnológica**

A prospecção tecnológica foi transformada ao longo dos anos em uma importante ferramenta de fortalecimento estatal e empresarial.

Desde sua criação, as técnicas sofreram inúmeras mudanças e adequações para servir aos estudos empresariais e nacionais.

A raiz da prospecção tecnológica moderna data da metade do século XX entre os períodos pré e pós Segunda Guerra Mundial. Já no ano de 1966, a OCDE, organização internacional que atualmente reúne 34 países com sede na França, identificou projetos de prospecção tecnológica em 13 países ocidentais e no então bloco Soviético. A técnica de predizer o futuro através de estudos sofreu severas críticas quando não previu o choque do petróleo em 1973, o que gerou um considerável pessimismo e desconforto na comunidade em relação à validade e utilidade da

prospecção, proporcionando assim uma estagnação no exercício da futurologia. Como falhas no método de futurologia em voga na década de 1960, pode ser mencionada ainda a não previsão do colapso da antiga União das Repúblicas Socialistas do leste europeu e mais atualmente as crises econômicas do antigo Mercado Comum Europeu e a crise econômica que se arrasta no Japão. Porém, é digno de nota que não se devem esperar acertos extremamente exatos em uma ciência de natureza humana, onde as variáveis de avaliação são muitas e de valores flutuantes. Ademais, o conhecimento absoluto não pode ser alcançado, conforme proposição da filosofia de Platão, necessitando a espécie humana trabalhar com considerações e raciocínio, o mais próximo da verdade, porém nunca totalmente sem falhas. Felizmente, a descrença com o método cedeu lugar a interesse renovado na década de 1990, quando novas metodologias e novos pesquisadores reabilitaram e renovaram a ciência, tendo os estudos prospectivos despertado novamente o interesse da comunidade.

O crescimento no interesse dos métodos de prospecção tecnológica foi motivado principalmente por:

- Mudanças no sistema de produção do conhecimento, que tornou-se mais multidisciplinar e heterogêneo, necessitando de uma maior comunicação, de um trabalho em rede, de mais parcerias e de uma maior colaboração entre os pesquisadores;
- Natureza pervasiva da tecnologia para o crescimento econômico e prosperidade: a crescente globalização e a competição econômica tornaram a inovação uma necessidade e levaram à priorização dos investimentos em P&D, isto é, à concentração dos recursos disponíveis em opções estratégicas selecionadas;
- O processo de decisão e de trabalho em equipe, cada vez mais descentralizados. As alianças estratégicas e o estabelecimento de visões compartilhadas tornaram-se mais críticos, frente à crescente complexidade, custo e riscos dos projetos e P&D desenvolvidos atualmente;
- Pressão para corte nos gastos públicos e declínio e estagnação dos recursos de C&T em função das receitas decrescentes e custos crescentes.

Desde 1990, a prospecção foi incluída nas atividades de várias instituições internacionais como UNIDO, União Europeia, OCDE e ESTO.

As últimas duas décadas foram marcadas por uma grande intensidade de mudanças, sobretudo na área de tecnologia, no aumento das incertezas e no processo de globalização, que tornaram as economias extremamente interdependentes (GAVIGAN & SCAPOLO, 1999). No decorrer desses anos, os estudos futuros de prospecção foram atraindo cada vez mais especialistas e interessados no assunto. Atualmente, apesar ser uma técnica bastante difundida, ainda é necessário que alguns pontos sejam mais bem elaborados, como por exemplo, a estruturação das metodologias, sua evolução, as conexões entre os estudos nacionais de prospecção e processos políticos e sociais mais amplos, bem como a ligação entre prospecção e outras ferramentas de inteligência de estratégias.

#### **3.4.1.1 Termos Usados na Prospecção Tecnológica**

Muitos termos são utilizados para se referenciar a um estudo sobre o futuro. No Brasil, apesar de haver uma reduzida literatura disponível sobre o assunto, utilizam-se três termos diferentes, oriundos do inglês, para se referenciar as atividades de previsão futurística. É importante lembrar que, embora semelhantes, elas apresentam leves diferenças. Os termos e sua breve definição são:

- **Estudo Futuro:** É o termo que abrange todo e qualquer tipo de estudo relacionado à tentativa de se prever o futuro (COELHO e COELHO, 2003);
- **Prospecção:** São estudos conduzidos para se obter mais informações sobre eventos futuros, de tal forma que as decisões de hoje sejam mais solidamente baseadas no conhecimento tácito e explícito disponível. É o termo usado para se referir a tipos bastante diferentes de análise, que vão desde as de curto prazo, focadas em análises de setores específicos, até as de longo prazo, de avaliação mais ampla das mudanças sociais, políticas, econômicas e tecnológicas (COELHO, 2003). Tem como objetivo identificar as áreas de pesquisa estratégicas e as tecnologias genéricas emergentes, que têm propensão a gerar maiores benefícios econômicos e sociais (CUHLS & GRUPP, 2001).

- **Prospecção Tecnológica:** é o termo aplicado aos estudos que têm por objetivo antecipar e entender as potencialidades, evolução, características e efeitos das mudanças tecnológicas, particularmente a sua invenção, inovação, adoção e uso (COATES et al., 2001).

Portanto, a prospecção tecnológica é um processo, não se limitando apenas a um conjunto de técnicas. É voltada para melhorar a compreensão dos possíveis desenvolvimentos futuros e das forças que cercam e moldam o alvo do estudo. Parte do pressuposto de que o futuro não pode ser cientificamente demonstrado apenas por premissas, sendo necessária a investigação das chances de desenvolvimento e das opções para a ação no presente.

### 3.4.2 Família de Métodos e Técnicas

Para uma prospecção tecnológica, é necessário inicialmente verificar quais os objetivos da informação que se quer levantar.

Existe uma grande variedade de técnicas e métodos para se investigar o futuro, que podem ser classificadas em grandes grupos, dependendo da abordagem utilizada para chegar-se à conclusão final. É importante ressaltar que todos os modelos têm ambiguidades, e nenhum será completamente satisfatório (GODET & ROUBELAT, 2000).

A época ou a data futura da previsão, a tecnologia que está sendo prospectada, as características da tecnologia ou das potencialidades funcionais e as indicações sobre a probabilidade são elementos importantes que uma previsão deve conter. Esses fatores são importantes, pois a incerteza, a falta de confiabilidade dos dados, a complexidade de interações com o mundo real, a tentação de pensar apenas de forma otimista ou pessimista e particularmente as ideologias podem trazer riscos de antevisão (MARTINO, 1983).

Os métodos também podem ser classificados em quantitativos, geralmente emergindo de técnicas estatísticas (extrapolação de tendências), ou qualitativos, na maioria das vezes envolvendo a opinião de especialistas (Delphi, painel de especialistas).

Uma simples revisão da literatura identifica diferentes denominações para grupos e estruturas conceituais. Isso tem gerado uma considerável confusão na terminologia, o que dificulta a elaboração de definições simples e diretas, não estabelecendo diferenças entre níveis

de abrangência. Por isso, é comum encontrar técnicas e métodos desenvolvidos para usos específicos sendo utilizados para responder a questões de natureza ampla e complexa, o que, em alguns casos, leva a resultados contestáveis e confirma a dificuldade inerente ao tratamento das incertezas do futuro (SANTOS et al., 2004).

Os sistemas de prospecção podem variar de científicos a dialéticos e globais, variando conforme a geração de conhecimento que cada pesquisa necessita, conforme mostra a Tabela 05.

Tabela 05 – Enfoques filosóficos da geração do conhecimento.

<b>Tipo de Enfoque</b>	<b>Descrição</b>	<b>Mais adequados para problemas</b>
A priori	Modelos formais através dos quais se tem precepções/intuições sobre o mundo, com pouca ou nenhuma necessidade de dados brutos.	Bem definidos conceitualmente.
Empírico	Começam com a coleta de dados, constroem-se modelos empíricos para explicar o que está ocorrendo.	Bem definidos e com dados disponíveis.
Sintético	Combina os enfoques "a priori" e "empírico" de tal forma que as teorias são baseadas em dados e a coleta de dados é estruturada pela pré-existência de uma teoria ou modelo.	Mais complexos e mal estruturados
Dialético	Interpretações contraditórias de um conjunto de dados são confrontadas em um debate ativo, buscando soluções criativas.	Mal estruturados e quando há conflitos
Global	Uma ampliação holística da pesquisa é feita questionando enfoques e suposições.	Não estruturados e que necessitam de um raciocínio reflexivo.

(Fonte: CTPETRO, 2003)

Pode-se considerar que quanto mais complementares forem as formas das prospecções realizadas, mais confiáveis são seus resultados.

Antes de decidir por qual estratégia de prospecção utilizar, os métodos devem ser analisados para que se tenha certeza de que o melhor método foi escolhido.

A classificação em famílias já foi abordada por diversos autores, entre eles Poter et al. (2004), Skumanich & Sibernagel (1997) e Coelho (2003).

As técnicas de prospecção tecnológica são divididas em famílias (POTTER et al., 2004):

- Criatividade: Deve estar presente nos estudos futuros, pois busca eliminar as visões pré-concebidas de problemas ou situações, encorajando um novo padrão de percepção;
- Métodos Descritivos e Matrizes;
- Métodos Estatísticos;
- Opinião de Especialistas;
- Monitoramento & Sistema de Inteligências: Constituem a fonte básica de informação relevante, portanto, são quase sempre utilizados;
- Modelagem & Simulação;
- Cenários;
- Análise de Tendências;
- Sistemas de Avaliação & Decisões.

A Tabela 06 mostra um resumo das principais técnicas e métodos pertencentes às famílias. Muitos métodos e técnicas, atualmente em uso, originam-se de outros campos do conhecimento como as modelagens e simulações.

Como vários termos não têm tradução para o português optou-se por manter, na Tabela 06, a nomenclatura do idioma inglês.

Tabela 06 – Classificação dos Métodos e Técnicas de Análises de Tecnologia do Futuro.

<b>Famílias</b>	<b>Métodos e Técnicas Incluídos</b>
Criatividade	<i>Brainstorming (Brainwriting; NGP - Nominal Group Process)</i> <i>Creativity Workshops (Future Workshops)</i> <i>Science Fiction Analysis</i> <i>TRIZ</i> <i>Vision Generation</i>
Métodos Descritivos e Matrizes	<i>Backcasting</i> <i>Institutional Analysis</i> <i>Morphological Analysis</i> <i>Relevance Trees (Future Wheels)</i> <i>Social Impact Assessment</i> <i>Stakeholder Analysis</i> <i>Sustainability Analysis (Life Cycle Analysis)</i>
Métodos Estatísticos	<i>Correlations Analysis</i> <i>Cross-Impact Analysis</i> <i>Demographics</i> <i>Risk Analysis</i>
Opinião de Especialistas	<i>Delphi (Pesquisa Interativa)</i> <i>Interviews</i> <i>Participatory Techniques</i>
Monitoramento e Sistemas de Inteligência	<i>Bibliometrics</i> <i>Monitoring</i> <i>Competitive</i>
Modelagem e simulação	<i>Agent Modeling</i> <i>Casual Models</i> <i>CAS (Complex Adaptative System Modeling - Chaos)</i> <i>Diffussion Modeling</i> <i>Economic Base Modeling</i> <i>Scenario-Simulation</i> <i>Technology Assessment</i>
Cenários	<i>Field Anomaly Relaxation Methods</i> <i>Scenarios</i> <i>Scenarios-Simulation</i>
Análise de Tendências	<i>Long Wave Analysis</i> <i>Precursor Analysis</i> <i>Trend Extrapolation</i>
Avaliação/ Decisão	<i>Multicriteria Decision Analysis</i> <i>Analytical Hierarchy Process</i> <i>Cost-Benefits Analysis</i>

(fonte: Santos et al., 2004)

### 3.4.2.1 Árvore de Relevância

A árvore de relevância é normativa e se baseia em análise de sistemas.

Traçam-se as necessidades futuras do assunto em questão, para então elaborar quais são os requisitos que as tecnologias precisam atender para que essas necessidades sejam satisfeitas.

É um método recomendado para a análise de situações que identificam diferentes níveis de hierarquia ou complexidade.

A árvore de relevância está longe de ser de uso fácil. Requer uma profunda análise, por pessoas familiarizadas com a técnica e com conhecimento sobre o problema real. E o uso dos resultados de tal método por outros grupos podem ser bastante difícil, pois este trás uma massa de detalhes técnicos.

Pode ser usado para identificar problemas e deduzir necessidades de desempenho de tecnologia.

### 3.4.2.2 *Brainstorming*

É um método baseado na criatividade. Nessa técnica, existe um trabalho coletivo, onde um problema é levantado e os participantes do grupo oferecem soluções, através de ideias. A vantagem consiste no fato de que o processo gera um grande número de alternativas para a solução do problema levantado. Durante o *brainstorming*, as críticas são proibidas, para não inibir o processo criativo. Somente depois do término da rodada de elaboração das ideias é que haverá a ponderação da adequação das sugestões propostas.

É uma técnica bastante utilizada por empresas, embora seu conceito seja bastante antigo.

### 3.4.2.3 Cenários

É um método descritivo de um futuro e do conjunto de eventos que permitirão a transição entre a situação original e a futura.

O futuro é múltiplo e diversos futuros potenciais são possíveis: os caminhos que levam a um futuro ou a outro não são necessariamente os mesmos. Podem ser classificados em: possíveis (tudo o que se pode imaginar), realizáveis (tudo o que se pode conseguir) e desejáveis (tudo o que se pode imaginar, mas não realizáveis). Podem também ser classificados como probabilísticos (GODET e ROUBELAT, 1996).

O método tem como objetivo um procedimento sistemático para detectar as tendências prováveis de uma dada evolução, numa sequência de intervalos temporais, procurando identificar os limites da tensão social nos quais as forças sociais poderiam alterar essas tendências (RATTNER, 1979).

#### 3.4.2.4 Delphi

A metodologia Delphi será detalhada no Capítulo 04. Porém neste item será dado apenas um fluxograma, mostrado na Figura 19, que expressa o resumo da metodologia clássica.

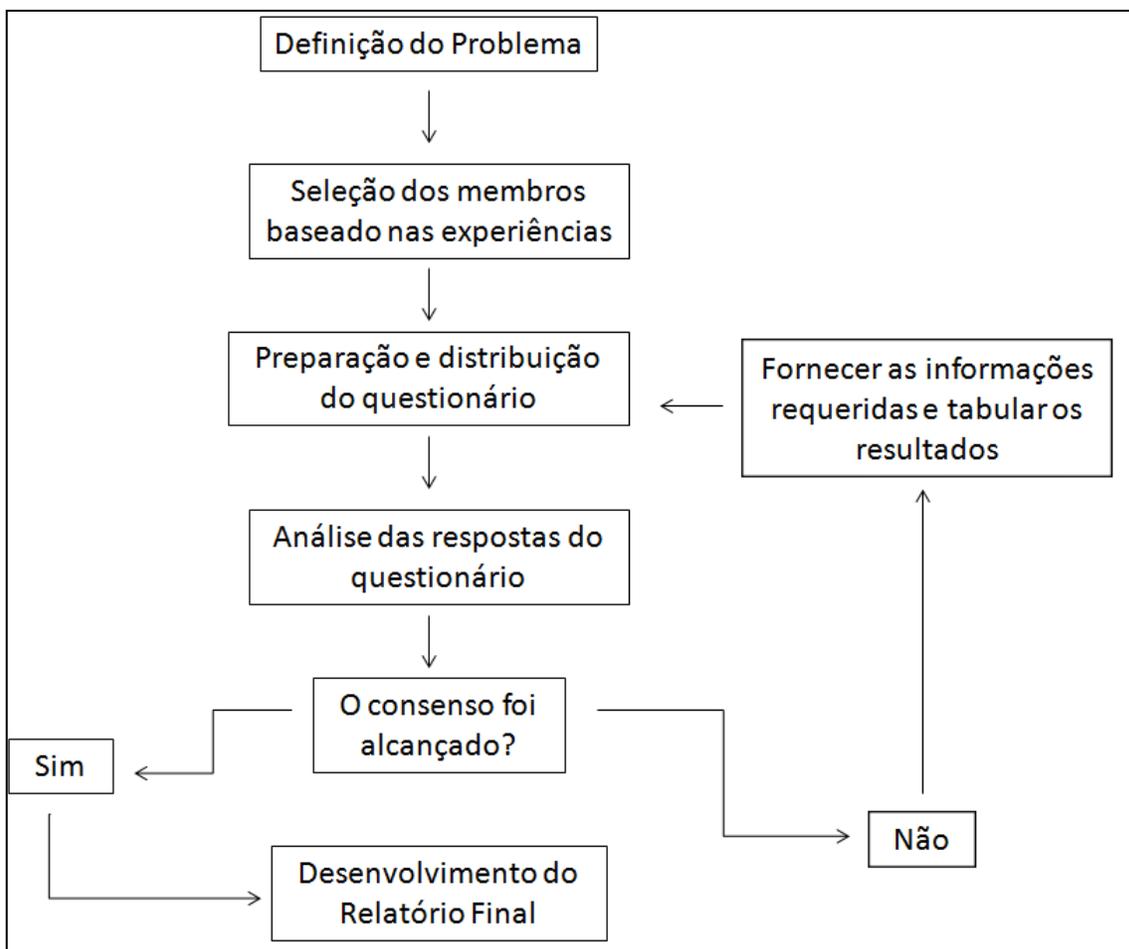


Figura 19 – Fluxograma das etapas da metodologia Delphi.

#### **3.4.2.5 Matriz de Impactos Cruzados**

A matriz de impactos cruzados é um método que reúne uma família de técnicas para avaliar a influência que um determinado evento teria sobre a probabilidade de ocorrência de outros eventos. O método leva em conta a interdependência de várias questões formuladas, possibilitando que o estudo que se está realizando adquira um enfoque mais global, mais sistêmico e, portanto, mais de acordo com uma visão de perspectiva (MARCIAL e GRUMABACH, 2002).

O método foi desenvolvido porque muitas técnicas de prospecção tecnológica, quando feitas isoladamente, falham na avaliação de impactos mútuos que determinados eventos podem ter. É uma técnica aplicada para se analisar um futuro perante outros futuros possíveis. É considerada quantitativa e depende de opinião de especialistas para predizer se um dado evento tem chance ou não de ocorrer.

#### **3.4.2.6 Sistemas Dinâmicos**

O sistema dinâmico é uma técnica quantitativa usada para prever e modificar o comportamento de importantes sistemas humanos. Baseia-se na casualidade física e humana que é centrada em sistemas complexos, não lineares, agregados e que envolvem uma coleta de transferência de informações.

As operações desse sistema possuem séries históricas compostas de combinações complexas de tendências, oscilações e variações randômicas.

#### **3.4.2.7 Regressão**

A análise de tendências tecnológicas é baseada na hipótese de que os avanços da tecnologia tendem a seguir um processo exponencial de melhoria. A técnica usa dados referentes às melhorias para estabelecer a taxa de progresso e extrapola a taxa para projetar o nível de progresso no futuro. Os resultados obtidos por essa técnica são basicamente quantitativos. Na prática, é utilizada para projetar desenvolvimentos, proporcionando velocidades de operação, nível de desempenho, redução de custos, melhoria da qualidade e eficiência operacional. Os modelos básicos de extrapolação são aplicados normalmente para projeções de curto prazo.

### 3.4.3 Vantagens e Desvantagens das Técnicas

A prospecção tecnológica de algum bem sempre é complicada, pois envolve uma série de fatores que muitas vezes não se pode avaliar. Por isso, é necessário pontuar exatamente qual questão se quer levantar para que assim seja possível escolher o método adequadamente.

É importante ressaltar que nenhum método de prospecção tecnológica é completamente satisfatório, uma vez que eles não podem atender a todas as questões envolvidas no processo.

Muitos autores apontam a importância de se realizar mais de um método quando se quer prever certo evento no futuro. É aconselhável que haja uma combinação de métodos quantitativos com os qualitativos, pois isso assegura à prospecção uma diversidade de informações complementares ao que está se prevendo.

Como já exposto, todas as técnicas apresentam vantagens e desvantagens.

Métodos quantitativos necessitam, por exemplo, de séries históricas confiáveis ou de uma padronização de dados. Já os métodos qualitativos apresentam problemas relacionados ao limite de conhecimento dos especialistas. Dessa forma, a qualidade dos resultados dos estudos está fortemente ligada à escolha correta do método ou ferramenta de prospecção (COELHO e COELHO, 2003).

Na Tabela 07, é apresentado um breve resumo das principais vantagens e desvantagens dos métodos e técnicas existentes.

Tabela 07– Vantagens e Desvantagens de alguns métodos e técnicas de prospecção tecnológica

Método	Vantagens	Desvantagens
Monitoramento & Sistemas de inteligência	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fornecem uma grande quantidade de informações;</li> <li>- Usados na contextualização inicial do tema ou como forma de manter os temas críticos atualizados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podem resultar no excesso de informações;</li> <li>- Estão mais relacionados ao passado e ao presente, portanto só análise dá uma perspectiva futura.</li> </ul>
Tendências	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Previsões substanciais, baseadas em parâmetro;</li> <li>- Preciso em um curto prazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer dados históricos sólidos e coletados por um longo período;</li> <li>- Só funciona para parâmetros quantitativos;</li> <li>- É vulnerável a mudanças bruscas;</li> <li>- Não recomendado para prospecções em longo prazo.</li> </ul>
Opinião de Especialistas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identifica modelos e percepções internalizados pelos especialistas;</li> <li>- Permite que a intuição encontre espaço na prospecção;</li> <li>- Incorpora à prospecção quem realmente entende da área.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É difícil identificar o especialista;</li> <li>- Muitas vezes as projeções são erradas ou preconceituosas;</li> <li>- Pode ser ambíguo e divergente para os especialistas</li> </ul>
Cenários	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Apresenta dados consistentes sobre o futuro em questão;</li> <li>- Junta informações quantitativas e qualitativas por meio de outras técnicas de prospecção;</li> <li>- Incorpora dados que possibilitam definir a ação a ser tomada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Algumas vezes são mais fantasias do que prospecção, principalmente quando se identifica o futuro desejado sem considerar as restrições e barreiras a serem ultrapassadas.</li> </ul>
Métodos descritivos e Matrizes; Métodos Estatísticos; Modelagem e Simulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exibem o comportamento de sistemas complexos;</li> <li>- Oferecem possibilidade de julgamento humano;</li> <li>- Possibilitam o tratamento analítico de vários dados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Podem camuflar falsos pressupostos, gerando resultados de qualidade duvidosa;</li> <li>- Requerem adaptações antes de ser validados;</li> <li>- Contêm pressupostos que devem ser verificados antes de aplicados.</li> </ul>
Criatividade	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta a possibilidade de se avaliar futuros possíveis;</li> <li>- Diminui visões pré-concebidas;</li> <li>- Encoraja um novo padrão de percepção;</li> <li>- Ideal para o início de processos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O coordenador ou líder do grupo deve ser capaz de conduzir o grupo para evitar a perda do foco do tema debatido;</li> <li>- Se mal conduzido, pode gerar descrédito à futurologia.</li> </ul>
Avaliação/Decisão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ajudam a reduzir a incerteza no processo decisório;</li> <li>- Auxiliam no estabelecimento de prioridades quando há grande quantidade de variáveis a serem analisadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- É necessário ter a consciência de que os métodos reduzem, mas não eliminam a incerteza no processo de decisão.</li> </ul>

(fonte: adaptado de Coelho e Coelho, 2003)

## 4 Método Delphi

Conhece a ti mesmo era o dístico do oráculo de Delfos na antiga Grécia. O que isso significava? Não podemos afirmar com certeza, porém podemos supor que aconselhava a quem queria saber sobre o seu futuro, que primeiramente deveria analisar a si mesmo para verificar sobre suas falhas e potenciais, e então seria descortinado o futuro. Todavia, nunca saberemos com certeza. O método Delphi recebe este nome em referência ao oráculo e foi elaborado nos Estados Unidos, na década de 1950, por O. Helmer e N. Rescher, ambos pesquisadores da *Rand Corporation*, com o suporte financeiro da Força Aérea Americana, com o intuito de elaborar um consenso de especialistas sobre o efeito que um ataque nuclear poderia gerar (GORDON, 1964). Representa uma técnica que utiliza informações de um julgamento intuitivo das pessoas com a finalidade de delinear e realizar previsões (OLIVEIRA, 2001).

É reconhecido como um dos melhores meios de previsão qualitativa. Pode ser aplicado em diversos setores, mas a aplicação mais comum atualmente é a previsão tecnológica. Sua utilização é recomendada quando não existem dados históricos a respeito do problema que se investiga ou, em outros termos, quando faltam dados quantitativos referentes ao mesmo (ROWE e WRIGHT, 1999).

No Brasil, o uso de métodos de prospecção tecnológica ainda é bastante recente. Porém algumas instituições já se utilizaram desse tipo de recurso para suas estratégias de mercado. É o caso da Marinha, Petrobrás, Embrapa e Banco do Brasil.

Na área acadêmica, já existem grupos de pesquisa na Faculdade de Economia e Administração (USP), na Escola Politécnica de São Paulo (USP), na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), na Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR) e na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (CARDOSO et al., 2005).

### 4.1 A Técnica

A previsão do futuro é usada mesmo para a atividade mais banal do cotidiano. Quando algum evento ocorre, tentamos sempre explicá-lo por meio de uma correlação de causa e efeito. (SANT'ANA, 2005). Ademais, uma previsão para um pequeno espaço de tempo é usada cotidianamente como, por exemplo, para prever o tempo no fim da tarde ou prever quem irá ou

não comparecer a uma reunião de serviço. Na verdade, o que existe é uma tendência em confiar em nossa habilidade de manipular os eventos.

Essa técnica já foi utilizada nos mais diversos campos: na prospecção de petróleo em águas profundas e no programa nacional de álcool, assim como em telecomunicações, cadeias produtivas do agronegócio e em áreas científico-tecnológicas. Ela também foi aplicada no comércio, educação, tratamentos médicos, engenharia, meio ambiente, ciências sociais e transporte (GUPTA e CLARKE, 1996).

Basicamente, o objetivo desta técnica tem como fundamento maximizar os benefícios do conhecimento do grupo de especialistas, fazendo uma troca de opinião entre os correspondentes, que entrarão em um acordo sobre certo ponto de vista.

O fato de a pesquisa manter o anonimato dos participantes faz com que alguns tipos de inconvenientes sejam evitados, como visões religiosas ou político-sociais distintas.

O princípio do método é baseado no meio intuitivo e interativo. É necessário formar-se um grupo de especialistas na área do conhecimento da qual se quer fazer a prospecção. Os mesmos respondem a uma série de questões, previamente elaboradas pelo pesquisador. Os resultados obtidos com as respostas dos questionários são analisados e, através de métodos estatísticos, calcula-se a mediana e a amplitude interquartilica. É feita então uma síntese dos resultados e comunicada aos membros do grupo de especialistas que, após tomarem conhecimento, respondem novamente ao questionário. São realizadas tantas interações quanto forem necessárias até que um consenso ou quase consenso seja obtido.

De modo geral, o método "Delphi" se distingue por três características básicas:

- 1) Anonimato;
- 2) Interação com "*feedback*" controlado;
- 3) Respostas estatísticas do grupo.

Anonimato: é necessário que a pesquisa seja feita de modo anônimo, pois desse modo evita-se ao máximo que um participante seja influenciado pela opinião de outro participante. Além disso, não é recomendado que haja comunicação entre participantes do grupo durante a pesquisa.

Interação com "*feedback*" controlado: é a condução do experimento numa série de etapas. Ao término de cada etapa, os participantes da pesquisa serão informados sobre o resultado do experimento. Essa interação faz com que ocorra uma redução do "ruído", ou seja, o pesquisador fornece ao grupo somente aquilo que se refere aos objetivos e metas de seu estudo, evitando que o painel se desvie dos pontos centrais do problema.

Respostas – tratamento estatístico: a utilização de uma definição estatística da resposta do grupo é uma maneira de reduzir a pressão na direção da conformidade, evitando, ao fim do exercício, uma dispersão significativa das respostas individuais. O produto final deverá ser uma previsão que contenha o ponto de vista da maioria. No entanto, pode haver um resultado também minoritário, se a minoria tiver convicção acerca do assunto. O número de etapas a ser realizado no estudo irá depender do custo do painel, do tempo disponível pelo pesquisador e também da disponibilidade de tempo dos participantes. Não existe a exigência de um número mínimo ou máximo de componentes do painel, que pode variar de um pequeno grupo até um grupo numeroso, dependendo do tipo de problema a ser investigado e da população e/ou amostras utilizáveis. Algumas variações podem implicar a eliminação de uma ou mais características do método "Delphi", ou a criação de procedimentos diferentes, que são admitidos, desde que sejam conservadas as características básicas.

A aplicação do método pode ser feita através do correio ou via terminais de computador. O pesquisador sumariza o cálculo da mediana ou da média da previsão, remetendo o resultado a cada "painelista", podendo ou não incluir um relatório. Os indivíduos pesquisados são solicitados a revisar suas previsões, submetendo-as à comparação com os argumentos de suporte. O processo se encerra quando o consenso entre os participantes for aproximado.

De acordo com a praxe do método "Delphi", a primeira etapa é composta de questões totalmente abertas.

O método é recomendado para a realização de previsão futura quando modelos puramente matemáticos não podem ser utilizados e quando é necessário que se exista um julgamento pessoal do indivíduo que trabalha com o tema a ser investigado.

É importante ressaltar que a precisão do método é difícil de avaliar, pois o julgamento das pessoas sobre um determinado assunto não pode ser comparado com as medições. Sendo assim, a

sugestão que se faz é que ao realizar-se uma pesquisa com o método Delphi é de que os resultados sejam comparados com os de outros métodos de julgamento.

#### **4.1.1 Vantagens**

O método "Delphi" oferece duas vantagens: seu custo é relativamente baixo, e ele suprime as pressões que os participantes poderiam ter numa confrontação. Fornece comunicação estruturada, anonimato dos participantes, retorno aos participantes e respostas estatísticas baseadas no grupo. Permite, ademais, a identificação de muitos modelos e percepções pelos especialistas que não seriam factíveis em modelos matemáticos, além de contar com a intuição (ROWE e WRIGHT, 1999).

A cada rodada que passa, o consenso entre os especialistas tende a aumentar.

#### **4.1.2 Desvantagens**

A principal desvantagem do método é que nem sempre é fácil identificar os especialistas na área, fazendo com que as respostas sejam tendenciosas, dependendo da escolha do grupo de indivíduos que responde ao questionário proposto.

É necessário cautela com a formulação das perguntas, pois as mesmas podem ser altamente subjetivas, sendo capazes de induzir a resposta. Para evitar que isso ocorra, é necessário que o grupo de especialistas formado seja de grande diversidade cultural, para que as distorções sejam evitadas.

#### **4.1.3 Especialistas**

A seleção de participantes depende basicamente de dois aspectos: identificar quem e onde estão os especialistas e dentro deste grupo, selecionar quais serão os especialistas que estarão aptos a responder o questionário.

A seleção é importante, pois um grupo que não seja necessariamente especialista no assunto pode comprometer o resultado com respostas fugazes. Para atingir um resultado próximo da realidade é necessária a garantia de que dentro do grupo escolhido existam vários tipos de pontos de vista.

Os especialistas devem apresentar características como: Conhecimento na área de interesse, capacidade de avaliar seus conhecimentos e imaginação (LOVERIDGE, 2001). Eles ainda devem ser selecionados entre vários setores de atuação, como universidades, indústrias e governo, para que assim todos os setores sejam representados, elevando a credibilidade da pesquisa (SANT'ANA, 2005).

#### **4.1.4 Formulação do Questionário**

A formulação do questionário não é simples. É necessário que o pesquisador siga uma série de regras pré-estabelecidas, para que o julgamento dos especialistas não seja afetado, por exemplo, por subjetivismos.

Ao formular as perguntas do método Delphi, é necessário que se tenha os seguintes cuidados (LOVERIDGE, 2002):

- Não haver ambiguidade;
- Não fazer declarações condicionais;
- Temos científicos devem ser corretos;
- Parâmetros devem ter definições claras.

É preciso que as perguntas sejam simples, claras e diretas. Ao se construir afirmativas longas, abre-se espaço para variações de interpretações, ao mesmo passo que afirmações muito concisas podem limitar o grau de compreensão perante o questionamento.

Uma questão deve ter, aproximadamente, entre 10 e 30 palavras, pois o entrevistado que é especialista no assunto reconhecerá rapidamente o tema abordado e ficará frustrado com adição de informações em excesso. Além disso, quanto menos informação estiver presente na questão, maior será o teste do nível de conhecimento (LOVERIDGE, 2002).

O questionário deve ser preenchido individualmente, sem que exista uma supervisão ou um grupo para responder junto.

Pelo fato de que os respondentes do questionário sejam anônimos uns para os outros, um excelente meio de se conduzir a pesquisa é através de correio. Com o advento da internet, foi possível fazer com que pesquisas utilizando a metodologia Delphi fossem conduzidas eletronicamente. É o caso do presente trabalho.

## 5 Resultados e Discussões

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para a realização da pesquisa, assim como o critério de seleção dos especialistas. Será explicada também a ferramenta que possibilitou a pesquisa, e em seguida serão mostrados e discutidos os resultados referentes ao questionário enviado.

### 5.1 Metodologia

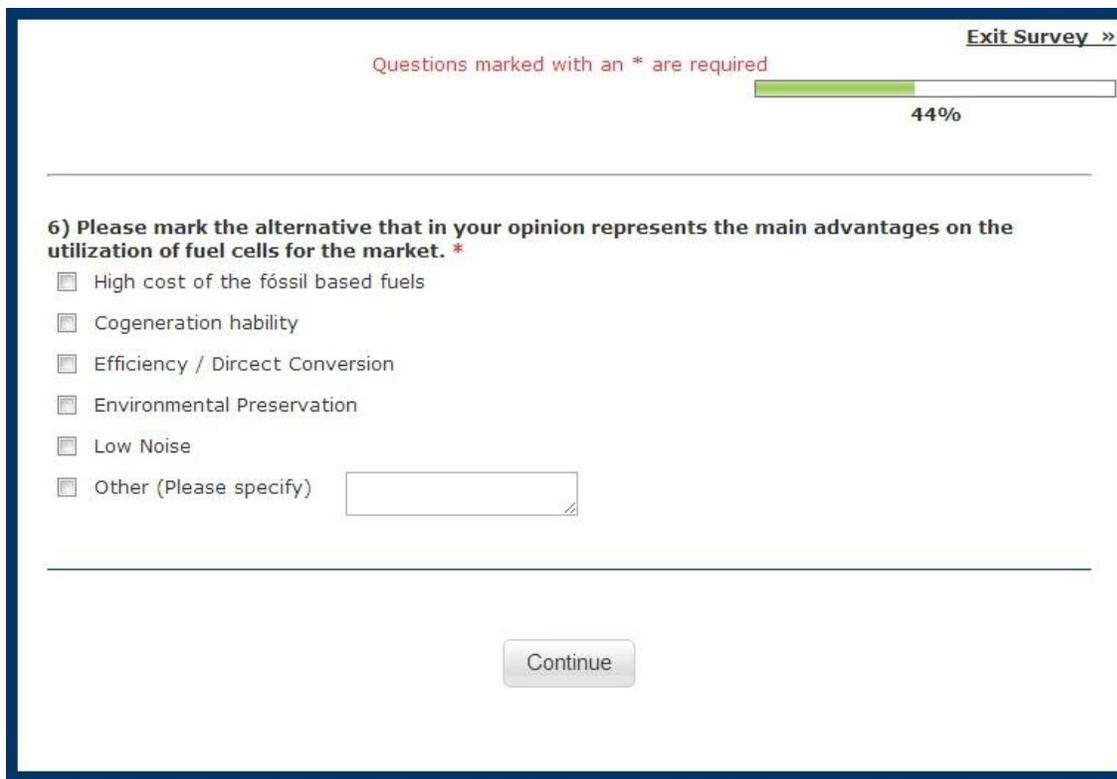
A metodologia escolhida para a efetuação da previsão de mercado das pilhas a combustível em médio prazo foi a Técnica Delphi. A mesma foi escolhida porque o mercado de um determinado produto não depende de um modelo matemático, mas sim de como certa população aceita tal tecnologia. No caso do mercado das pilhas a combustível, a intuição dos especialistas é importante, pois estes trabalham diariamente com a tecnologia e têm um parecer mais preciso do que acontecerá com ela em um futuro próximo.

O questionário foi construído de maneira a investigar o conhecimento do especialista sobre cada tipo de pilha a combustível e qual seria a importância de cada uma delas no mercado em 20 anos. Perguntou-se ainda aos especialistas quais seriam as vantagens do mercado das mesmas e quais seriam as principais limitações funcionais que as impediriam de alcançar o mercado final. O questionário foi enviado por meio eletrônico, através do site *QuestionPro*, que será apresentado na seção 5.1.1. Tomou-se o cuidado de elaborar um questionário simples, que não permitisse que o entrevistado fosse induzido ao responder o mesmo. O questionário foi construído em português e convertido ao inglês, e as questões estão apresentadas nos Anexos A e B.

A escolha dos especialistas baseou-se na premissa de abranger todos os setores: universidades, indústrias e governo. Para isso, foram acessados bancos de dados de revistas científicas, pesquisou-se sobre especialistas da área de pilha a combustível e, dentre esses pesquisadores, foram escolhidos alguns, de várias partes do mundo, que trabalharam com a tecnologia nos últimos três anos. Já para a área de indústria e governo, foram acessados bancos de dados corporativos de empresas ligadas ao ramo, e alguns desses profissionais foram selecionados.

### 5.1.1 QuestionPro

A metodologia Delphi foi aplicada e conduzida através do programa eletrônico disponibilizado pelo site *QuestionPro* ([www.questionpro.com](http://www.questionpro.com)). A pesquisa foi realizada durante o segundo semestre de 2012.



The image shows a screenshot of a survey question on the QuestionPro platform. At the top right, there is a link for "Exit Survey »". Below it, a progress bar indicates that 44% of the survey has been completed. A red text note states "Questions marked with an \* are required". The main question is: "6) Please mark the alternative that in your opinion represents the main advantages on the utilization of fuel cells for the market. \*". There are six radio button options: "High cost of the fossil based fuels", "Cogeneration hability", "Efficiency / Dircect Conversion", "Environmental Preservation", "Low Noise", and "Other (Please specify)". The "Other" option is followed by a text input field. At the bottom center, there is a "Continue" button.

Figura 20 – Tela do questionário criado no *QuestionPro*\* enviada aos especialistas

A Figura 20 mostra como o respondente visualizou uma das perguntas presentes no questionário que foi criada e enviada pelo site do *QuestionPro*.

O *QuestionPro* é um “software” online que possibilita a criação, publicação e distribuição de pesquisas elaboradas pelos seus usuários do site. Dentro da página, é possível encontrar uma interface de fácil uso para a construção do questionário sobre o assunto a ser investigado, assim como uma ferramenta que possibilita o envio de email com o link da pesquisa para as pessoas que serão convidadas a participar. É possível elaborar questões abertas, de múltipla escolha ou até mesmo de quantificação. O site também disponibiliza ferramentas que fazem o levantamento estatístico e a visualização, por meio de gráficos e dados numéricos, das respostas. A partir do

envio do questionário, à medida que os participantes vão acessando e respondendo ao questionário, o site já disponibiliza um relatório de visualização rápida, para que o usuário acompanhe instantaneamente as respostas obtidas.

O programa é adequado para quem pesquisa um determinado assunto e usa a metodologia Delphi, pois o site permite ao usuário a exportação dos dados para outros *softwares* (como o Excel<sup>®</sup>) e a criação de grupos específicos para o envio de email. É possível a visualização dos relatórios tanto coletivos como individuais dos respondentes, assim como o tratamento estatístico das respostas. Através do site, também é possível investigar quem já respondeu e os que não acessaram o questionário, sendo possível traçar um perfil dos respondentes.

## 5.2 Resultados

Ao todo, foram contatados 690 especialistas da área de pilhas a combustível. Do total, 26 optaram por não responder ao questionário – indicando esta opção pelo próprio sistema do site do *QuestionPro* –, três não receberam o email com o envio do questionário – não receberam por problemas nos endereços eletrônicos, tendo o email retornado com erro – e seis não estavam disponíveis no período em que a pesquisa foi realizada. Portanto, considera-se que o número de participantes de fato foi de 655.

Dos participantes, apenas 108 visualizaram o email sobre o questionário e 89 responderam às perguntas (embora apenas 50 tenham respondido a todas as perguntas elaboradas). Desse modo, 12,90% dos especialistas abordados responderam à pesquisa, o que constitui um número satisfatório para uma conclusão acerca do assunto.

Quando os especialistas possuem algum relacionamento com o realizador da pesquisa, ou o contato é feito diretamente, o valor esperado para a porcentagem de abstenções é 65%. Quando não existe nenhuma relação entre os administradores da pesquisa e os especialistas, esse número aumenta consideravelmente (WRIGHT & GIOVANAZZO, 2000). Na presente pesquisa, não havia nenhuma espécie de relacionamento entre os especialistas. Dessa maneira, os 12,90% de respondentes são considerados um excelente número para os objetivos da pesquisa.

Foram realizadas duas rodadas de questionamento com os especialistas. Os resultados e a discussão das questões enviadas estão expostos nas subseções a seguir.

### 5.2.1 Perfil dos Participantes

É importante que se conheça a área que cada entrevistado, para se ter uma ideia global de qual linha de pensamento que cada respondente segue.

O questionário foi enviado para especialistas do mundo todo. O perfil dos respondentes, apresentado quanto ao ramo de trabalho, está mostrado na Figura 21.

A maioria, 64,47%, pertence à área acadêmica, enquanto que a minoria, 1,32%, pertence a três distintas áreas: Consultoria, Produção/Operação e Tecnologia. Aqueles que trabalham para os governos de seus países totalizam 6,58%, enquanto 14,47% trabalham com Marketing/Negócios e 5,26% atuam em P&D.

Foram encontradas, ao todo, nove áreas de atuação entre os entrevistados. Aqueles que marcaram o campo “outros” disseram pertencer à área ligada a publicações. A grande variedade de áreas de atuação dos respondentes é ideal, pois se garante que existe uma diversidade de opiniões, não mostrando uma linha tendenciosa nas respostas, o que favorece que o consenso geral seja mais próximo do que deverá acontecer no futuro.

A maioria dos respondentes está ligada a área de pesquisas, seja acadêmica ou industrial. Uma possível interpretação para esse resultado é de que a tecnologia das pilhas a combustível, embora esteja crescendo no mercado a cada ano, ainda se encontra em fase de expansão, sendo necessário investimento em pesquisas para que a tecnologia torne-se mais barata, pois hoje sua presença no mercado está limitada somente a alguns setores, por serem extremamente caras.

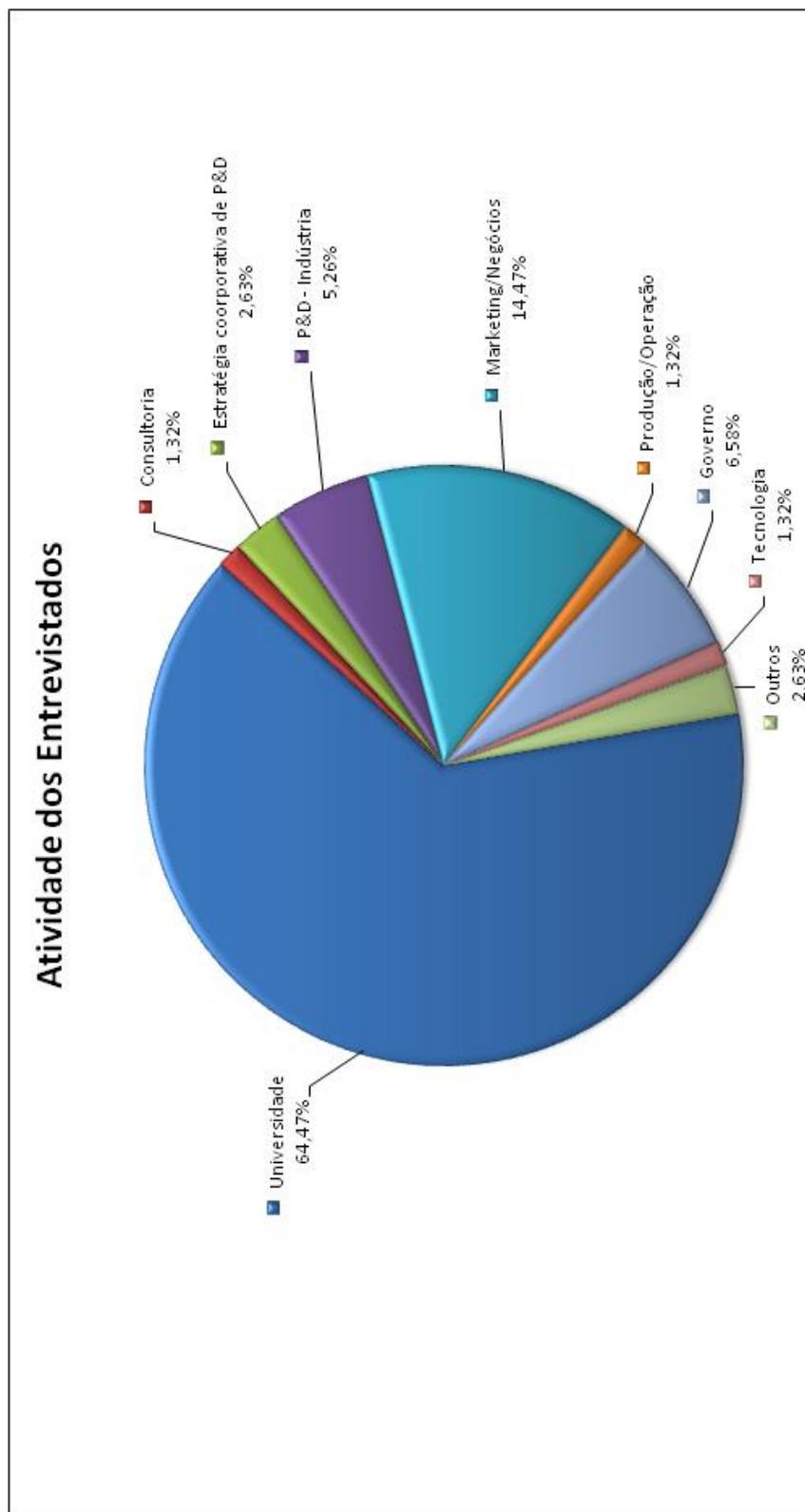


Figura 21 – Ramo de trabalho dos entrevistados.

### 5.2.2 Familiaridade com o Assunto

No questionário enviado aos especialistas, havia seis tipos diferentes de pilhas a combustível. Perguntou-se, para cada tipo de pilha, qual era o grau de conhecimento do respondente sobre elas. O intuito da pergunta foi ter-se ideia sobre o tipo de pilha sobre o qual tinham maior conhecimento, bem como o tipo sobre o qual tinham menos domínio.

Na Figura 22, é mostrado o conhecimento dos especialistas sobre as AFC.

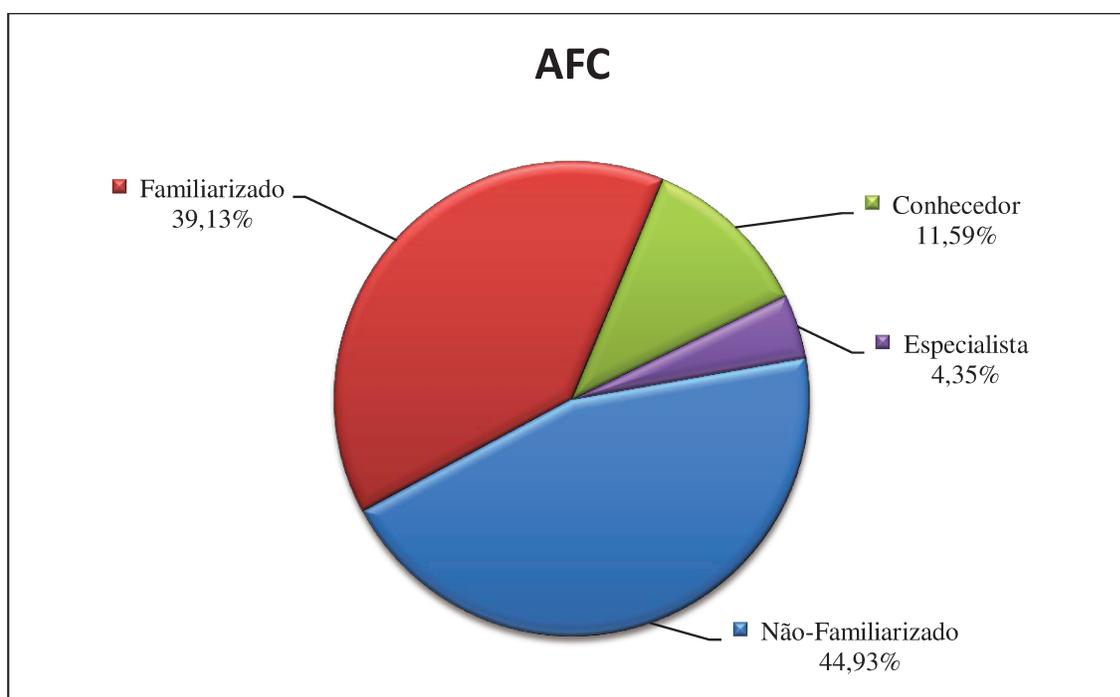


Figura 22 – Conhecimento dos respondentes sobre AFC.

Nota-se na Figura 22 que a maioria (44,93%) dos entrevistados não são familiarizados com as AFC. Apenas alguns são especialistas nas pilhas alcalinas, representando uma parcela de 4,35%. Em um grupo quase equiparável com os não familiarizados, estão os Familiarizados, com 39,13%.

Esses dados podem ser justificados com o fato de que dentre todas as pilhas a combustível citadas na pesquisa, esta é a que tem a área de aplicação mais restrita, sendo, portanto, pouco estudada e pesquisada, o que gera uma menor quantidade de especialistas no assunto.

Na Figura 23, é mostrado o conhecimento dos respondentes sobre as DMFC.

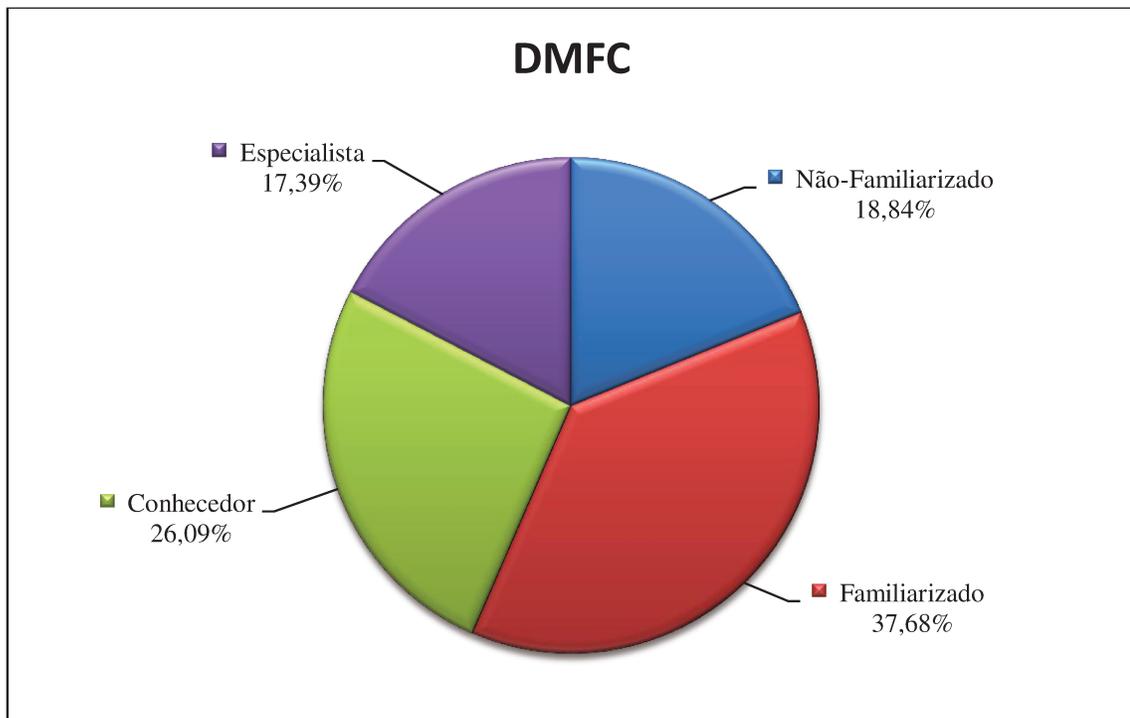


Figura 23 – Conhecimento dos respondentes sobre DMFC.

Os respondentes têm um conhecimento mais profundo sobre as DMFC do que sobre as AFC. Na Figura 23, percebe-se que 17,39% são especialistas em DMFC, enquanto que apenas 18,84% não têm familiarização com o assunto. O restante do grupo se divide em Conhecedor, com 26,07%, e Familiarizado, com 37,68%. As DMFC por atenderem ao mercado “portátil” de energia, são pilhas a combustível de fácil divulgação. O fato de fornecerem menores densidades de potência faz com que tenham estrutura mais simples e de fácil acesso. Como essa pilha é empregada com sucesso, por exemplo, no mercado de pequenos veículos, como empilhadeiras, pode ser considerada “estável” no mercado, fazendo com que o número de especialistas de fato seja maior quando comparado com AFCs.

A Figura 24 traz o perfil do conhecimento dos respondentes sobre as MCFC.

O grupo de especialistas das MCFC é bem reduzido, representando apenas 1,45% dos respondentes. A maioria, 44,93%, tem uma boa familiaridade com o tipo. Os que não são familiarizados representam a segunda maior parte do grupo, com 37,68%.

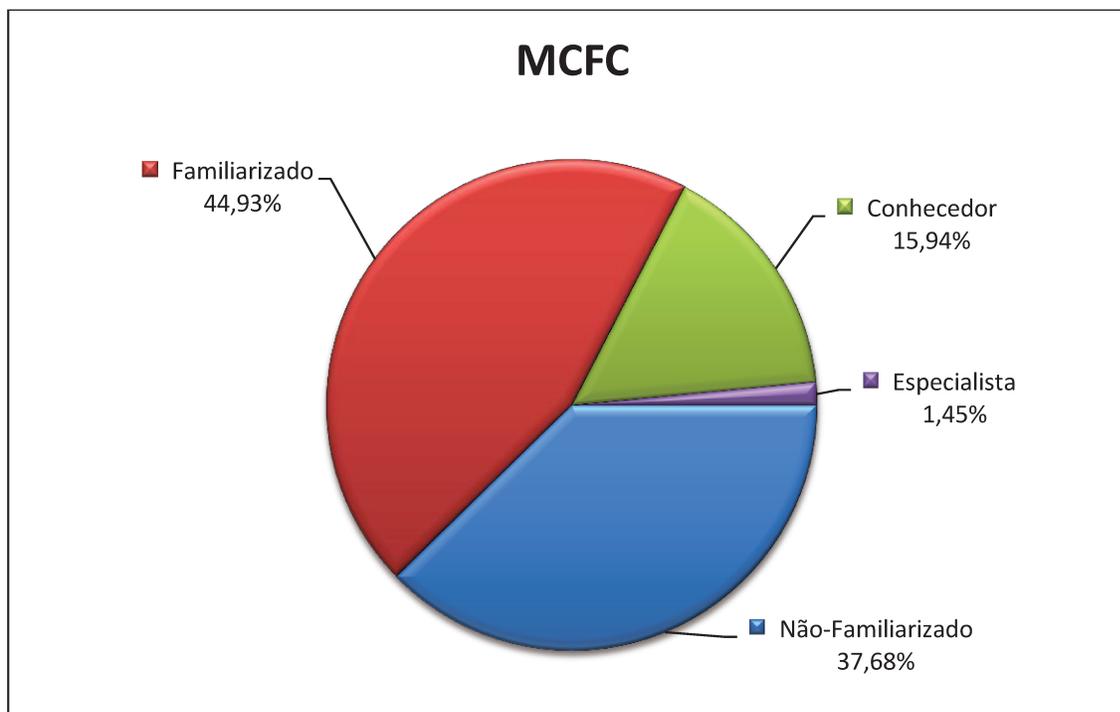


Figura 24 – Conhecimento dos respondentes sobre MCFC.

As MCFC, assim como as DMFC, são pilhas para geração de energia de pequeno porte, embora possam ser usadas também em grandes fornecimentos de potência. Apresentam ainda muitos problemas associados à estabilidade do eletrólito e a corrosões. Em termos operacionais, funcionam em elevadas temperaturas, fazendo com que se exija um maior cuidado na construção de sua estrutura. Quando se necessitam altos fornecimentos de energia, as PEMFC e as SOFC apresentam resultados mais satisfatórios. Tais informações podem justificar o baixo número de especialistas na área de MCFC.

A Figura 25 mostra o conhecimento dos respondentes sobre as PAFC.

Grande parte dos respondentes, 46,38%, dizem-se apenas familiarizados com as pilhas do tipo PAFC. Os especialistas, assim como nas MCFC e AFC, são minoria, representando apenas 2,90%. Não-Familiarizados com o assunto representam o segundo maior grupo dos respondentes, com 43,48%.

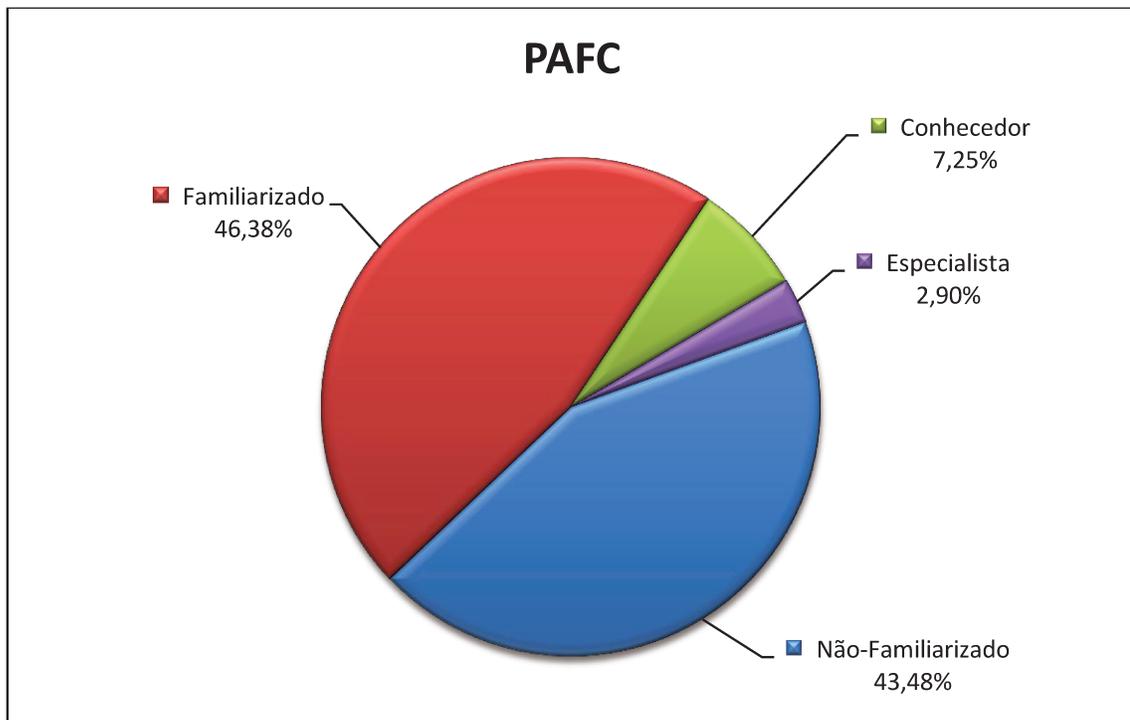


Figura 25 – Conhecimento dos respondentes sobre PAFC.

Os números mostrados na Figura 25 podem ser justificados pelo fato de as PAFC estarem no mercado há bastante tempo. Desde os anos 1960, foi possível encontrar unidades estacionárias de PAFC. Devido a isso, é esperado que a maioria dos entrevistados tivesse um mínimo de conhecimento sobre pilhas do tipo PAFC. A não familiaridade dos respondentes pode ser explicada pelo fato de que a grande maioria dos mesmos é ligada a universidades, e ultimamente as PAFC não têm sido muito estudadas e pesquisadas no meio acadêmico, quando comparadas com os outros tipos de pilha a combustível.

Na Figura 26, é mostrado o conhecimento dos respondentes sobre as PEMFC.

Entre os respondentes, a PEMFC é a pilha a combustível que tem o maior número de especialistas, 42,03%. Já o grupo de conhecedores também é significativo, com 37,68%. Os familiarizados constituem 18,84%, e apenas 1,45% não tem contato com as PEMFC. Através dos números, pode-se concluir que a PEM é uma pilha extremamente promissora, pois existe uma grande quantidade de pessoas estudando, pesquisando e especializando-se nas mesmas.

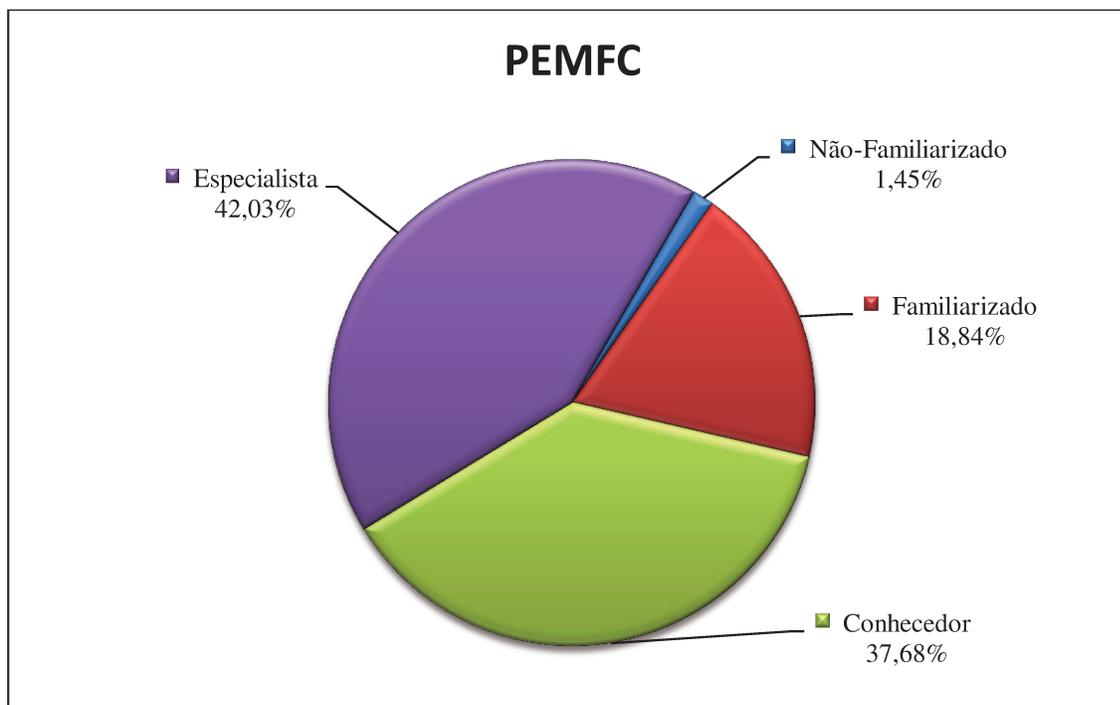


Figura 26 – Conhecimento dos respondentes sobre PEMFC.

Ao longo dos últimos anos, houve uma grande melhoria no desenvolvimento dos materiais que compõem a estrutura das PEM. Isso possibilitou que se tornassem mais eficientes e mais competitivas, sendo fabricadas e comercializadas em estruturas estacionárias de pequeno porte. Devido a essa melhoria, o interesse nesse tipo de pilha a combustível cresceu consideravelmente, justificando, assim, os números apresentados na Figura 26.

Na Figura 27, tem-se o grau de conhecimento dos respondentes sobre a SOFC.

Assim como na PEMFC, os especialistas, conhecedores e familiarizados representam a grande maioria dos respondentes, sendo que os especialistas representam 26,09%, os conhecedores, 23,19%, e os familiarizados, 37,68%. Os não familiarizados são apenas 13,04%. Os números mostram que a SOFC é uma pilha a combustível que tem despertado o interesse dos especialistas da área. Esses números justificam-se, pois as SOFC são capazes de gerar grandes quantidades de energia, o que desperta interesse, por exemplo, de países e instituições que têm dificuldades na geração de energia.

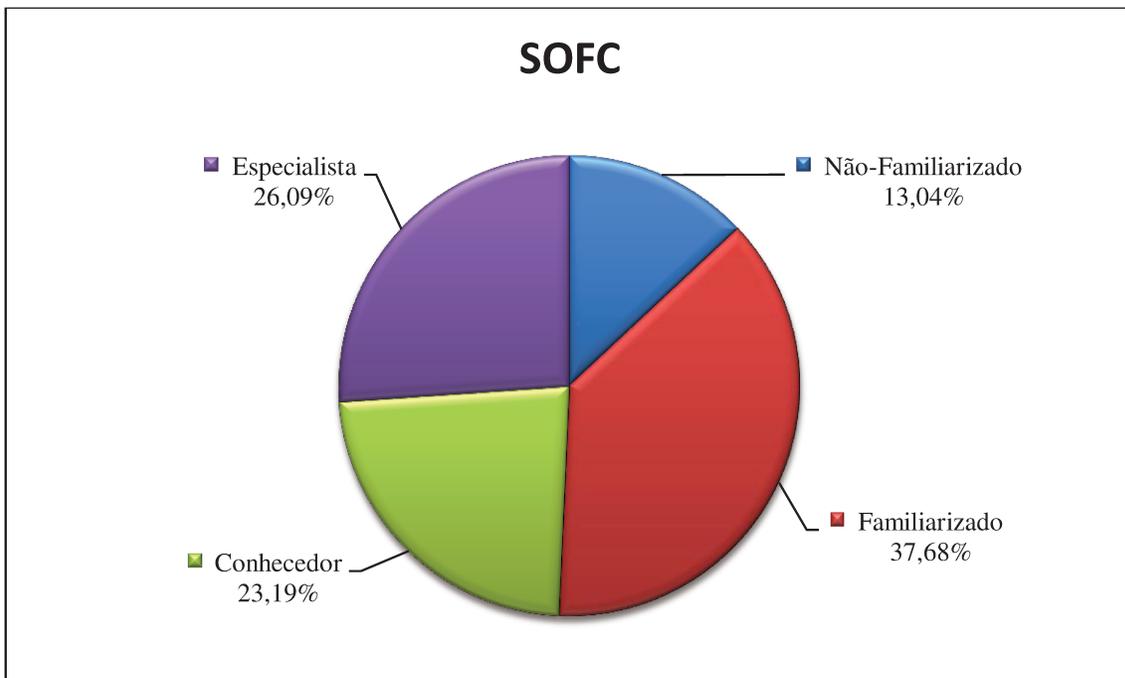


Figura 27 – Conhecimento dos respondentes sobre SOFC.

Além disso, as SOFC têm algumas vantagens operacionais que têm despertado o interesse dos pesquisadores. O fato de operar em elevadas temperaturas possibilita a cogeração de energia, fazendo com que a pilha tenha uma elevada eficiência e elimine a necessidade de reforma do combustível utilizado.

### 5.2.3 Importância do Estudo

Foi levantada também a importância de se pesquisar as pilhas a combustível. A ideia dessa pergunta foi questionar ao entrevistado se ele acreditava que a tecnologia era de interesse pontual ou geral. Conforme se observa na Figura 28, 71,01% dos especialistas acreditam que é fundamental que se invista em P&D, enquanto o restante, 28,99%, acreditam que é importante esse estudo. Nenhum dos entrevistados apontou que a pesquisa na área das pilhas a combustível é irrelevante (terceira opção para os respondentes assinalarem). Através desses dados, é possível concluir que é uma tecnologia que vem crescendo no mercado, abrindo a gama de opções para o seu uso, uma vez que os investimentos nas mesmas tornam-se mais frequentes.

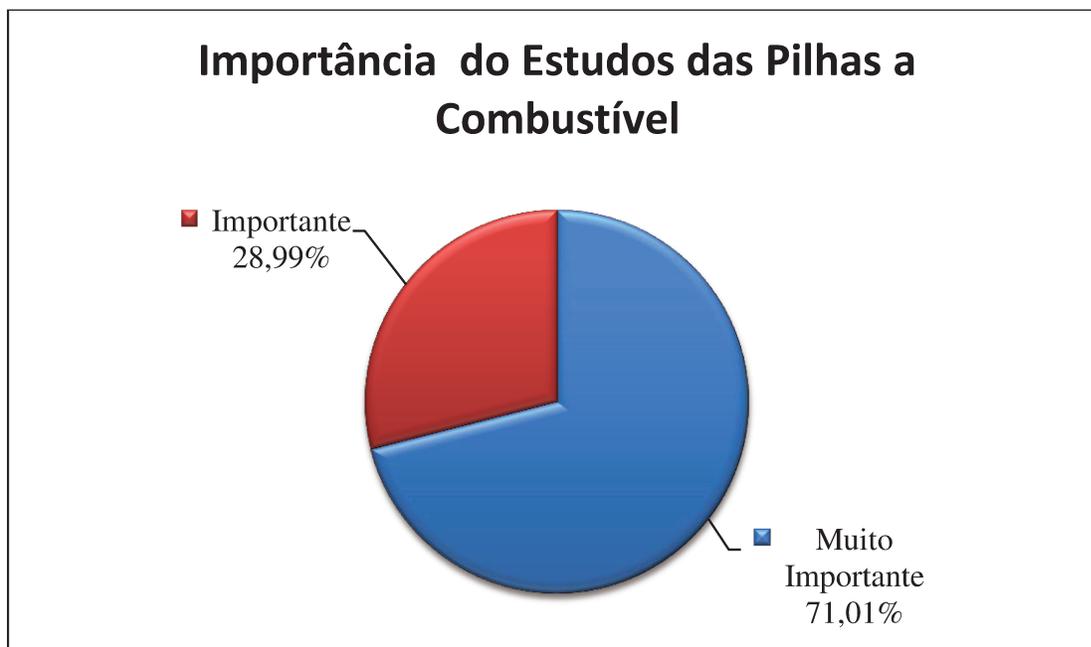


Figura 28 – Importância dos estudos das pilhas a combustível.

Para melhorar uma tecnologia, é necessário investimento em P&D, pois através dele é que se pode melhorar o produto em questão. Dessa maneira, atingir a marca de 71,01% dos especialistas considerando muito importante a realização das pesquisas leva a conclusão de que a tecnologia de pilhas a combustível é promissora, porém ainda exige bastante pesquisa. Isso pode ser justificado pelo fato de que, apesar de eficientes, as pilhas ainda apresentam alguns problemas estruturais a serem resolvidos, e, para que cheguem efetivamente no mercado com chances reais de concorrência, é necessário que o preço do kW/hora seja reduzido.

#### 5.2.4 Presença no Mercado

Ao questionar sobre a presença das pilhas a combustível no mercado, o intuito era investigar qual dos dispositivos os especialistas acreditavam ter presença mais viável no cotidiano do consumidor final em um futuro de 20 anos. No caso, o entrevistado precisava responder, individualmente, para cada uma das pilhas a combustível (AFC, DMFC, MCFC, PAFC, PEMFC e SOFC), qual era a sua perspectiva para o mercado das pilhas a combustível. Foi estabelecida, para cada tipo, uma escala de quantificação de 1 a 5, onde 1 correspondia a uma pequena presença e 5, a uma grande presença. Esses resultados foram comparados com a

progressão das pesquisas sobre cada uma das pilhas a combustível ao longo dos últimos 20 anos até julho de 2012, quando coletaram-se os dados.

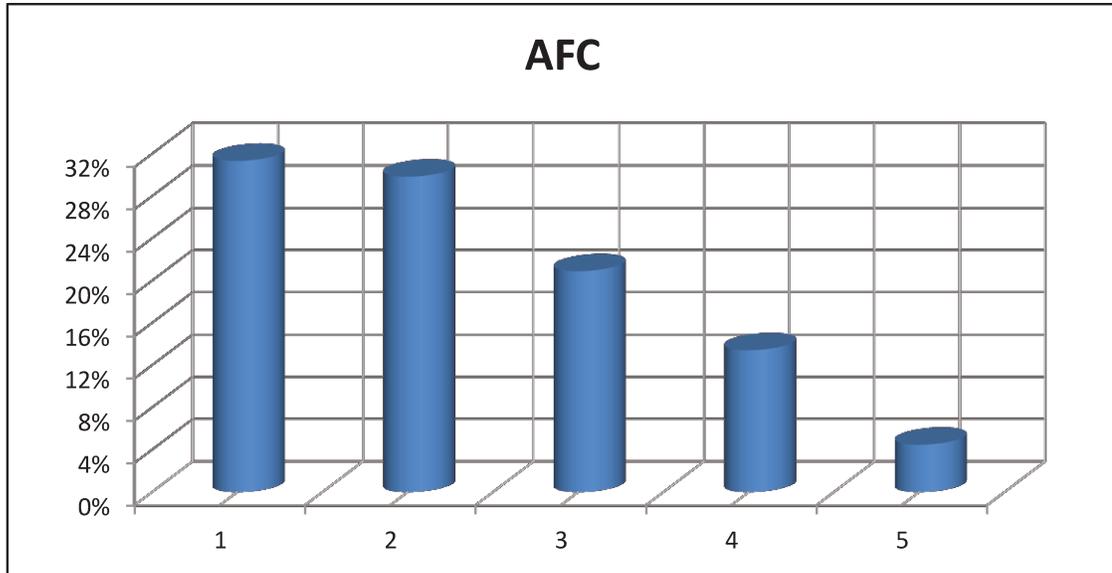


Figura 29 – Presença no mercado em 20 anos das AFC.

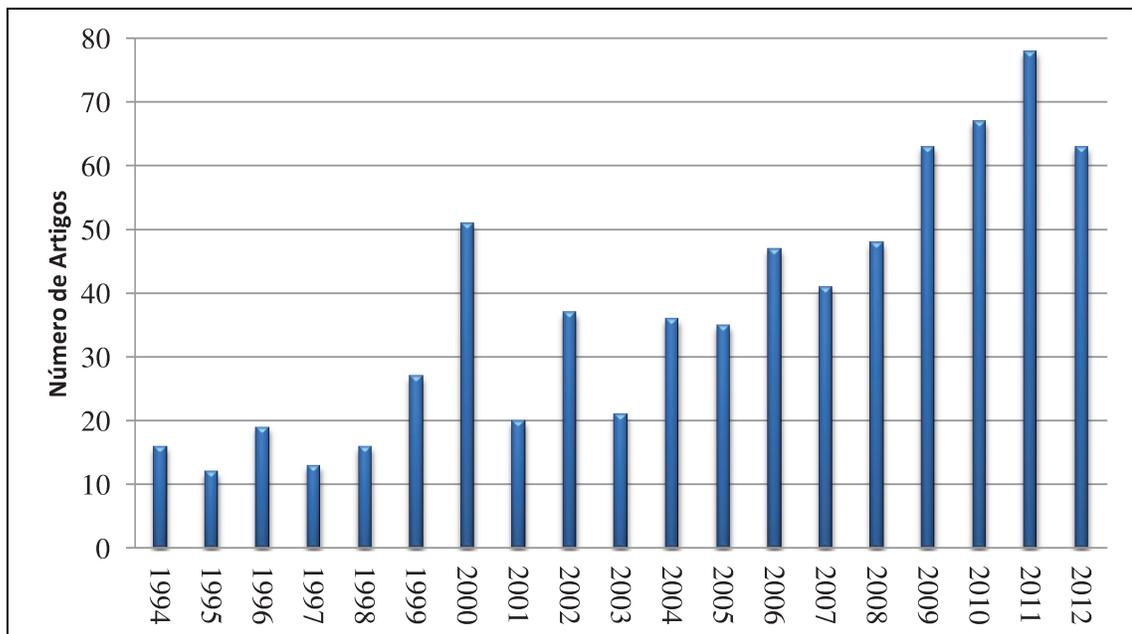


Figura 30 - Crescimento das pilhas AFC nas últimas décadas.

(fonte: dados colhidos do Science Direct, em Julho de 2012)

Na Figura 29, estão os resultados referentes às AFC. A grande maioria dos entrevistados, 31,34%, acredita que a presença desse tipo de pilha a combustível será pequena. Esse resultado é bastante similar à curva de artigos publicados sobre o assunto nos últimos 20 anos, como mostrado na Figura 30. Apesar do número de pesquisas sobre as AFC ter aumentado nos últimos anos, a quantidade de material disponível ainda é bastante reduzida. Pouco mais de 160 artigos foram publicados nos últimos dois anos. Essa quantidade mostra o pouco interesse nas AFC e consequentemente justifica a opinião dos especialistas sobre a tendência dessas pilhas a combustível não estarem maciçamente no mercado num futuro próximo. A principal explicação para o resultado está no fato de que as AFC são dispositivos altamente dispendiosos, limitando assim o seu uso a poucos mercados e consequentemente diminuindo significativamente sua presença.

Na Figura 31 está representada a opinião dos especialistas sobre a presença das DMFC no mercado em 20 anos. Segundo os resultados, 34,33% dos entrevistados acreditam que as DMFC terão uma presença significativa nos próximos anos, enquanto que apenas a minoria (4,48%) acredita que não terão importância. A opinião dos respondentes é bastante semelhante à curva de crescimento das pesquisas sobre o assunto, conforme mostra a Figura 32, mostrando que a tendência da presença das DMFC no mercado é exatamente a apontada pelos especialistas.

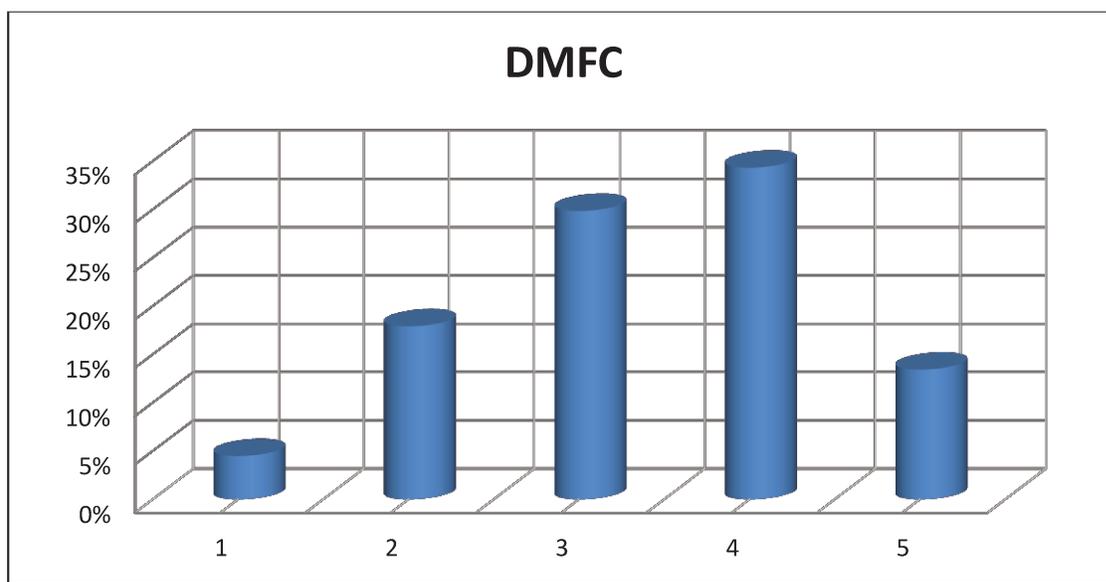


Figura 31 – Presença no mercado em 20 anos das DMFC.

De acordo com a Figura 32, nota-se uma linearidade no número de publicações nos últimos sete anos, o que significa que a tecnologia já atingiu um patamar ótimo, ou seja, ela é comercializada e melhorias ainda são intensamente pesquisadas para que a tecnologia seja aprimorada.

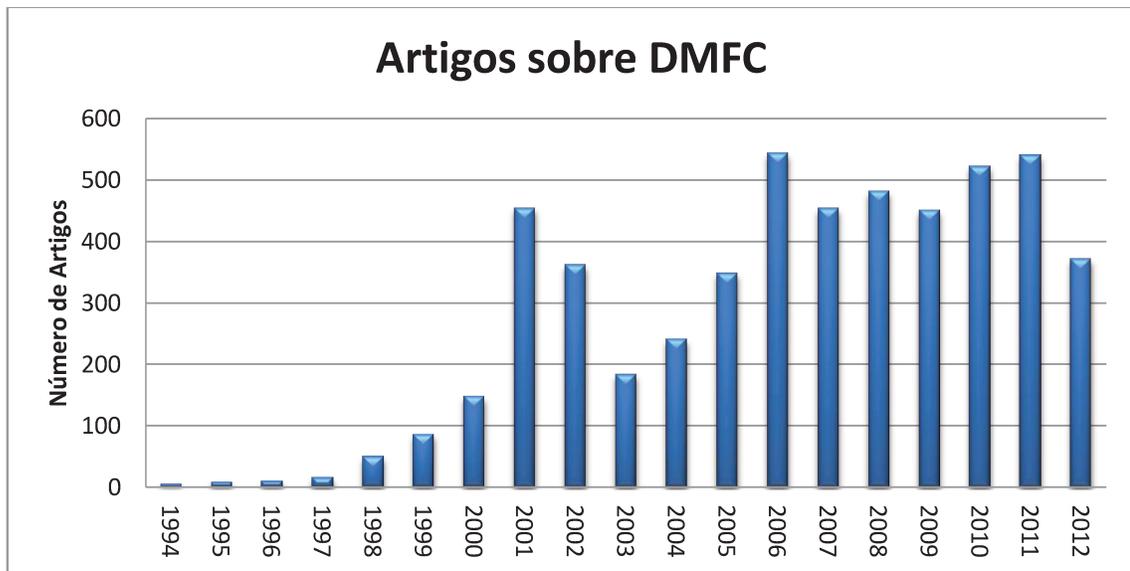


Figura 32 – Crescimento das pilhas DMFC nas últimas décadas.

(fonte: dados colhidos do Science Direct, em Julho de 2012)

Grande parte dos entrevistados acredita na presença maciça da tecnologia no mercado, o que é justificado, pois a mesma mostrou-se bastante útil e também porque houve resultados bastante satisfatórios para equipamentos de pequeno porte. Desse modo, pode estimar-se que as pilhas do tipo DMFC terão significativa e consolidada importância no mercado em um futuro de 20 anos.

Na Figura 33, é mostrada a opinião dos especialistas sobre a presença das MCFC no mercado em 20 anos.

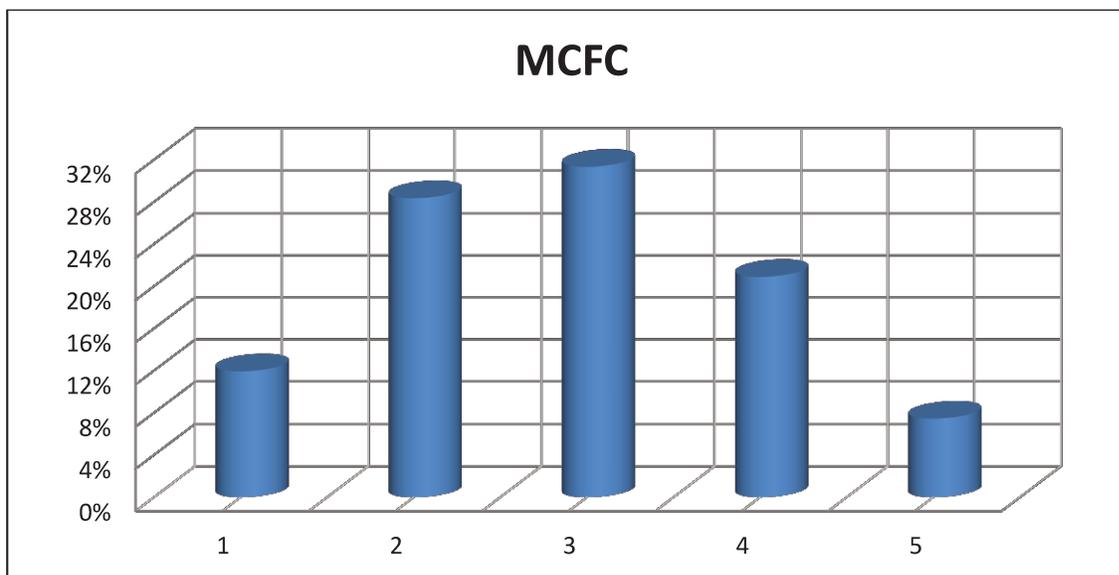


Figura 33 – Presença no mercado em 20 anos das MCFC

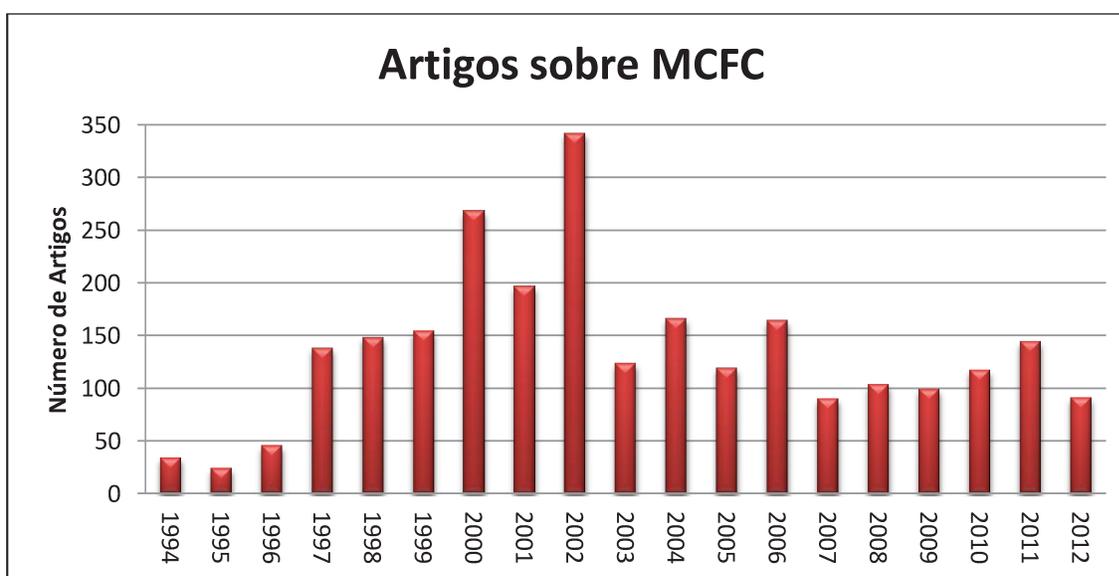


Figura 34 – Crescimento das pilhas MCFC nas últimas décadas.

(fonte: dados colhidos do Science Direct, em Julho de 2012)

De acordo com eles, 31,34% e 28,36% acreditam que essas pilhas a combustível terão média e pouca significância no mercado, respectivamente. Apenas a minoria dos respondentes, 7,46% acredita que a presença dessas pilhas a combustível será significativamente grande. Assim, como nos casos discutidos anteriormente, a opinião dos especialistas é bastante contundente com o crescimento das pesquisas nos últimos 20 anos.

A Figura 34 mostra a intensidade das pesquisas sobre as MCFC desde 1990. Nela nota-se que desde 2007 o crescimento está estagnado, com um número relativamente baixo de publicações desde então.

As MCFC são pilhas a combustível que estão sujeitas a severos danos causados pela corrosão nas estruturas metálicas, causadas pelos carbonatos na dissolução do óxido de níquel. Isso limita bastante o tempo de vida útil da pilha, o que a torna, apesar de sua boa eficiência, um pouco desinteressante para o mercado, uma vez que outras pilhas a combustível, com a mesma densidade de potência, apresentam um tempo de vida mais longo.

Na Figura 35, é mostrada a opinião dos especialistas sobre a presença das PAFC no mercado em 20 anos. A grande maioria dos especialistas acredita que essas pilhas a combustível terão de média a reduzida importância no mercado em um futuro próximo. Do total, a maioria (31,34%) acredita em uma presença, enquanto que a minoria (2,99%) acredita que elas estarão intensamente presentes no mercado.

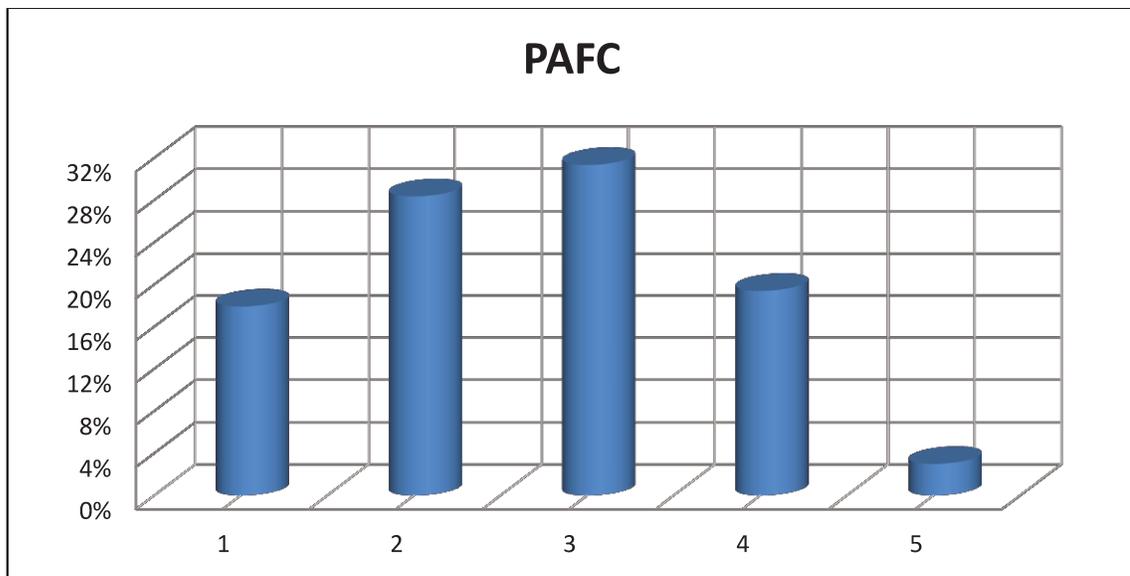


Figura 35 – Presença no mercado em 20 anos das PAFC.

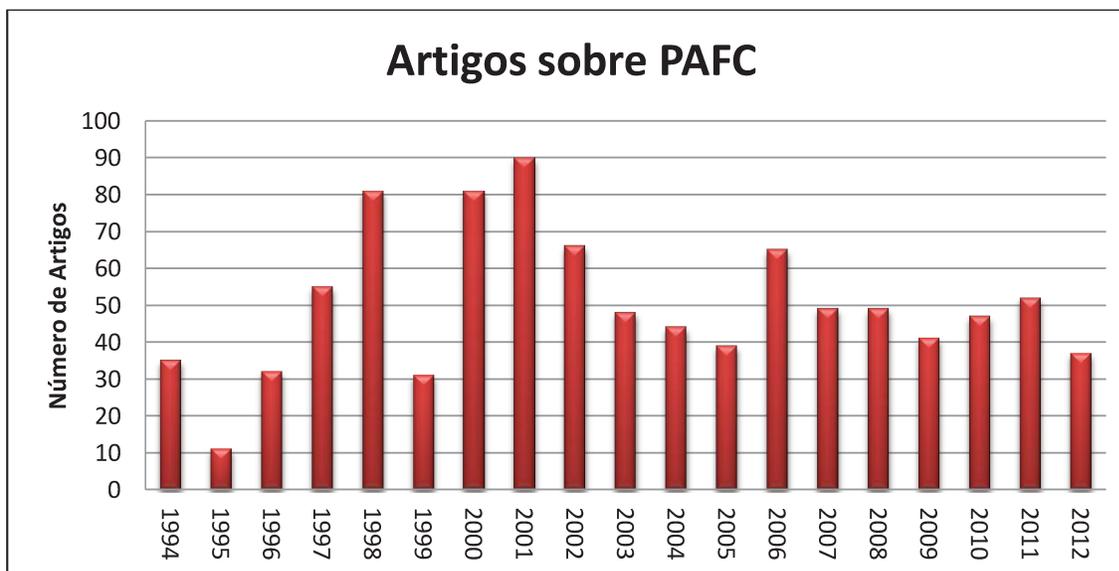


Figura 36 – Crescimento das pilhas PAFC nas últimas décadas.

(fonte: dados colhidos do Science Direct, em Julho de 2012)

Conforme é ilustrado na Figura 36, os estudos acerca das PAFC ao longo dos últimos 20 anos estão bastante reduzidos. A redução nas pesquisas acadêmicas pode ser justificada pelo fato de que as PAFC são as pilhas a combustível mais facilmente encontradas no mercado hoje, o que indica que sua tecnologia já está bastante desenvolvida. Apesar de no mundo já haver mais de 200 sistemas de instalações de sucesso, os especialistas no ramo das pilhas a combustível acreditam que o mercado das PAFC perderá espaço comercial para outros tipos de pilhas a combustível, como as PEMFC e as SOFC.

Na Figura 37, é mostrada a visão de mercado dos especialistas sobre as PEMFC num futuro de 20 anos.

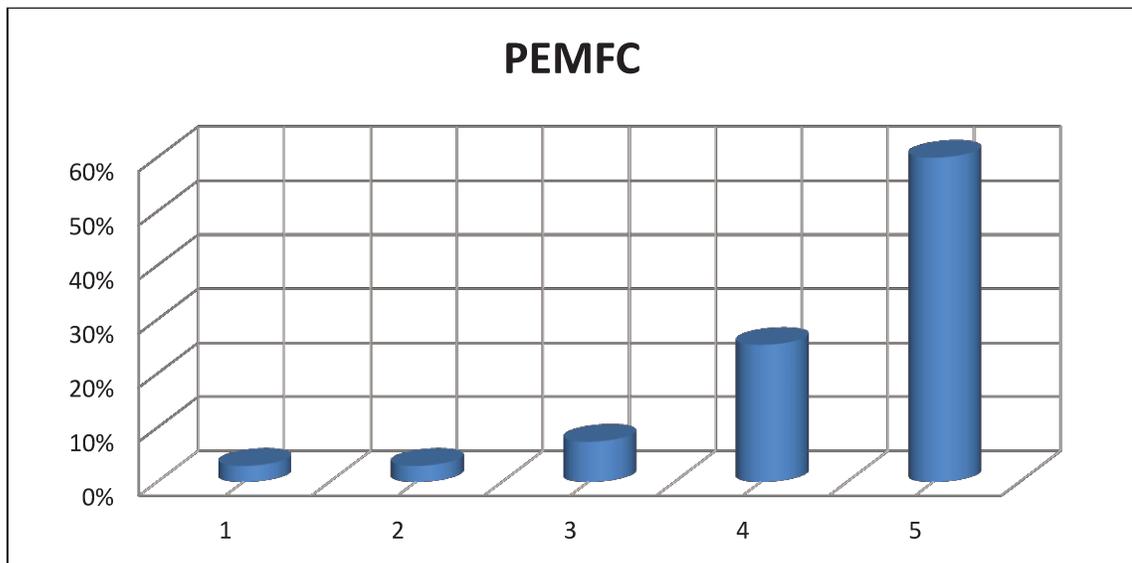


Figura 37– Presença no mercado em 20 anos das PEMFC.

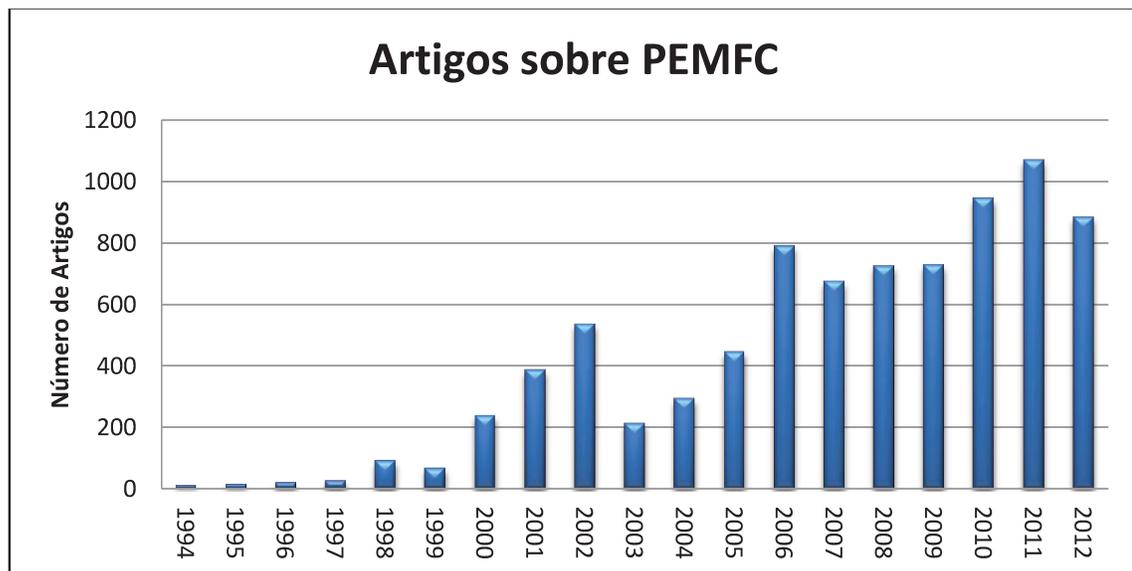


Figura 38 – Crescimento das pilhas PEMFC nas últimas décadas.

(fonte: dados colhidos do Science Direct, em Julho de 2012)

A maioria dos especialistas (61,19%) acredita que as PEMFC serão muito importantes para o mercado em 20 anos. Uma minoria (2,99%) acredita que a presença das mesmas será pequena. Um total de 25,37% acha que elas serão importantes.

É interessante notar que a expectativa dos especialistas está condizente com a evolução das pesquisas sobre a PEMFC, conforme é ilustrado na Figura 38. Nela, nota-se que houve um significativo crescimento das publicações de assuntos relacionados sobre essas pilhas a combustível desde 2008.

O grande consenso dos especialistas sobre a presença das PEM mostra que as pilhas a combustível são promissoras e que, no cenário atual, têm mostrado excelentes resultados em suas aplicações. Com a melhoria do desenvolvimento dos componentes das PEM, houve um aumento significativo em sua eficiência, fazendo com que as mesmas se tornassem competitivas em muitas áreas, passando a ser comercializadas principalmente para o mercado de abastecimento estacionário de pequeno porte.

Na Figura 39, é mostrada a visão de mercado dos especialistas sobre as SOFC no futuro de 20 anos. Nota-se que a grande maioria dos especialistas, como na análise das PEM, acredita que as SOFC terão uso intensivo no mercado futuro. Esse grupo representa 44,78% do total. Outros 32,84% acreditam que essas pilhas a combustível serão importantes.

No caso das pilhas do tipo SOFC, nenhum especialista assinalou que as mesmas terão uma presença reduzida em 20 anos.

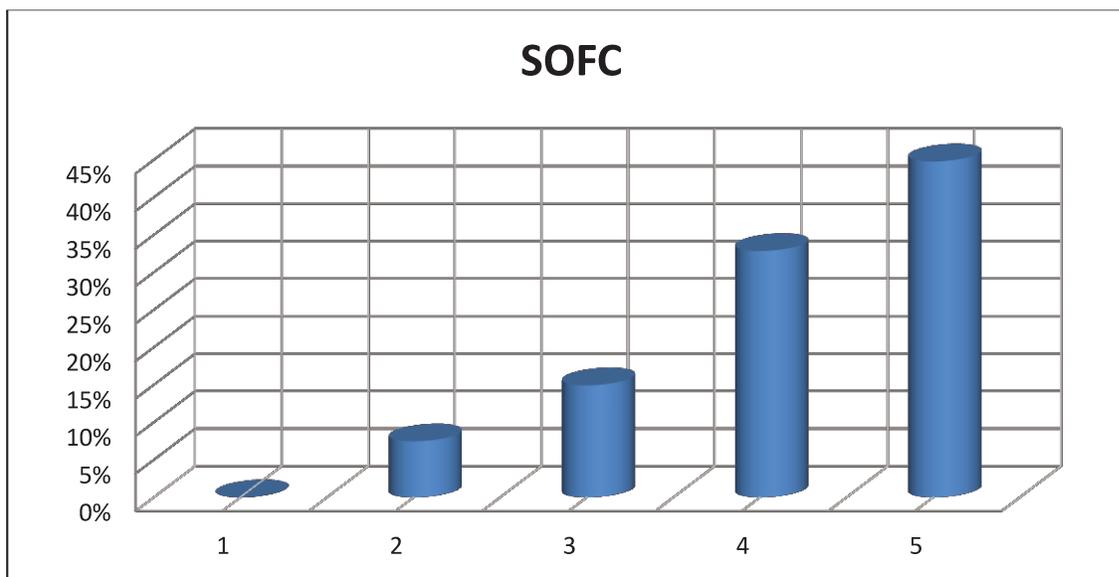


Figura 39 – Presença no mercado em 20 anos das SOFC.

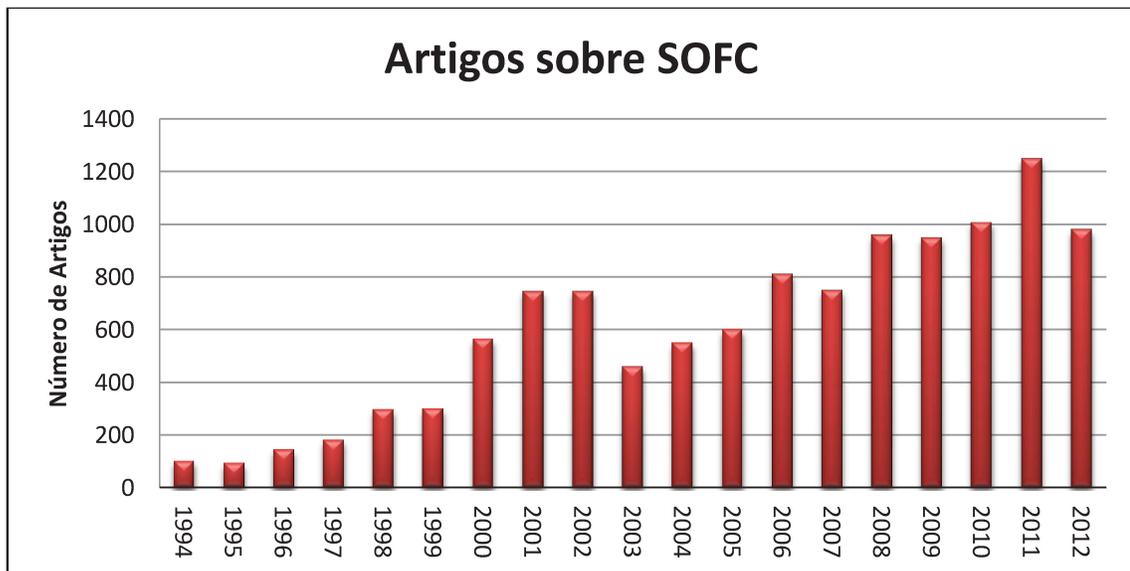


Figura 40 – Crescimento das pilhas SOFC nas últimas décadas.

(fonte: dados colhidos do Science Direct, em Julho de 2012)

As expectativas dos especialistas, assim como em todas as outras pilhas a combustível citadas, é condizente com a análise do crescimento das pesquisas sobre SOFC nos últimos 20 anos, conforme mostra a Figura 40.

É interessante notar que as pesquisas referentes a todas as pilhas a combustível cresceram ao longo dos últimos 20 anos, indicando que atraíram a atenção das universidades e das indústrias como boas fontes alternativas de energia.

A intensificação da P&D mostra que essa é uma tecnologia que vem atraindo o interesse por sua alta eficiência e versatilidade.

### 5.2.5 Tipos de Mercado

Foi questionado aos especialistas qual era o mercado mais provável que cada uma das pilhas a combustível atingiria em 20 anos, assim como qual seria o menos provável. A ideia da questão era que o respondente pudesse especificar o grau de importância e em quais setores as pilhas a combustível estariam presentes.

Foi proposta uma graduação de 1 a 5 para que o especialista desse sua opinião sobre o setor de aplicação. Entre os mercados foi sugerido o aeroespacial, o residencial, o de eletroeletrônicos, o industrial e o automotivo.

Porém, ao fazer uma breve análise das respostas enviadas pelos especialistas, percebeu-se que houve uma grande dispersão das opiniões por parte dos entrevistados.

### 5.2.6 Vantagens das Pilhas a Combustível

A pilha a combustível, como visto nos capítulos anteriores, vem ganhando cada vez mais importância no mercado, devido a sua grande versatilidade e gama de vantagens que oferece.

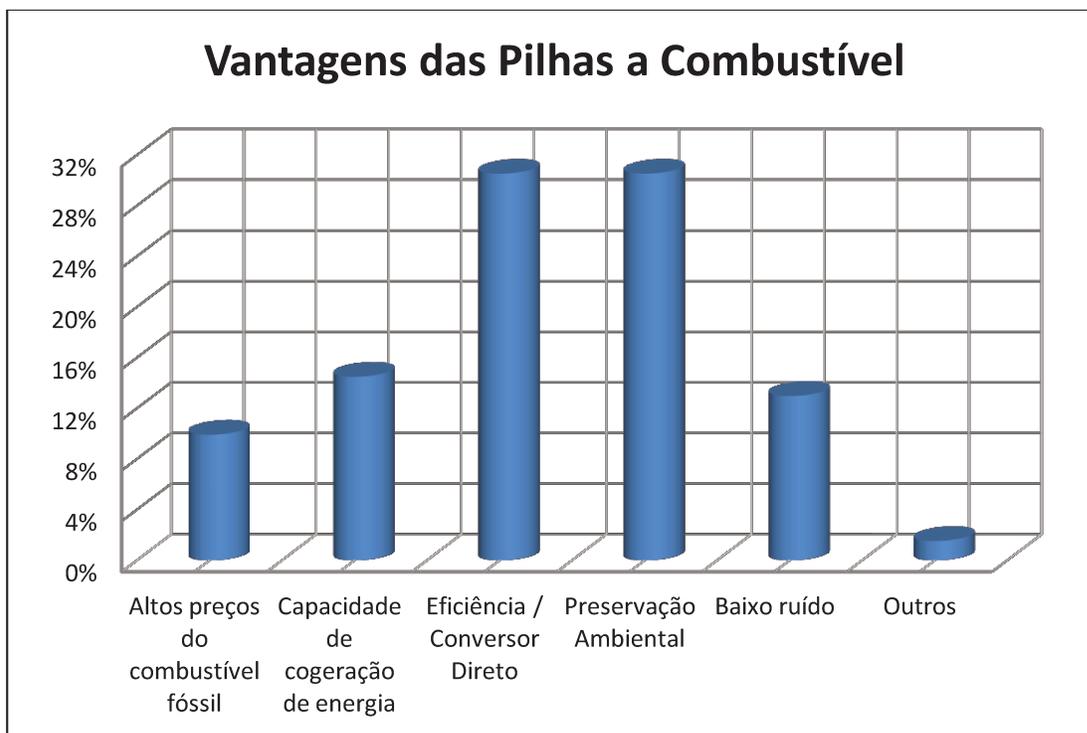


Figura 41 – Vantagens do uso das pilhas a combustível.

Ao entrevistado, foi questionado qual dos atrativos das pilhas a combustível era mais interessante para que ela pudesse chegar ao mercado. O gráfico com a resposta se encontra na Figura 41.

De acordo com a Figura 41, nota-se que, para a grande maioria, a eficiência, a conversão direta de energia e a preservação ambiental são os atrativos mais interessantes, com 30,53% das opiniões cada um. A capacidade de cogeração de energia, no caso das pilhas a combustível de alta temperatura, e o baixo ruído em que elas operam são características também relevantes, ficando com 14,50% e 12,98%, respectivamente.

### 5.2.7 Como o Mercado Estará em Vinte Anos

Uma das grandes perguntas que se faz atualmente acerca das tecnologias das pilhas a combustível é quando esta tecnologia estará no mercado em grande escala, com uma produção em massa e com preços menores. Apesar de, em 2012, ter acontecido um excelente crescimento industrial, ainda é necessário muito investimento e aprimoramento da tecnologia para afirmar-se que o mercado está consolidado.

Baseado nisso, foi questionado aos especialistas o prazo em que eles imaginam que as pilhas a combustível estarão presentes no mercado.

Como é apresentado na Figura 42, 75% dos especialistas acreditam que a presença e o uso no mercado das pilhas a combustível será certa em 20 anos. Os 25% restantes dos especialistas acreditam que esse tempo será maior, um período estimado entre 30 e 50 anos. Alguns acreditam em um tempo ainda maior.

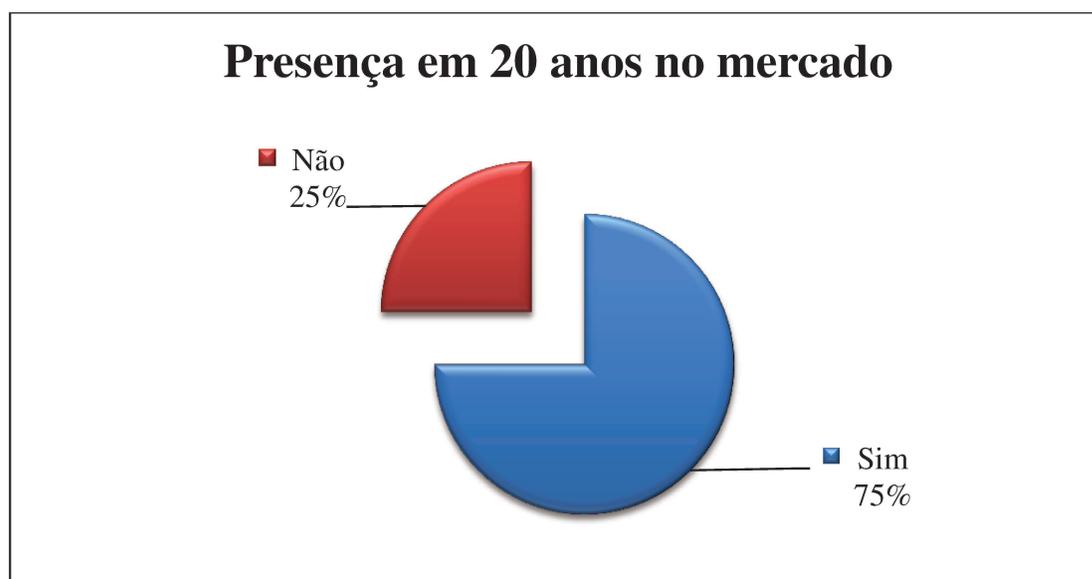


Figura 42 – Importância em investir em pesquisas na área de pilhas a combustível.

### 5.2.8 Presença no Mercado

Quando se quer consolidar uma tecnologia no mercado, é importante que exista um investimento em P&D. As pesquisas possibilitam o aprimoramento da tecnologia, tornando-as mais eficazes e mais baratas, atingindo assim a grande massa de potenciais consumidores. Algumas pilhas a combustível já estão presentes no mercado há bastante tempo e muito já foi pesquisado, como é o caso das pilhas AFC e MCFC. Entretanto, outros tipos de pilha, como a SOFC e a PEMFC, têm mostrado, nos últimos anos, uma crescente no cerne do seu interesse.

Ao investir-se em uma tecnologia, é de fundamental importância saber quando ela estará disponível ao consumidor final, pois é o mercado que dita a viabilidade de uma tecnologia. Em vista disso, os especialistas foram questionados sobre a presença de cada tipo de pilha a combustível no mercado daqui a 20 anos, sendo os resultados mostrados nas Figuras 43, 44, 45, 46, 47 e 48.

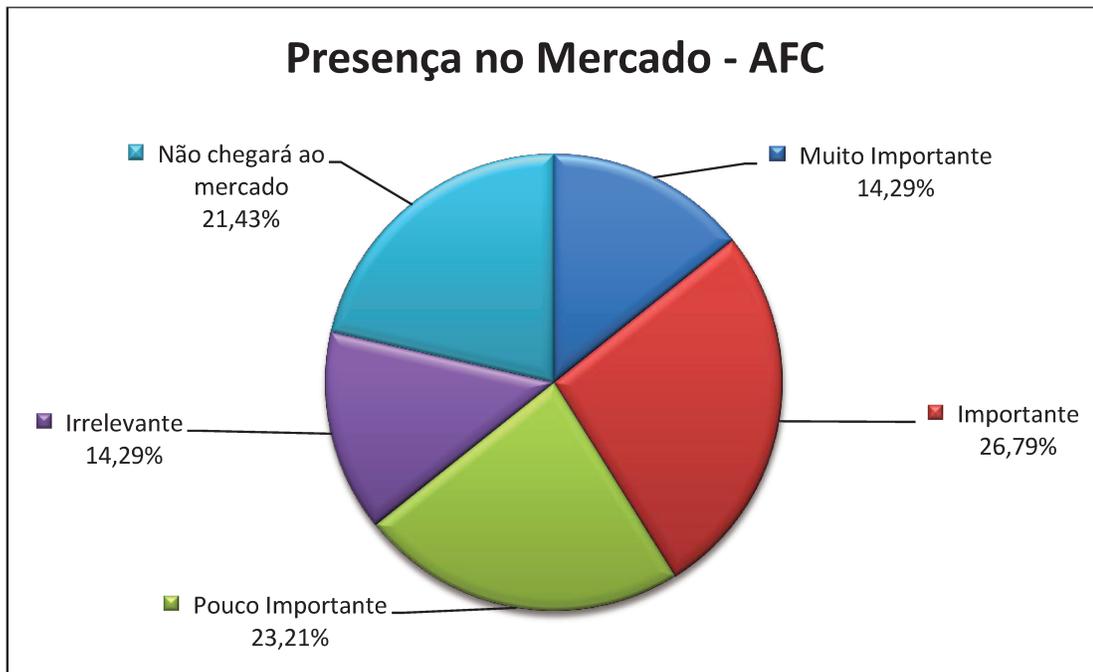


Figura 43 – Grau de relevância da AFC no mercado em 20 anos.

Na Figura 43, é mostrado como os entrevistados acreditam que estará o mercado das pilhas AFC em 20 anos. É interessante notar que as opiniões foram bastante divididas, não

havendo, portanto, um consenso. Porém, a grande maioria (26,79%) acredita que a presença das AFC será importante no mercado. Em contrapartida, a segunda maior parcela dos entrevistados, 23,21%, acha que as pilhas terão pouca importância. Outra parcela significativa dos respondentes (21,43%) acredita que as pilhas nem estarão presentes no mercado. A grande divergência de opiniões é caracterizada basicamente pelo histórico da pilha a combustível, bem como pela sua importância no atual mercado. É sabido que as AFC são pilhas essencialmente utilizadas para os mercados militares e aeroespaciais, restringindo bastante o tipo de consumidor dessa tecnologia. Além disso, são bastante dispendiosas, o que limita o acesso a poucos consumidores.

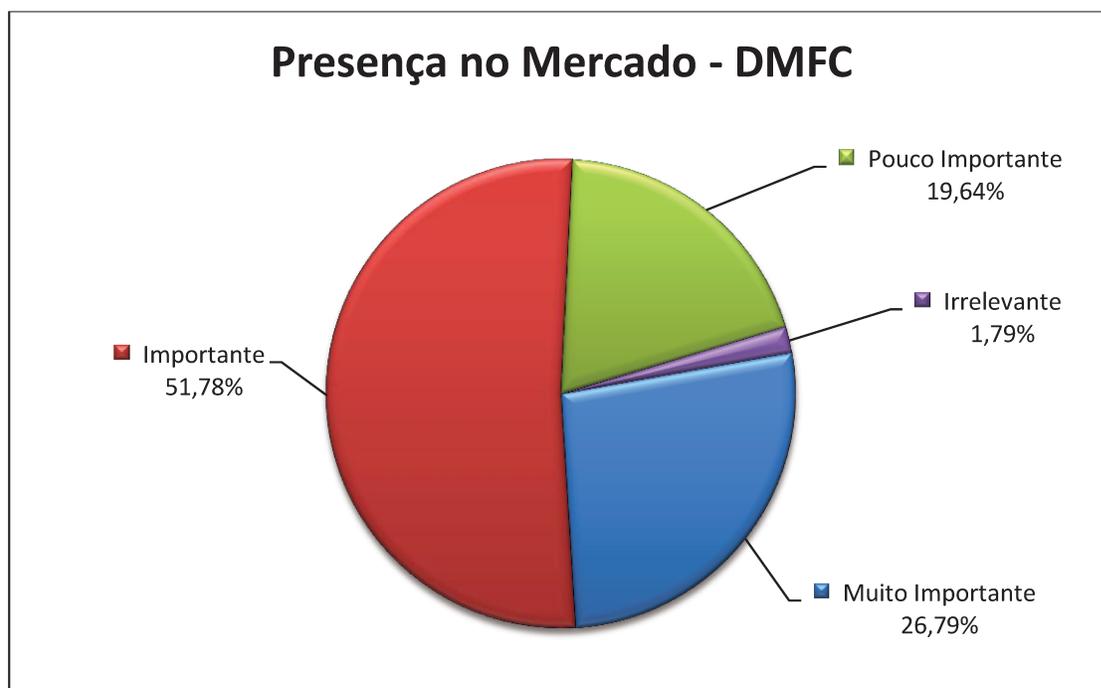


Figura 44 – Grau de relevância da DMFC no mercado em 20 anos.

Na Figura 44, é mostrado como os entrevistados acreditam que estará o mercado das pilhas MCFC em 20 anos. Nota-se que 51,78% dos especialistas acreditam que a importância dessas pilhas será alta. Apenas uma minoria acredita que elas serão pouco importantes, representando 1,79% dos entrevistados.

As DMFC são pilhas a combustível que atualmente já têm importante relevância no mercado. É natural que, com o aprimoramento da tecnologia e o aumento da produção de

produtos que utilizem DMFC, elas se tornem cada vez mais presentes no mercado e, consequentemente, mais importantes.

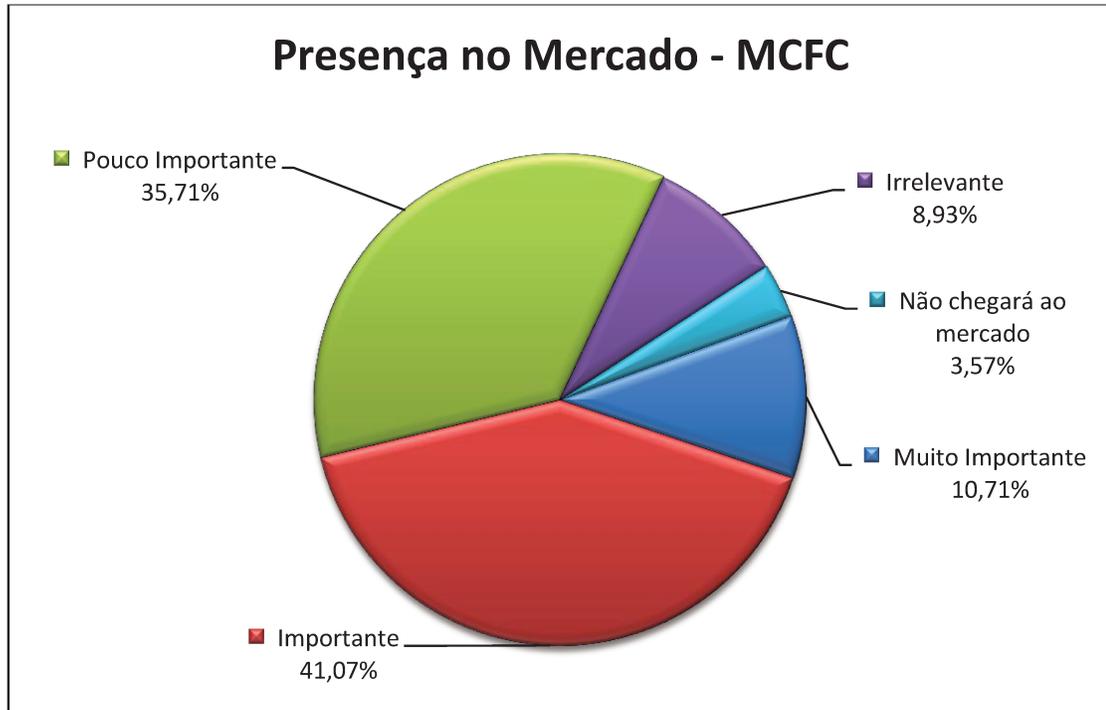


Figura 45– Grau de relevância da MCFC no mercado em 20 anos.

A Figura 45 mostra como os entrevistados acreditam que o mercado das MCFC estará em 20 anos. A grande maioria, 41,07% acredita que a presença desse tipo de pilha a combustível será importante. Os que acham que serão muito importantes somam 10,71%. Uma grande parcela, 35,71%, acredita que as MCFC ocuparão uma posição de pouca importância no mercado.

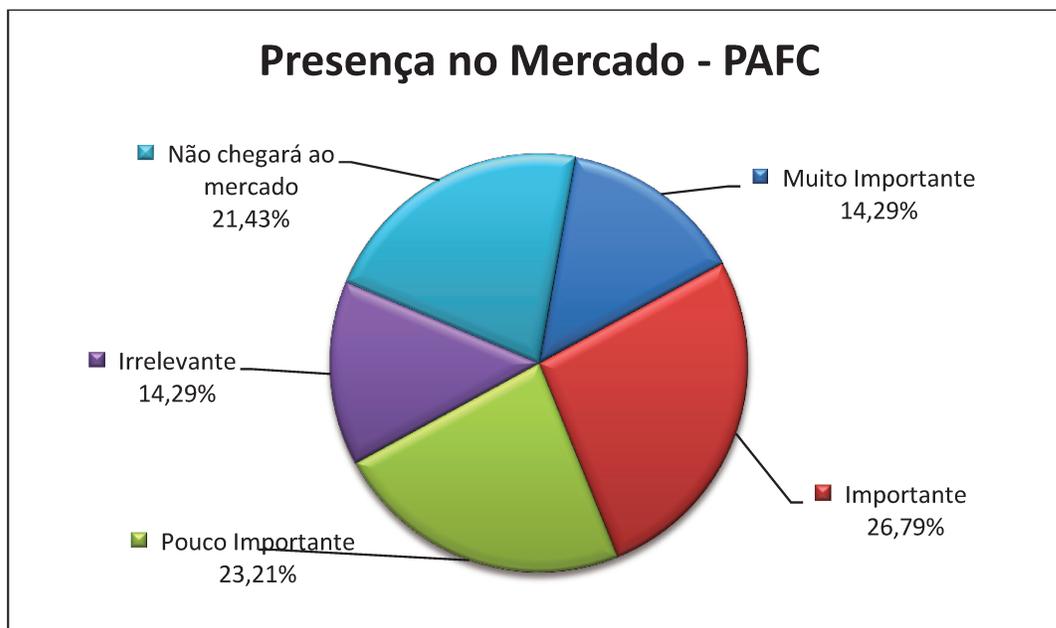


Figura 46 – Grau de relevância da PAFC no mercado em 20 anos.

Na Figura 46, é mostrada a expectativa de presença no mercado das PAFC. Grande parte dos especialistas acredita que a presença das PAFC será muito importante, 14,29%, ou importante, 26,79%, enquanto que 23,21% acham que a presença das PAFC será pouco importante e 14,29% acreditam que será irrelevante. Uma parcela de 21,43% acredita que elas não estarão no mercado.

As PAFC estão no mercado já há bastante tempo. Porém, com o crescimento das vendas de outros tipos de pilhas a combustível, a procura por este dispositivo mudou, levando alguns especialistas a acreditar que o grau de importância dela no mercado em 20 anos diminuirá. Porém a grande maioria dos especialistas ainda concorda que ela terá significativa importância.

Na Figura 46, é mostrada a expectativa de presença no mercado das PEMFC.

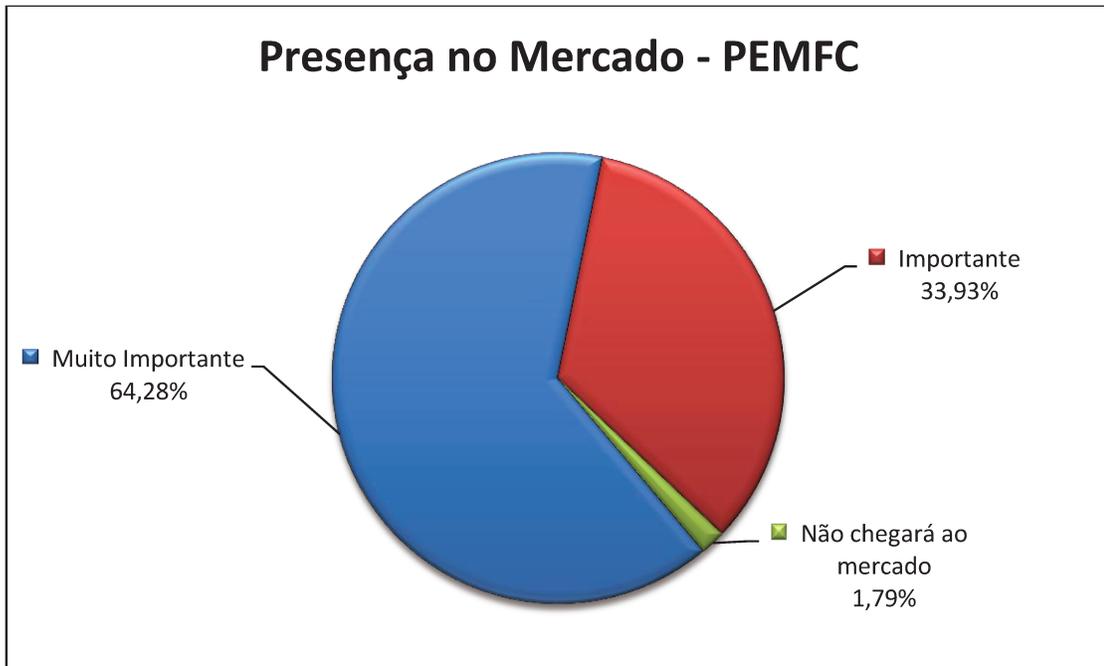


Figura 47 – Grau de relevância da PEMFC no mercado em 20 anos.

Na Figura 47, nota-se que a grande maioria dos especialistas, 64,28%, concorda que as PEMFC terão uma importância muito grande no mercado em 20 anos. Outra parcela significativa, com 33,93% dos respondentes, acredita que as PEMFC serão importantes na vida das pessoas. Somente um pequeno grupo dos entrevistados (1,79%) avaliou que em 20 anos essas pilhas a combustível não estarão no mercado.

O crescimento do mercado das vendas de PEMFC nos últimos dois anos fez com que a indústria ficasse bastante otimista em relação a essa tecnologia. Os bons resultados de aplicação e o sucesso no desempenho de fornecimento energético dessas pilhas a combustível fizeram com que o interesse se voltasse para elas. Além disso, os bons resultados obtidos com as HT PEMFC fizeram com que pesquisas acerca destas crescessem consideravelmente. Dessa maneira, os especialistas estão bastante otimistas com relação à presença dessas pilhas a combustível no mercado em 20 anos.

Na Figura 48, é mostrada a opinião dos especialistas sobre a presença das SOFC no mercado em 20 anos.

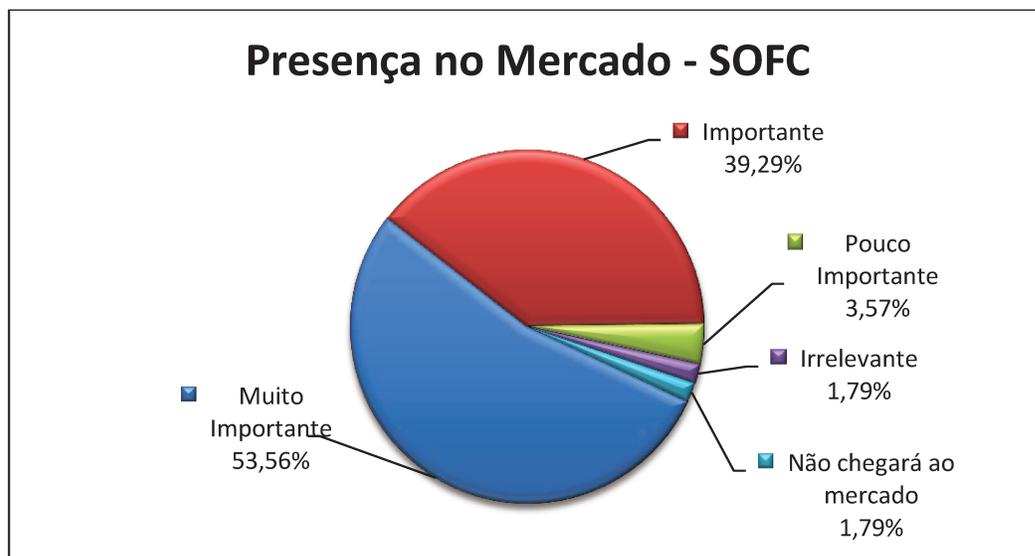


Figura 48 – Grau de relevância da SOFC no mercado em 20 anos.

Nota-se que 53,56% dos especialistas acreditam que as SOFC serão muito importantes. Outra parcela significativa, 39,29%, acredita que as SOFC serão importantes. E um pequeno grupo se divide em não chegará ao mercado (1,70%), Irrelevante (1,79%) e pouco importante (3,57%).

As SOFC operam em altas temperaturas e são capazes de gerar grandes quantidades de energia, principalmente se realizada a cogeração. Essas pilhas são ideais para o fornecimento de energia estacionária. Desse modo, o interesse por esse dispositivo cresceu bastante. Além disso, as SOFC dispensam a reforma, e podem utilizar diversos combustíveis para operar. O fato de serem também tolerantes à presença de pequenas quantidades de enxofre faz com que se tornem ainda mais atraentes, levando os especialistas a acreditar que a presença das SOFC no mercado em 20 anos será extremamente importante.

### 5.2.9 Fatores Limitantes

A tecnologia atual das pilhas a combustível tem crescente visibilidade, o que vem atraindo a atenção de diversos setores da indústria, acadêmicos e de governos, principalmente por sua eficiência de conversão, por serem ditas como de energia limpa, por serem uma fonte de energia renovável, entre outras qualidades. Porém, como toda tecnologia que pretende fixar-se no mercado, ela encontra uma série de limitações para a produção em grande escala. Na Figura 49, é mostrada a opinião dos especialistas sobre quais são os principais fatores limitantes para a fabricação em grande escala das pilhas a combustível.

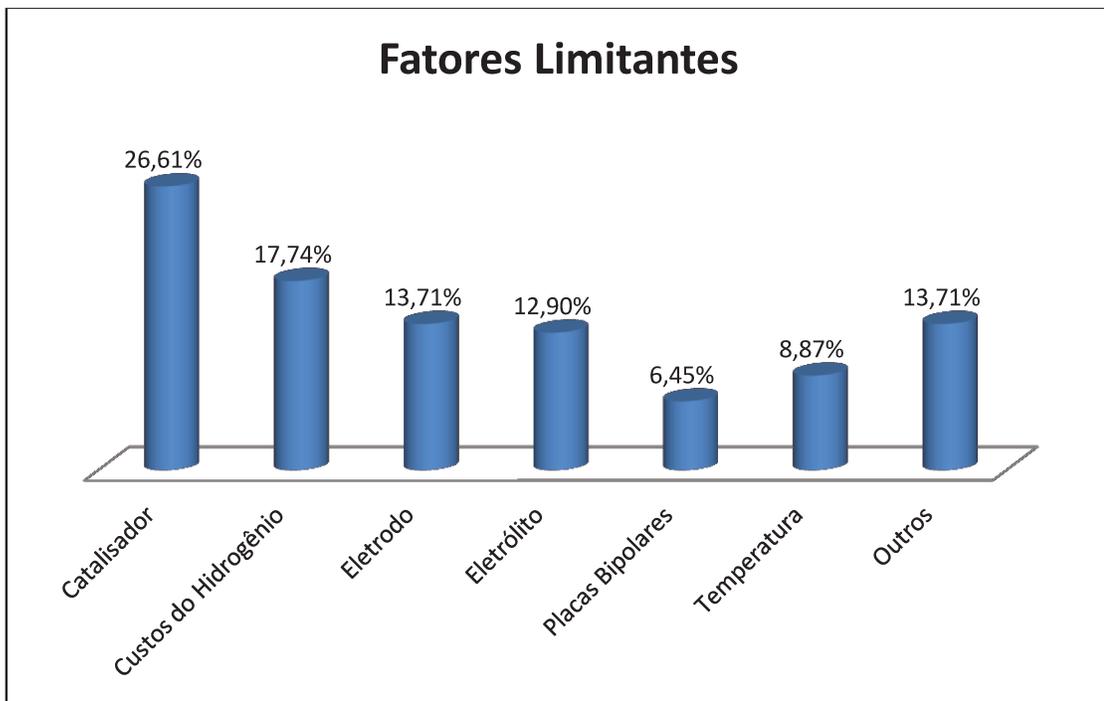


Figura 49 – Fatores que limitam a produção em grande escala das pilhas a combustível.

De acordo com os especialistas, a grande barreira a ser enfrentada pelos fabricantes é a questão do catalisador. Entre os vários problemas a serem melhorados, 26,61% dos entrevistados acreditam que o catalisador é o principal fator limitante para a fabricação. Muitas pilhas a combustível necessitam de presença de platina para o seu funcionamento ideal, o que é um dos principais motivos que levam a um alto custo. Logo, é necessário desenvolvimento de aprimoramentos, com baixo ou inexistente consumo de platina ou qualquer outro catalisador.

Outro fator significativo que limita a produção em larga escala é o custo do hidrogênio. 17,74% dos respondentes acreditam que o custo do hidrogênio é um problema relevante. O hidrogênio puro, importante na pilha para evitar problemas como corrosão, pode ser produzido de diversas maneiras, sendo, porém, todos os processos de produção bastante dispendiosos, fazendo com que o preço da substância seja elevado.

O eletrodo foi citado como fator limitante na produção em larga escala das pilhas a combustível por 13,71% dos especialistas. As placas bipolares foram citadas por apenas 6,45%.

A temperatura foi citada por 8,87% dos especialistas. Isso porque as pilhas que necessitam operar em elevadas temperaturas necessitam de um desenvolvimento adequado em sua estrutura para que suportem o calor de operação. Porém é justificável que essa opinião seja pouco expressada, pois, hoje em dia, pilhas do tipo SOFC, que operam em altas temperaturas, mostraram bons resultados. Além disso, não é a estrutura especial para o suporte do calor que faz com que as pilhas se tornem extremamente caras. Dessa maneira, é esperado que a quantidade de especialistas que veja a temperatura como fator limitante para a produção em larga escala seja pequena.

Uma parte dos especialistas, 13,71%, citou outros motivos que podem limitar a produção em larga escala das pilhas a combustível no mercado.

Entre os motivos estão:

- Tempo de vida das FC. Algumas pilhas a combustível ainda têm um tempo de vida muito curto, motivo pelo qual especialistas acreditam que o ideal é que se amplie o tempo de vida das mesmas para compensação do investimento.
- Custo das pilhas a combustível. No geral, as pilhas ainda são caras, e alguns acreditam que, enquanto o custo geral dos dispositivos não baixarem, estas dificilmente serão produzidas em grande escala.
- Modo de armazenamento do hidrogênio. Muitos ainda acreditam que é preciso melhorar a maneira de estocagem de hidrogênio.

- Preço dos combustíveis fósseis. Alguns especialistas acreditam que enquanto o preço do combustível fóssil for viável, a tecnologia das pilhas a combustível dificilmente terá um crescimento grande a ponto de dominar o mercado.

Muitos acham ainda que uma das barreiras a serem vencidas é a confiabilidade do produto. Como a demanda de produção baseia-se na confiabilidade e durabilidade do produto, alguns citam que é necessário investir na área de marketing para que ocorra uma melhora da imagem de aplicabilidade das pilhas, o que levaria a uma maior demanda de produção e, conseqüentemente, a uma redução de custos.

#### **5.2.10 Aceitação dos Consumidores**

Toda tecnologia que pretende chegar ao mercado final precisa necessariamente passar pela aprovação do público consumidor final. A aceitação dos consumidores no mercado é de suma importância, pois determinará a relevância e o tempo pelo qual o produto permanecerá no mercado.

A pilha a combustível é uma nova maneira de se pensar em energia. Diferentemente do petróleo, é uma fonte renovável não poluente e pouco conhecida da grande população. O fato de as pilhas a combustível serem movidas, na maioria dos casos, a hidrogênio puro, causa certa estranheza dos leigos, pois muitos questionam o quão válido é usar um produto que é movido a um componente altamente explosivo.

Estas características podem gerar uma incerteza nos usuários, fazendo com que esses muitas vezes se perguntem: “Será mesmo eficiente?”, “Será que não terei problemas?”, “É seguro?”, “Posso confiar no produto?”.

Pensando nestas questões, perguntou-se aos especialistas qual seria o grau de aceitação do público dos diferentes tipos de pilha a combustível.

Na Figura 50, tem-se o perfil de respostas sobre a aceitação no mercado das pilhas AFC.

A opinião dos especialistas sobre a questão é bastante divergente. Grande parte (65,45%) divide-se em dois grupos iguais de 32,73%, com a opinião de “média aceitação” e “não sei”. O

terceiro grupo, formado por 21,82%, acredita que a aceitação das AFC será baixa, enquanto que 9,09% acham que a aceitação será alta e pequena parcela de 3,63% acha que esse dispositivo não será aceito.

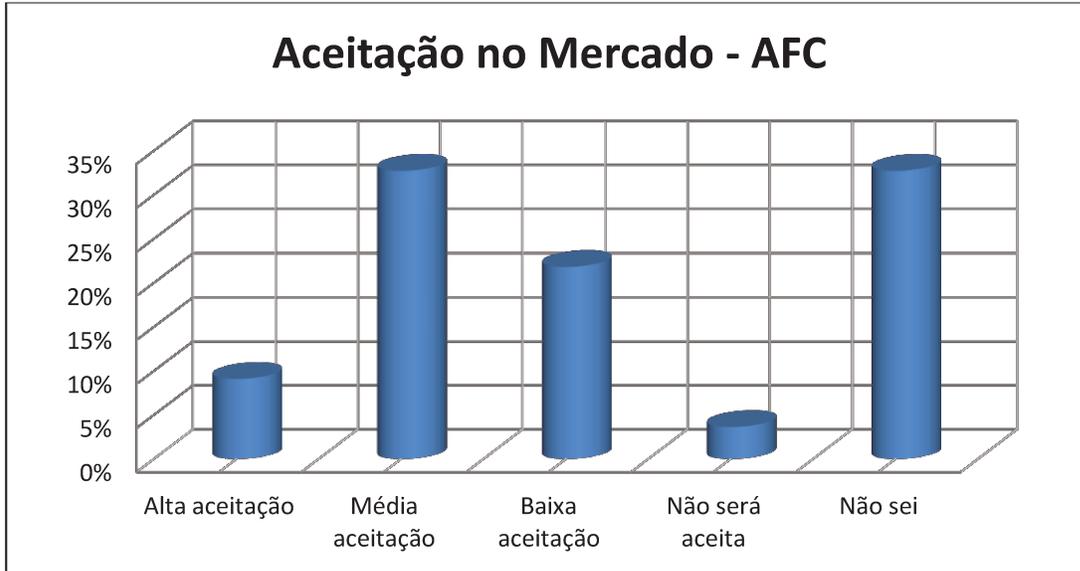


Figura 50 – Aceitação do uso de pilhas AFC pelo consumidor final.

A dificuldade dos especialistas em prever se as AFC serão aceitas está no fato de as pilhas a combustível serem pouco conhecidas pela grande maioria da população, uma vez que seu mercado é bastante restrito, já que seu uso até o presente momento foi por instituições como a NASA, não existindo produto para o consumidor individual. Isso pode ter causado dúvida nos especialistas sobre o futuro mercadológico do dispositivo.

Na Figura 51, tem-se o perfil de respostas sobre a aceitação no mercado das pilhas DMFC.

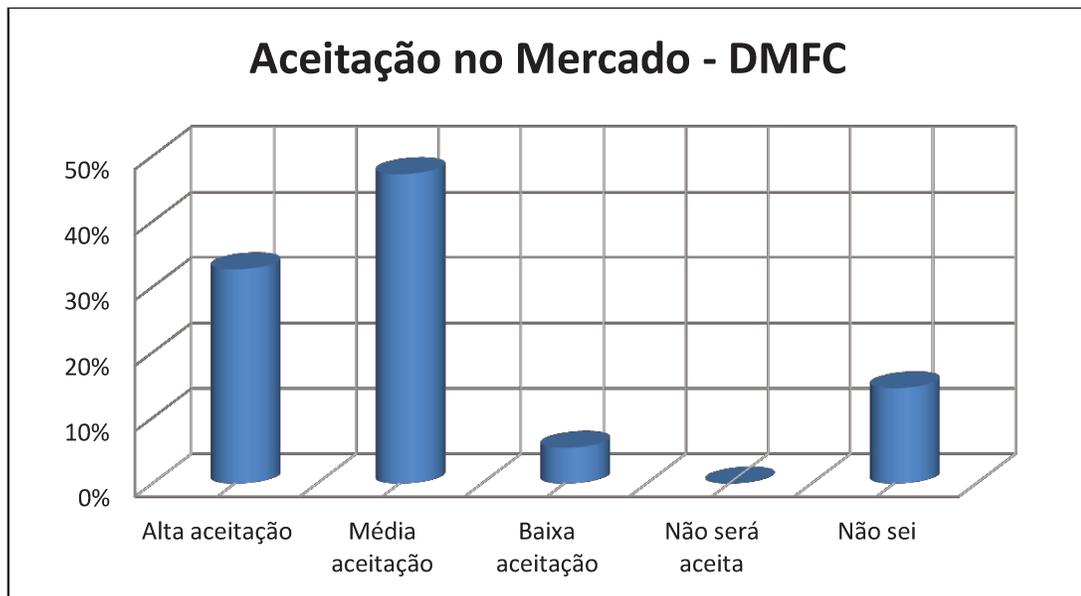


Figura 51 – Aceitação do uso de pilhas DMFC pelo consumidor final.

A grande maioria, 47,27%, acredita que as pilhas DMFC terão média aceitação no mercado, enquanto que 32,73% acham que elas serão muito bem aceitas. Nenhum especialista acredita que a pilha não será aceita pela sociedade.

A tendência é que os especialistas acreditem que a aceitação das DMFC será alta, pois, já hoje no mercado, elas estão despontando como grandes auxiliares de energia para equipamentos eletroportáteis, sobretudo celulares e notebooks, dispositivos cada vez mais presentes em nossas vidas. Devido a isso, a aceitação desse tipo de mercadoria só tende a aumentar ao longo dos anos.

Na Figura 52, tem-se o perfil de respostas sobre a aceitação no mercado das pilhas MCFC.

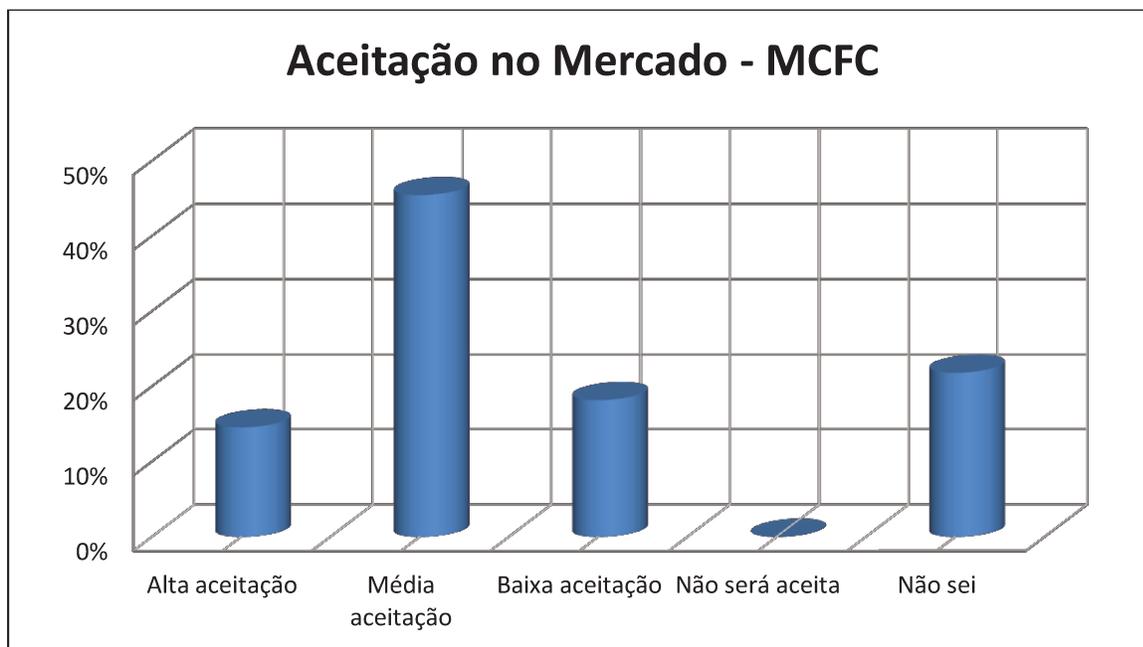


Figura 52 – Aceitação do uso de pilhas MCFC pelo consumidor final.

Boa parte dos especialistas (45,45%) acredita que as pilhas terão aceitação moderada, contudo o segundo maior grupo (18,18%) não soube afirmar qual será a aceitação. Novamente, nenhum especialista acredita que as pilhas a combustível não serão aceitas no mercado. Os que acreditam que elas serão bem aceitas representam 14,55%.

Na Figura 53, tem-se o perfil de respostas sobre a aceitação no mercado das pilhas do tipo PAFC.

Grande parte (36,36%) acredita que as pilhas a combustível terão aceitação mediana no mercado. Dois grupos, com 27,27% cada um, opinaram entre baixa aceitação e “não sei”, enquanto que 7,27% acreditam que a aceitação será alta e 1,82% acredita que ela não será aceita.

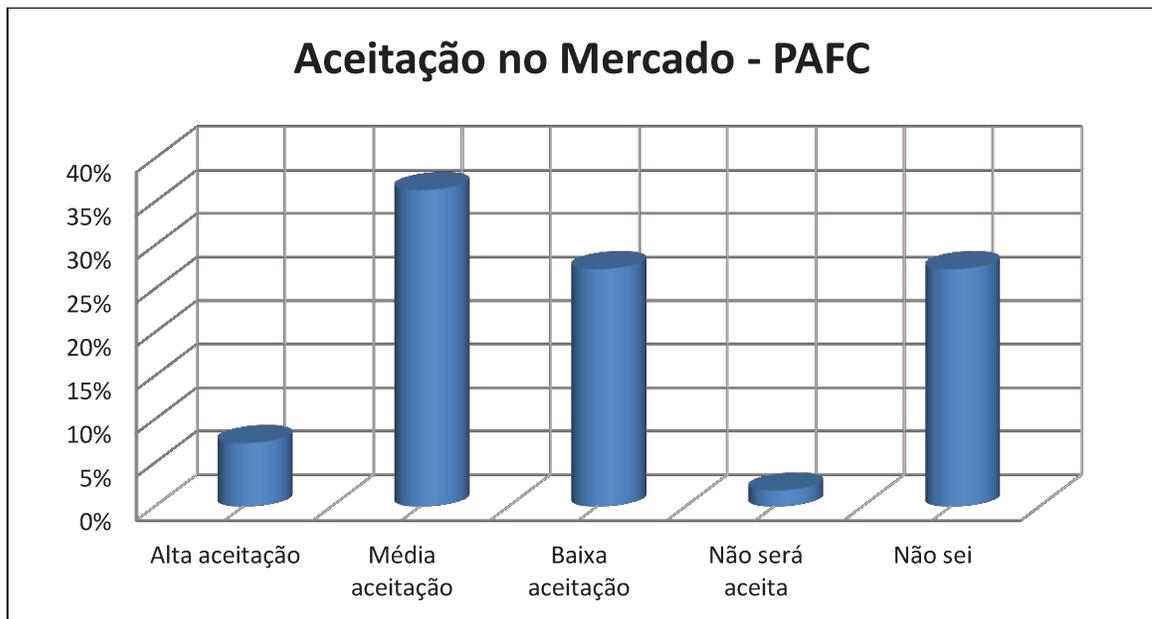


Figura 53 – Aceitação do uso de pilhas PAFC pelo consumidor final.

As PAFC são pilhas a combustível que já estão há bastante tempo no mercado. O surgimento de novos tipos de FC, com melhor eficiência e mais práticas, fez com que o mercado das PAFC caísse um pouco. Isso faz com que os especialistas acreditem que, embora essas pilhas permaneçam no mercado, outros tipos de pilha a combustível serão mais utilizados. Com isso, a tendência na aceitação das PAFC em 20 anos será mediana.

Na Figura 54, tem-se o perfil de respostas sobre a aceitação no mercado das pilhas do tipo PEMFC.

A maioria (61,82%) acredita que a aceitação das PEMFC no mercado em 20 anos será alta. O segundo maior grupo foi o da aceitação mediana, com 36,36% das opiniões. Um pequeno grupo (3,64%) acredita que haverá baixa aceitação, e um grupo menor ainda, de 1,67%, acredita que a PEMFC não será aceita.

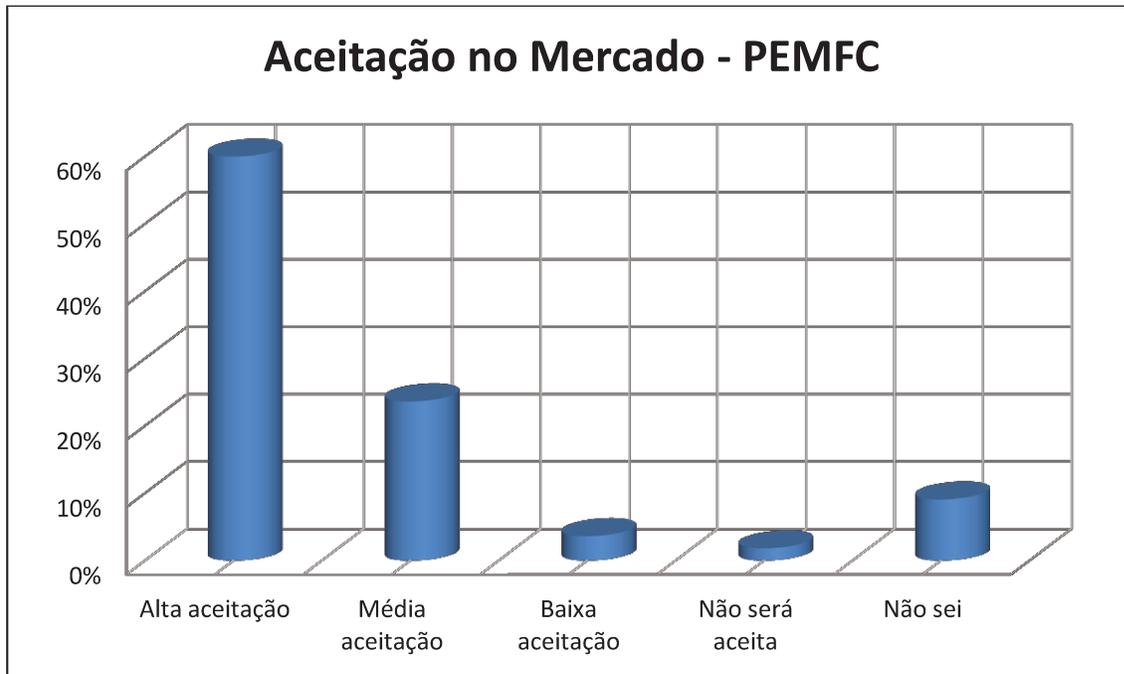


Figura 54 – Aceitação do uso de pilhas PEMFC pelo consumidor final.

A PEMFC é a pilha a combustível que teve maior crescimento no mercado, conforme pesquisas nos últimos anos. O interesse sobre a aplicação dessa pilha e os resultados que ela vem apresentando despertaram a atenção da comunidade.

Atualmente, ela já é empregada com sucesso em diversas áreas. O fato de as PEM poderem ser usadas tanto de maneira portátil como em transportes e em pontos fixos as torna extremamente atraentes.

Na Figura 55, tem-se o perfil de respostas sobre a aceitação no mercado das pilhas do tipo SOFC.

Grande parte dos especialistas (49,0%) acredita que as SOFC terão média aceitação no mercado. Já 30,91% acham que as SOFC serão totalmente aceitas. Os que acham que essas pilhas a combustível terão baixa aceitação constituem 9,09% do total. Não souberam opinar com relação à aceitação do mercado 10,91% dos entrevistados.

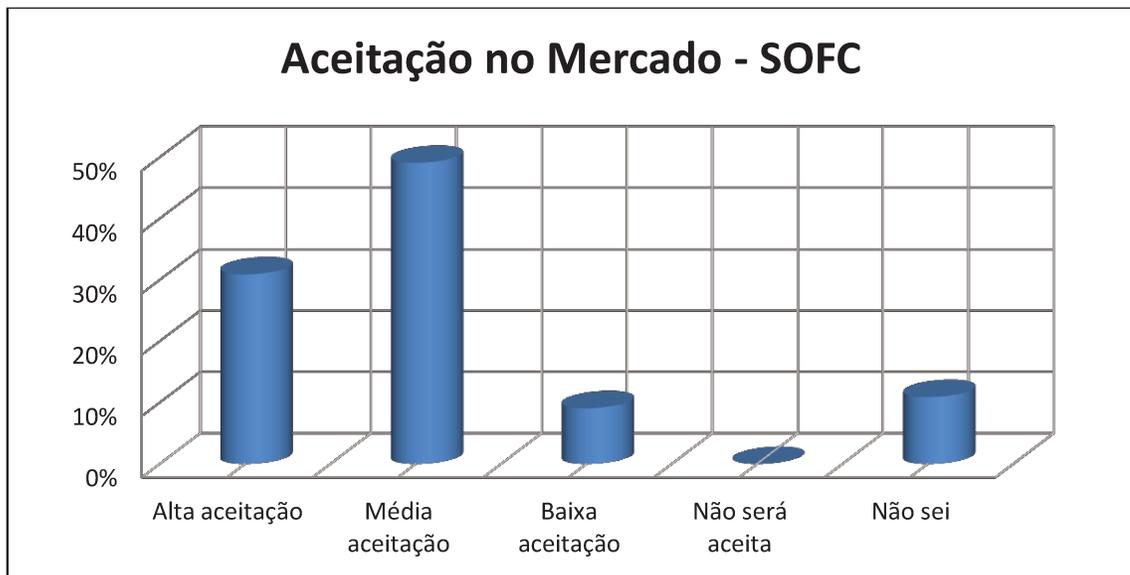


Figura 55 – Aceitação do uso de pilhas SOFC pelo consumidor final.

As SOFC são ideais para o uso estacionário de produção de energia. Elas fornecem alta eficiência e por isso são tão atraentes. A desvantagem dessas pilhas a combustível reside no fato de que elas operam em altas temperaturas e, por isso, o início de seu funcionamento é demorado, fato que possivelmente contribua para que os especialistas acreditem, em sua maioria, que elas terão aceitação mediana no mercado.

### 5.2.11 Mudanças Necessárias

As pilhas a combustível são dispositivos que não podem ser consideradas de tecnologia simples, mas sim um conjunto de tecnologias que funcionam de uma maneira dita como simples. Todos os componentes envolvidos na construção das pilhas a combustível fazem com que elas sejam extremamente caras, uma vez que o nível necessário da tecnologia envolvida é alto. Para reduzir o preço das pilhas a combustível, é necessário investimento intensivo em P&D, pois o mesmo é um meio de tornar mais barata a série de tecnologias envolvidas no dispositivo.

Perguntou-se aos especialistas do ramo qual melhoria seria necessária para que cada tipo de pilha a combustível tivesse o custo reduzido.

Na Figura 56, é apresentado o resultado da opinião dos especialistas para as medidas necessárias para a redução dos preços das AFC.

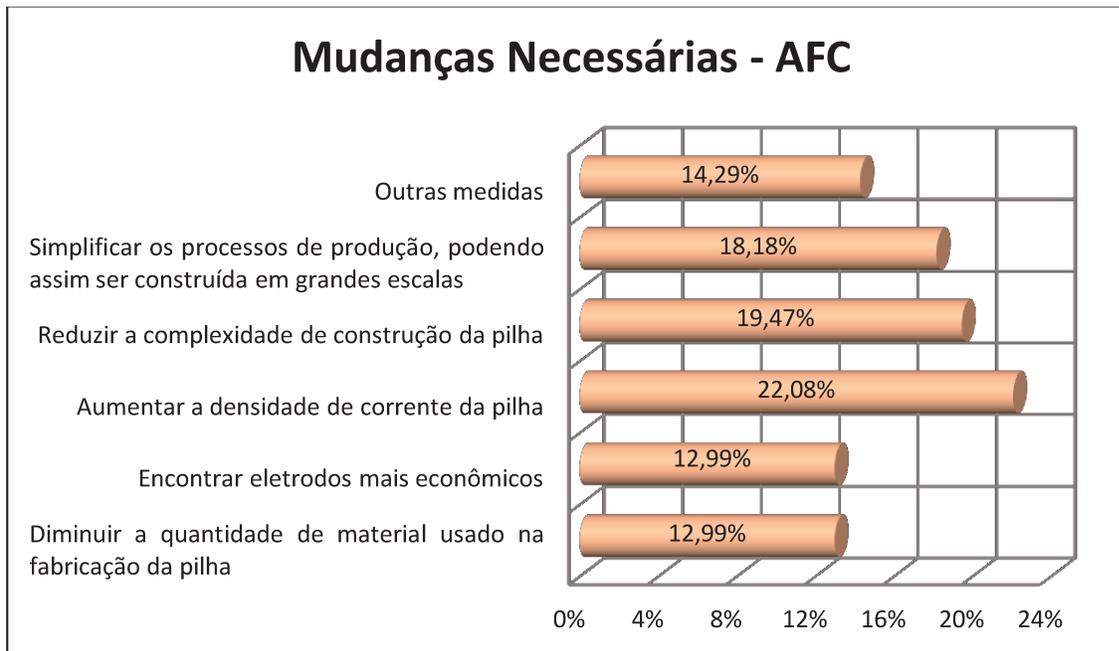


Figura 56 – Medidas necessárias para a redução nos preços das AFC.

O maior problema apontado pelos especialistas das AFC é a densidade de corrente que possuem.

A maioria (22,08%) acredita que é necessário um aumento na densidade de corrente para que essas pilhas sejam melhoradas. Porém, outras melhorias necessárias na construção das pilhas também foram citadas. Um grupo formado por 19,47% acredita que é necessário simplificar a construção das AFC. Uma grande parcela dos especialistas (14,29%) citou outras medidas necessárias como desafios a serem enfrentados. Um problema que não constava nas alternativas e foi levantado pelos especialistas é o eletrólito.

As AFC apresentam alguns problemas associados ao eletrólito. Para alguns especialistas, é necessário melhorar o desempenho desses. Outros afirmaram que o grande desafio que as AFC tinham para enfrentar era encontrar um mercado mais abrangente, uma vez que hoje ele é bastante restrito a alguns setores.

Na Figura 57, é apresentado o resultado da opinião dos especialistas para as medidas necessárias para a redução dos preços das DMFC.

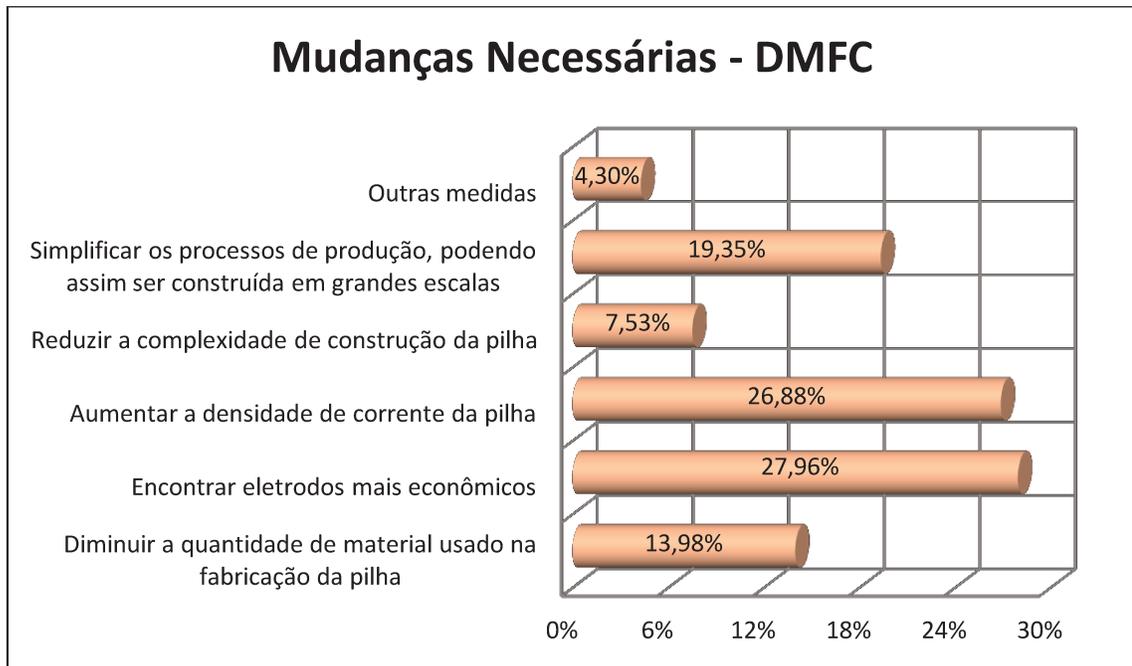


Figura 57 – Medidas necessárias para a redução nos preços das DMFC.

Os dois maiores problemas que as DMFC apresentam, segundo os especialistas, são o elevado preço do eletrodo e a densidade de corrente não tão alta. Especialistas ainda acreditam que é necessário simplificar o processo de produção para que elas possam ser produzidas em larga escala.

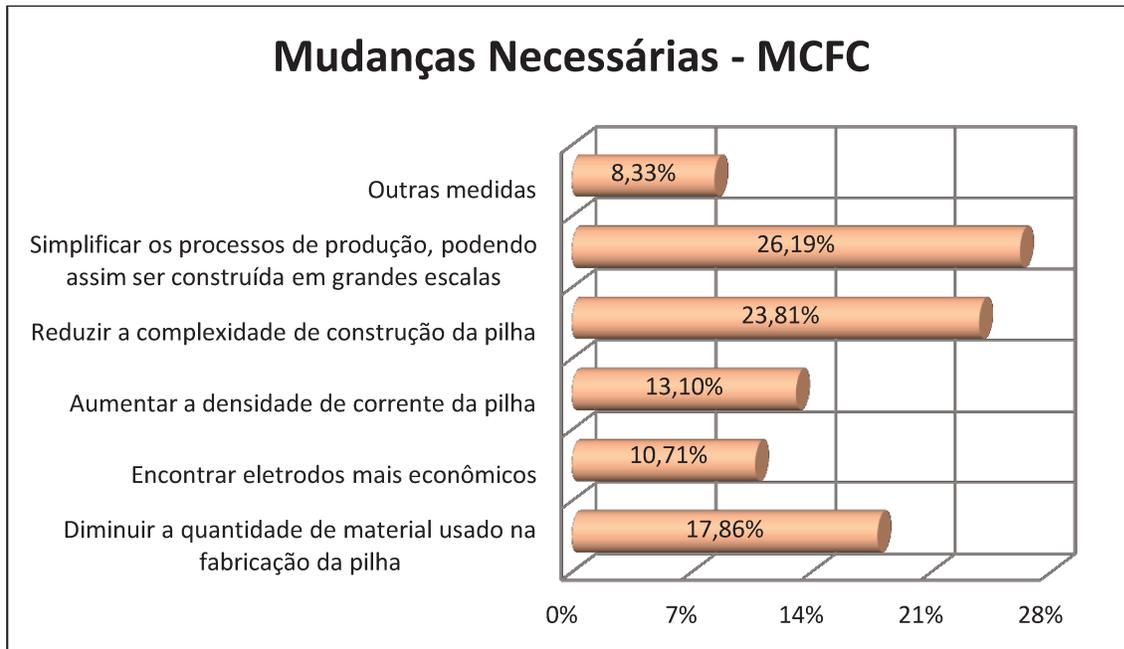


Figura 58 – Medidas necessárias para a redução nos preços das MCFC.

Na Figura 58, são mostrados os principais problemas apresentados pela MCFC, que, uma vez resolvidos, poderiam torná-la mais barata. Eles consistem em simplificar o processo de produção e reduzir sua complexidade.

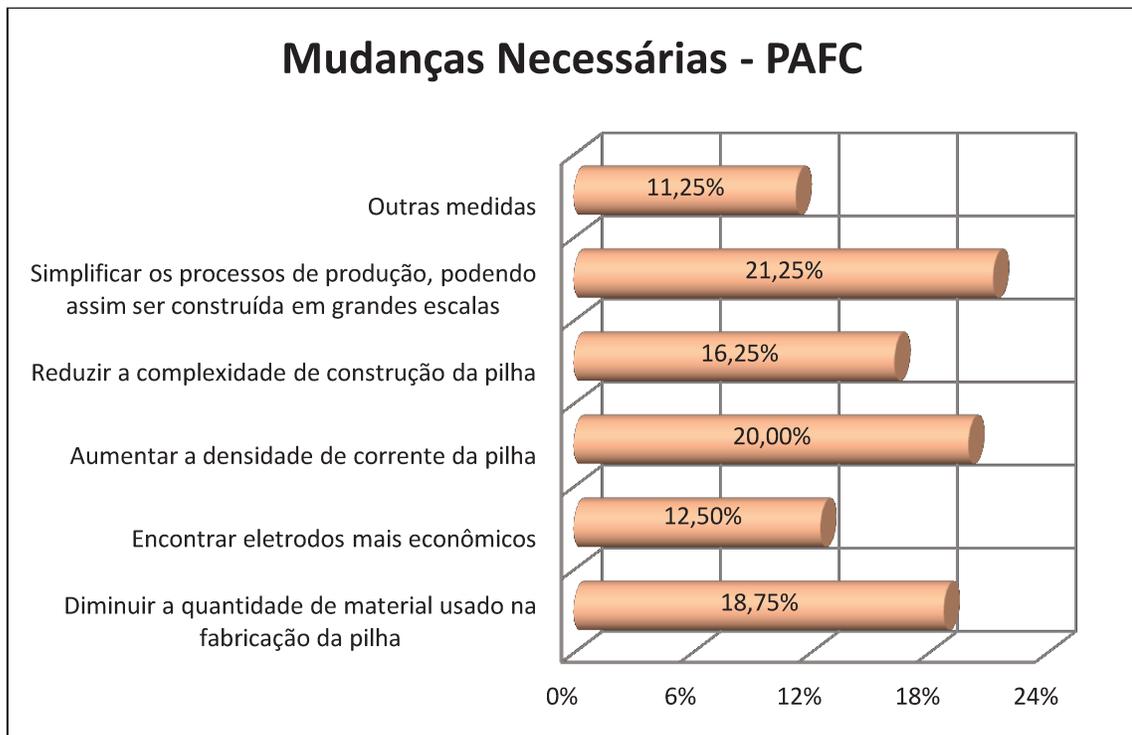


Figura 59 – Medidas necessárias para a redução nos preços das PAFC.

Na Figura 59 são apresentados os principais obstáculos a serem enfrentados pelas pilhas do tipo PAFC. É apontado como principal problema o modo como elas são fabricadas, sendo que 21,25% acreditam que é necessário simplificar o processo de produção. O segundo maior problema apontado é a densidade de corrente das PAFC. A quantidade de material utilizado, assim como a complexidade da pilha, também foi considerada como um problema recorrente desse tipo de dispositivo.

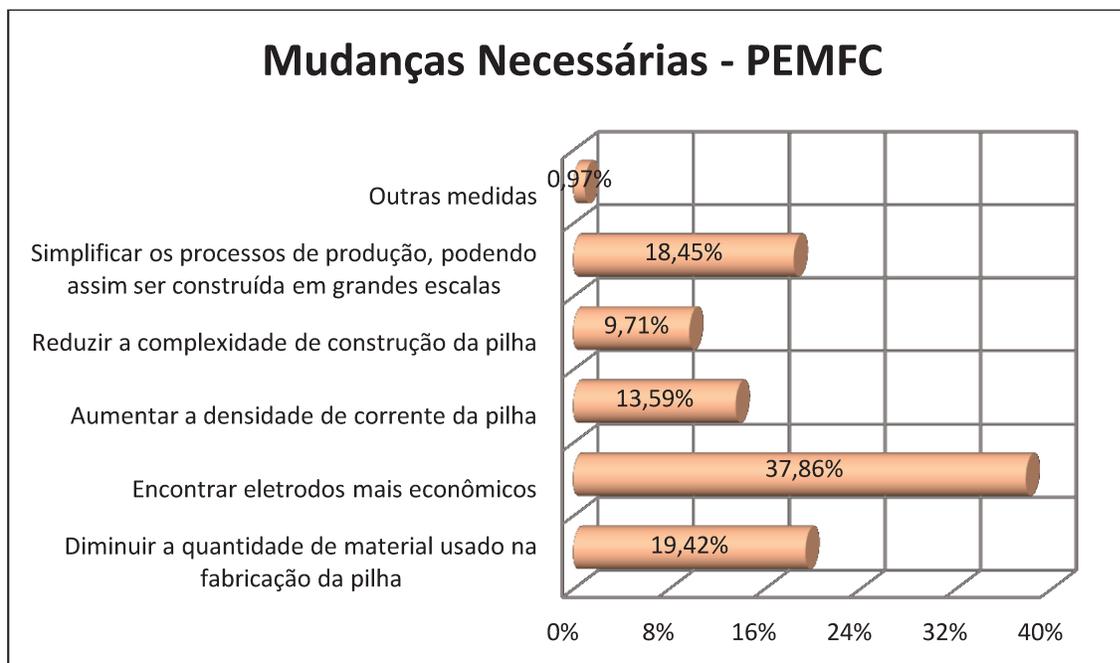


Figura 60 – Medidas necessárias para a redução nos preços das PEMFC.

Na Figura 60, são mostrados os principais problemas das PEMFC apontados pelos especialistas. O maior obstáculo para as PEMFC está nos eletrodos. A maioria (37,86%) acredita que é necessário encontrar um eletrodo que seja menos dispendioso. Outro problema associado às PEMFC é a quantidade de material utilizado.

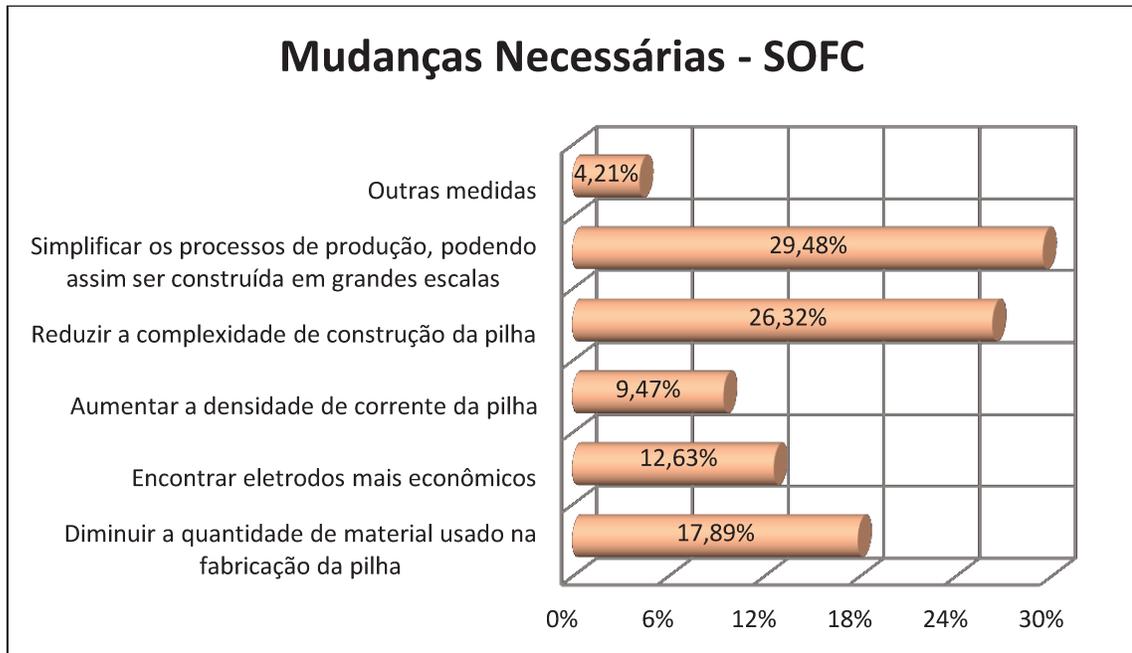


Figura 61 – Medidas necessárias para a redução nos preços das SOFC.

Na Figura 61, é mostrado o resultado da opinião dos especialistas quanto aos maiores problemas das SOFC. Assim como nos demais tipos de pilha a combustível, existe a necessidade intrínseca de simplificação do processo de produção, sendo que 29,48% dos especialistas apontou esta medida. Para 26,32%, também é necessário reduzir a complexidade das SOFC.

De modo geral, todas as pilhas a combustível precisam ser aprimoradas. A complexidade de fabricação desses dispositivos ainda é um grande obstáculo a ser vencido. Com as pesquisas e o investimento na tecnologia, é possível chegar a um patamar de equilíbrio entre a complexidade de produção e sua eficiência, assim como resolver os outros problemas apontados.

### 5.2.12 Processos de Fabricação do Hidrogênio

A tecnologia das pilhas a combustível depende muito do hidrogênio. Atualmente, a maior parte dos processos de produção de hidrogênio utilizam combustíveis fósseis (queima do hidrocarbonetos), ou seja, existe uma preocupação ambiental com o método de obtenção do hidrogênio.

Todavia, existem diferentes modos de produzir hidrogênio, sendo questionados os especialistas sobre qual seria o uso desses métodos em 20 anos. O resultado é exibido na Tabela

08, na qual a opinião da maioria está em negrito, destacando-se cada um dos tipos de processo de obtenção do hidrogênio.

Tabela 08 – Opinião dos especialistas sobre o processo de obtenção de Hidrogênio.

	Altíssima Redução	Grande Redução	Média Redução	Baixa Redução	Não Reduzirá
<b>Processo Biológico</b>	9,30%	16,28%	<b>27,91%</b>	20,93%	25,58%
<b>Gaseificação do Carvão</b>	9,52%	23,81%	<b>40,48%</b>	9,52%	16,67%
<b>Processo Eletrolítico</b>	12,20%	19,51%	24,39%	14,63%	<b>29,27%</b>
<b>Gaseificação de biomassa</b>	7,14%	21,43%	<b>33,33%</b>	11,91%	26,19%
<b>Dissociação Kvaerner</b>	0,00%	15,38%	<b>46,15%</b>	23,08%	15,38%
<b>Reforma do Gás Natural</b>	13,64%	20,45%	<b>34,10%</b>	20,45%	11,36%
<b>Processo fotolítico</b>	15,00%	20,00%	17,50%	15,00%	<b>32,50%</b>
<b>Plasmatron</b>	0,00%	18,92%	<b>43,24%</b>	16,22%	21,62%
<b>Reforma de combustível líquido</b>	4,76%	23,81%	<b>30,95%</b>	16,67%	23,81%
<b>Decomposição Térmica</b>	5,00%	25,00%	<b>37,50%</b>	12,50%	20,00%
<b>Dissociação Térmica</b>	2,50%	27,50%	<b>32,50%</b>	17,50%	20,00%

### 5.3 Dados da Indústria

Nesta seção, são apresentados os dados referentes ao crescimento da indústria das pilhas a combustível desde o ano de 2008. O intuito desse levantamento é a comparação de crescimento industrial recente com a opinião dos especialistas.

Os dados foram colhidos em anuários de várias empresas mundiais e expostos em uma *review* realizada em 2012 pelo grupo *Fuel Cell Today*. Eles mostram o mercado das pilhas a combustível por categoria de aplicação e por megawatts gerado, sendo expostos os dados de maneira regional e por tipo de pilha a combustível.

Como se sabe, o mercado das pilhas a combustível pode ser particionado em três grandes grupos: portátil, estacionário e transporte.

Na Tabela 09, são mostrados os dados referentes ao crescimento de cada setor nos últimos cinco anos, mensurado pelas unidades vendidas. Na Tabela 10, é mostrada a quantidade de energia gerada pelos setores em megawatts.

Tabela 09 – Crescimento das vendas das pilhas a combustível por setor.

<b>Vendas por Aplicação (*000 unidades)</b>					
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Portátil</b>	5,1	5,7	6,8	6,9	50,3
<b>Estacionária</b>	3,6	6,7	8,3	16,1	24,6
<b>Transporte</b>	0,8	2,0	2,6	1,6	3,1
<b>Total</b>	<b>9,5</b>	<b>14,4</b>	<b>17,7</b>	<b>24,6</b>	<b>78,2</b>

(fonte: Fuel Cell Today, 2012)

Tabela 10 – Energia das pilhas a combustível produzida por setor.

<b>Megawatts por Aplicação</b>					
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Portátil</b>	0,3	1,5	0,4	0,4	0,6
<b>Estacionária</b>	33,2	35,4	35,0	81,4	128,4
<b>Transporte</b>	17,6	49,6	55,8	27,6	46,8
<b>Total</b>	<b>51,1</b>	<b>86,5</b>	<b>91,2</b>	<b>109,4</b>	<b>175,8</b>

(fonte: adaptado da Fuel Cell Today, 2012)

Na Tabela 11, são mostrados os dados referentes ao crescimento de cada setor nos últimos cinco anos, mensurado por unidades vendidas para cada tipo de pilha a combustível. Na Tabela 12, é mostrada a quantidade de energia produzida pelas AFC, DMFC, MCFC, PAFC, PEMFC e SOFC desde 2008.

Tabela 11 – Crescimento das Vendas por Pilha a Combustível.

<b>Vendas por Pilha a Combustível (*000 unidades)</b>					
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>PEMFC</b>	4,1	8,5	10,9	20,4	70,9
<b>DMFC</b>	5,4	5,8	6,7	6,7	4,7
<b>PAFC</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>SOFC</b>	0,0	0,1	0,1	0,1	2,6
<b>MCFC</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>AFC</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Total</b>	<b>9,5</b>	<b>14,4</b>	<b>17,7</b>	<b>24,6</b>	<b>78,2</b>

(fonte: adaptado da Fuel Cell Today, 2012)

Tabela 12 – Energia Gerada por Pilha a Combustível

<b>Megawatts por Pilha a Combustível</b>					
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>PEMFC</b>	28,9	60,0	67,7	49,2	73,8
<b>DMFC</b>	0,3	1,1	1,1	0,4	0,5
<b>PAFC</b>	8,6	6,3	7,9	4,6	8,8
<b>SOFC</b>	1,3	1,1	6,7	10,6	19,5
<b>MCFC</b>	12,0	18,0	7,7	44,5	73,2
<b>AFC</b>	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0
<b>Total</b>	<b>51,1</b>	<b>86,5</b>	<b>91,2</b>	<b>109,4</b>	<b>175,8</b>

(fonte: adaptado da Fuel Cell Today, 2012)

É interessante notar a distribuição da tecnologia das pilhas a combustível pelas regiões. Conforme já mostrado no capítulo 3, atualmente no mundo são identificadas quatro grandes regiões usuárias das pilhas a combustível: os mercados asiático, norte-americano (Estados Unidos e Canadá), europeu e o resto do mundo (onde encontra-se o Brasil).

Tabela 13 – Crescimento das Vendas por Região.

<b>Vendas por Região (*000 unidades)</b>					
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Europa</b>	3,3	4,4	4,8	3,9	22,8
<b>Estados Unidos</b>	1,7	3,2	3,3	3,3	20,0
<b>Ásia</b>	4,5	6,7	9,5	17,0	31,2
<b>RoW</b>	0,0	0,1	0,1	0,4	4,2
<b>Total</b>	<b>9,5</b>	<b>14,4</b>	<b>17,7</b>	<b>24,6</b>	<b>78,2</b>

(fonte: adaptado da Fuel Cell Today, 2012)

Tabela 14 – Geração de energia por Região.

<b>Megawatts por Região</b>					
	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>
<b>Europa</b>	5,0	2,9	5,8	9,4	19,2
<b>Estados Unidos</b>	23,0	37,6	42,5	59,6	67,4
<b>Ásia</b>	22,8	45,3	42,5	39,6	87,3
<b>RoW</b>	0,3	0,7	0,4	0,8	1,9
<b>Total</b>	<b>51,1</b>	<b>86,5</b>	<b>91,2</b>	<b>109,4</b>	<b>175,8</b>

(fonte: adaptado da Fuel Cell Today, 2012)

Na Tabela 13, são mostrados os dados referentes ao crescimento do mercado das pilhas a combustível em cada uma dessas regiões nos últimos cinco anos, mensurado por unidades vendidas. A Tabela 14 mostra a quantidade de energia produzida nessas regiões pelas AFC, DMFC, MCFC, PAFC, PEMFC e SOFC desde 2008.

No setor portátil, houve crescimento considerável, passando de 5.100 para 50.300 unidades em uso, principalmente no setor de lazer. Produtos que fornecem APU têm apresentado crescente demanda. Já o mercado estacionário desenvolveu-se, sobretudo na Ásia, em virtude do micro-CHP, e nos Estados Unidos, em razão das UPS. O crescimento nesse setor em cinco anos passou de 3.600 unidades para 24.600. Por fim, a aplicação no setor de transporte cresceu, principalmente depois de demonstrações em feiras em 2008/9, a partir de quando veículos de pequeno porte passaram a ser vendidos em número considerável para várias indústrias no mundo. Digno de nota é o fato de que ônibus movidos a pilhas a combustível circulam em algumas cidades.

A Ásia, conforme mostra a Tabela 14, tem tido grande dominação no crescimento do mercado das pilhas a combustível, sobretudo o Japão, com o desenvolvimento das micro-CHP. Na região norte americana, o crescimento foi intenso, principalmente devido aos FCEV.

O mercado das pilhas a combustível tem sido dominado principalmente pelas PEMFC. Isso acontece principalmente pela sua versatilidade, podendo ser aplicada nos três setores das pilhas a combustível.



## 6 Conclusão

As pilhas a combustível constituem uma forma de energia alternativa presente cada vez mais no mercado. Encontram-se em fase de crescimento, estruturação e fixação de tecnologia, uma vez que ainda serão necessários grandes investimentos em P&D para a melhoria e venda em escala industrial. Conclui-se, frente às respostas enviadas pelos especialistas, que a tecnologia das mesmas será de suma importância e utilizada em grande escala no futuro de 20 anos.

Analisando-se os dados da indústria com a opinião dos especialistas, verifica-se que o consenso dos entrevistados é condizente com o cenário do mercado atual e com as pesquisas que se desenvolvem no mundo moderno. É interessante notar que, na opinião dos especialistas, a grande expectativa sobre as pilhas a combustível está nas PEMFC. Dados das indústrias revelam que esse foi justamente o dispositivo que teve o maior crescimento no mercado nos últimos cinco anos. A análise das publicações também apontou a PEMFC como a pilha mais promissora, tendo tido o maior salto nas pesquisas recentes.

Ainda pode-se fazer algumas considerações acerca dos dados levantados:

- Apesar haver boa representação dos mais diversos setores, a maioria dos respondentes era pertencente ao meio acadêmico. Isso permite a inferência de que as opiniões expostas pelos especialistas podem ser tendenciosas e voltadas para o meio das pesquisas.
- Quanto ao nível de conhecimento dos especialistas sobre o assunto, pode-se concluir que somente para DMFC, PEMFC e SOFC os respondentes, em sua maioria, tinham conhecimento profundo, enquanto que nas AFC, MCFC e PAFC, os especialistas eram apenas familiarizados ou não conhecedores. Dessa maneira, é interessante que projetos que envolvam mais de um tipo de pilha a combustível tenham questionário feito separadamente, a fim de que as opiniões de especialistas em dispositivos distintos não se misturem, melhorando assim a precisão da pesquisa.

- Todos os especialistas da área acreditam que será necessário investir em pesquisas, pois estas trariam contribuições que auxiliariam o aumento no interesse de produção em larga escala desses dispositivos.
- Conclui-se que as pilhas a combustível que apresentam um maior potencial mercadológico em 20 anos são as PEMFC e as SOFC, enquanto que as DMFC, MCFC e PAFC serão pilhas a combustível presentes, porém com menos uso no mercado. Apenas as AFC foram apontadas como inviáveis para o mercado e para o consumidor final.
- As pilhas a combustível trazem uma gama de vantagens quanto ao fornecimento de energia. Para os especialistas, a grande vantagem desses dispositivos está na eficiência de conversão e na preservação do ambiente que proporcionam. É importante ressaltar que as pilhas a combustível são ainda poluidoras, porém podem ser consideradas como “energia limpa” quando comparadas com a emissão dos gases tóxicos oriundas dos combustíveis fósseis.
- A maioria dos especialistas acredita que as pilhas a combustível são uma tecnologia viável e estarão no mercado em grande escala em 20 anos. Os que consideraram esse tempo não ideal apenas aumentaram o tempo estimado. Portanto, estima-se que, no futuro próximo, elas constituirão uma importante fonte de energia no planeta.
- É extremamente importante investir em P&D para todos os tipos de pilhas a combustível citados nesta dissertação, inclusive para a AFC, apontada por especialistas como de mercado restrito.
- O catalisador e o custo da produção de hidrogênio constituem os fatores que dificultam a entrada no mercado das pilhas a combustível. É imprescindível o investimento em pesquisas para baratear o custo, sendo assim possível produzi-las em grande escala.
- As pilhas a combustível, de maneira geral, serão bem aceitas no mercado. Mesmo assim, ainda é necessário investimento na divulgação dos benefícios para estímulo da utilização. Acredita-se que, enquanto não houver completa saturação dos combustíveis fósseis, o mercado das pilhas será limitado.

- A grande preocupação em termos de produção das pilhas a combustível está ligada à densidade de corrente da pilha. Além disso, é necessário que se encontre uma maneira de simplificar o processo de produção. Resolvidas essas questões, será viável a produção em grande escala.
- Quanto ao processo de produção de hidrogênio, conclui-se que, em 20 anos, o cenário continuará parecido com o atual.
- Finalmente, é necessário que se invista no aumento do tempo de vida de cada uma das pilhas a combustível.

A metodologia Delphi é uma técnica de prospecção que, apesar de não garantir previsões estatísticas exatas a respeito do tema em questão, é sempre de grande valor para indicar um futuro de possibilidades. Assim, e baseando-se nas opiniões dos especialistas, conclui-se que é necessário um direcionamento das pesquisas na área das pilhas a combustível, sobretudo para as PEMFC, que são as que apresentam maior potencial de mercado, podendo ser utilizadas tanto como energia móvel de transportes ou fixa.



## 7 Sugestões para Trabalhos Futuros

São apresentadas nesta seção sugestões para trabalhos futuros envolvendo prospecção tecnológica de pilhas a combustível.

- Estudo sobre o mercado das pilhas a combustível e comparação com as opiniões dos especialistas neste trabalho;
- Aprofundamento do estudo sobre as aplicações das pilhas a combustível;
- Ao ser feito um trabalho de prospecção tecnológica envolvendo mais de um tipo de pilha a combustível, separar em grupos, se possível, os especialistas para cada tipo de dispositivo e criar um questionário para cada um dos grupos, para que as respostas e opiniões sejam mais precisas. Isso porque o especialista geralmente é conhecedor profundo de somente um ou dois tipos de FC;
- Pesquisas com pilhas a combustível do tipo DEFC.
- Trabalho de prospecção tecnológica somente com as HT PEMFC e as PEMFC.



## 8 Referências

Atkinson, A.; Barnett, S. ; Gorte, R. J.; Irvine, J. T. S.; McEvoy, A. J.; Mogensen, M.; Singhal, S. C.; Vohs, J.; *Advanced Anodes for High-Temperature Fuel Cells*, Nature Materials, v. 3, n. 1, p 17-27, 2004.

BROCKAHAUS, W. L. and MICKELSEN, J.F. *An Analysis of prior Delphi Applications and Some Observations on its Future Applicability*. Technological Forecasting and Social Change, v. 10, p.103-110, 177.

CAMPBELL, V. *How Rand invented the Postwar World*. American Heritage – Invention & Technology Magazine, p. 50-59, v. 20, n. 1, summer, 2004. Disponível em <http://www.rand.org/> acesso em novembro de 2012.

CARDOSO, L. R. A.; et al. **Prospecção de futuro e Método Delphi: uma aplicação para a cadeia produtiva da construção habitacional**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 63-38, 2005.

CARVALHO, R. V. C. de. **Previsão Tecnológica a Médio-Longo Prazo Sobre Evoluções das Propriedades e de Mercado dos Polímeros de Engenharia**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Química, Departamento de Tecnologia de Polímeros, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

COATES, V. et al. *On the Future of Technological Foresight*, Technological Foresight and Social Change, New York, v. 67, p. 1 – 17, 2001.

COELHO, G. M.; COELHO, D. M. de S. **Prospecção Tecnológica: Metodologias e Experiências Nacionais e Internacionais**. Projeto CTPETRO – Tendências Tecnológicas, Instituto de Nacional de Tecnologia. 2003.

CUHLS, K; GRUPP, H. *Alemanha: Abordagens Prospectivas Nacionais*. Parcerias Tecnológicas, Brasília, n.10, p 75 – 104, março 2001.

CUHLS, K; GRUPP, H. *Status And Prospects Of Tecnology Foresight In Germany After Ten Years*. Em <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/mat077e/html/mat077ae.html>., Disponível em Dezembro, 2012.

DREJER, A., RIIS, J. O. *Competence development and technology – how learning and technology can be meaningfully integrated*. Technovation. Denmark: v.19, n.10. p.631-644. 1999. Foresight, Seville, v.01, n.06, p. 495 – 417, 1999.

EGUCHI, K.; SINGHAL, S. C.; YOKOKAWA, H.; MIZUSAKI, J.; **Solid Oxide Fuel Cells 10 (SOFC-X)**, Electrochemical Society Transactions, v. 7, n. 1, (editors), ECS, Pennington, New Jersey, 2007.

GAVIGAN, J.P.; SCAPOLO, F. *Matching Methods to the Mission: A comparison of National Foresighting Exercises*. Foresighting , Cambridge, v. 1, n. 6, p. 491 – 513, 1999.

GEORGE, R.; HASSMANN, K.; *Fuel Cell Applications and Types-Developments and Potentials*. Power Jornal, 2001.

GEORGHIOUS, L.; et al. *The Handbook of Technology Foresight – Concepts and Practice*. Northampton: Edward Elgar Publishing Limited, p.433, 2008.

GEORGHIOUS, L.; *The United Kingdom Technology Foresight Program*. Futures, v.28, n.4, p. 359-377, 1996.

GIOVINAZZO, R.A.; **Modelo de Aplicação de Metodologia Delphi pela Internet – Vantagens e Ressalvas**. Administração on line Prática – Pesquisa – Ensino, v.2, n.2, 2001.

GODET, M.; ROUBELAT, F. *Scenario Planning: an Open Future. Technological*. Forecasting & Social Change, New York, v. 65, n.1, p. 1 – 2, 2000.

GORDON, T.J.; HELMER, O.; *Report on a Long-Range Forecasting Study*. The RAND Corporation. Santa Monica, Califórnia, 1964.

GOLEMBERG, K.; *Meio Ambiente no século 21: Especialistas Falam da questão Ambiental nas suas áreas de conhecimento*, Sextante, Rio de Janeiro, 2003.

GRAHAM, B.; REGEHR, G, WRIGHT, J.G.; *Delphi as a Methodo to Establish Consensus for Diagnostic Criteria*. Journal of Clinical Epidemiology, v. 56, n.12, p.1150-1156, 2003. Futures, v. 28, n. 4, p-359-377, 1996.

GUPTA, U.; CLARKE, R. E. *Theory and Applications of the Delphi Technique: A Bibliography*. Technological Forecasting and Socian Change, v.53, n. 2, p. 185-211, 1996.

JANTSCH, E. **Technological Forecasting in Perspective A framework for Technological Forecasting, its Techniques and Organization**. Organization for economic co-operation and development, p. 401, 1967.

LANDETA, J. *Current validity of the Delphi method in social sciences*. Technological Forecasting and Social Change. v. 73, n. 5, p. 467-482, 2006.

LINDSTONE, H.A.; Turoff, M.; *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Addison-Wesley. Publishing Company, Massachusetts, 2002.

LIPNSKI, A. and LOVERIDGE, D.; *How We Forecast: Institute for the Future's Study of the UK 1978-95*. Futures, v.14, n.3, p. 205-239, Junho, 1982.

LOVERIDGE, D.; *Foresight, Technology Assessment and Evaluation – Synergy or Disjunction?* Manchester, University of Manchester, Ideas in Progress – Paper n.5, Outubro, 1996.

LOVERIDGE, D.; *Who is an Expert?* Manchester, University of Manchester, Março, 2001. (Discussion Paper Series, Paper 22).

LOVERIDGE, D.; *Experts and Foresight: Review and Experience.* Manchester, University of Manchester, Junho, 2002. (Discussion Paper Series, Paper 2-9).

LOVERIDGE, D.; *On Delphi Questions.* Manchester, University of Manchester, Outubro, 2002. (Discussion Paper Series, Paper 31).

MAKRIDAKIS, S.; WHEEL WRIGTH, S.; HYNDMAN, R.J. **Forecasting Methods and Applications.** 3. Ed. New York: John Wiley & Sons. 3. Ed., p. 642, 1998.

MARCIAL, E.C; GRUMBACH, R.J.S. **Cenários Prospectivos: Como Construir um Futuro Melhor.** FGV, Rio de Janeiro, 2002.

MARTINO, J.P. *Technological Forecasting for Decision Making.* New York: North-Holland, 1983

MILES, I.; KEENAN, M.; KAIVO-OJA, J.; **Handbook of Knowledge Society Foresight.** Prepared by PREST and FFRC for the European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, p. 166, 2002.

MOON, M.A.; MENTZER J.T; SMITH, C.D.; **Conducting a Sales Forecasting Audit.** International Journal of Forecasting. v. 19, n. 1, p. 5-25. 2003.

NAKANO, M.S.; **Previsão Tecnológica a Médio e Longo Prazo Sobre os Processos de Geração de Hidrogênio, Considerando Cenários Futuros Probabilísticos que Levem em Conta o Desenvolvimento das Pilhas a Combustível,** 2009. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, D.P.R, **Estratégia Empresarial e Vantagens Competitiva: Como Estabelecer, Implementar e Avaliar**. Atlas, São Paulo, 2001.

PORTER, A. L., et al. **Technology Futures Analysis: Toward Integration of the Field and New Methods**. Technological Forecasting & Technological Forecasting & Social Change v.71, p. 287–303, 2004.

POTTER, A. et al.; *Forecasting and Management of Technology*. New York, J.Willey 1991.

RATTNER, A., **Estudo do Futuro: Introdução à Antecipação Tecnológica e Social**. FGV, Rio de Janeiro, 1979.

RIBEIRO, M. A. M. **Contribuição ao Estudo do Impacto Ambiental das Pilhas a Combustível de Baixa e Média Temperatura Através da Metodologia Delphi**. 2009. Tese (Doutorado) – Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROWE, G.; WRIGHT, G.; *The Delphi Technique as a Forecasting Tool: Issues and Analysis*. International Journal of Forecasting, v.15, p. 353-375, 1999.

SANT’ANA, P. H.; **Análise Prospectiva de Tecnologias de Energia: Validação e Análise de uma Consulta Delphi com Especialistas no Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2005.

SANTOS, M.; MASSARI, G.; SANTOS, D; FELLOWS, L. **Prospecção Tecnológica de Futuro: Métodos, Técnicas e Abordagens**. Parcerias estratégicas, n. 19, 2004.

SCHULZ, P.; **A Encruzilhada da Nanotecnologia: Inovação, Tecnologia e Riscos**. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, p. 125, 2009.

SINGHAL, S. C.; **Advances in Solid Oxide Fuel Cell Technology**, Solid State Ionics, Vol. 135, p 305-313, 2000.

SINGHAL, S. C.; KENDALL, K.; **High Temperature Solid Oxide Fuel Cells: Fundamentals, Design and Applications**, Elsevier, Oxford, 2003.

SINGHAL, S. C.; **Science and Technology of Solid Oxide Fuel Cells**, Materials Research Bulletin, vol. 25, p 16-21, 2000.

SINGHAL, S. C.; **Solid Oxide Fuel Cells for Stationary, Mobile, and Military Applications**, Solid State Ionics, v. 152-153, p 405-410, 2002.

SINGHAL, S. C.; WILLIAMS, M. C.; STRAKEY, J. P.; **U.S. Distributed Generation Fuel Cell Program**, Journal of Power Sources, v. 131, p 79-85, 2004.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A.; **Delphi – uma Ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo**. Caderno de pesquisa e administração, v.1, n.12, p. 54 – 65, 2000.

WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A.; BORGIA REIS, C.; **Prospecção Estratégica para 2003 com a Utilização do Método Delphi**. p. 1-13, 2001

ZACKIEWICZ, M.; SALLES-FILHO, S.; **Tecnological Foresight: Um Instrumento para a Política Científica e Tecnológica**. Parcerias Tecnológicas, Brasília, n.10, p-144-161, março 2001.

## **Anexo A – Questionário em Português enviado aos Especialistas**

Versão em português da carta e do questionário mandada para os especialistas da área de pilha a combustível.

**Prezado Senhor(a),**

Prezado Senhor, Prezada Senhora,

Meu nome é Ana Beatriz Alves Borges, sou aluna de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas e estou desenvolvendo um trabalho sobre Previsão Tecnológica de médio e longo prazo sobre o mercado das principais pilhas a combustível existente. Para este trabalho será utilizado a metodologia Delphi.

Você está sendo convidado(a) à participar de nossa pesquisa sobre evolução tecnológica das principais pilhas à combustível presentes no mercado. Nesta pesquisa participarão respondentes especialistas do segmento de pilhas tanto acadêmicos quanto da indústria e do governo.

Selecionamos a pilha a combustível devido a sua grande importância no mercado de produção de energia. A cada ano que passa pesquisas a cerca do assunto tem se intensificado e a busca por um novo meio de obtenção de energia se tornou essencial.

Serão necessários de 10-15 minutos para o preenchimento do questionário. Os dados recebidos serão tratados em sigilo e utilizados apenas para fins estatísticos.

Sua participação é voluntária e anônima, não exigindo nenhum tipo de risco associado a este projeto. Caso se sinta desconfortável com qualquer questão, sinta-se a vontade para não respondê-la.

Se desejar qualquer informação futura sobre este trabalho, por favor entre em contato comigo através do email: [anabiaborges@gmail.com](mailto:anabiaborges@gmail.com)

Agradeço desde já sua colaboração.

Atenciosamente,

Ana Beatriz Alves Borges

\*oliveira@feq.unicamp.br

1) Marque a sua área de atuação profissional.

Universidade	(      )
Consultoria	(      )
Estratégia Corporativa para Pesquisa e Desenvolvimento	(      )
Indústria – Pesquisa e Desenvolvimento	(      )
Marketing/Gestão Empresarial	(      )
Produção - Operação	(      )
Política – Agências Públicas	(      )
Tecnologia	(      )
Outras (mencionar, por favor)	(      )

2) Indique o seu grau de conhecimento para cada tipo de pilha a combustível.

	Não-Familiar	Familiarizado	Conhecedor	Especialista
AFC				
DMFC				
MCFC				
PAFC				
PEMFC				
SOFC				

3) Em sua opinião, as atividades de pesquisa e desenvolvimento são:

Muito Importante	(      )
Importante	(      )
Pouco Importante	(      )
Irrelevante	(      )

- 4) Em sua opinião, marque qual será a relevância no mercado, nos próximos 15-20 anos de cada pilha a combustível citada. Assinale 1 para pequena presença e 5 para grande presença.

	1	2	3	4	5
AFC					
DMFC					
MCFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

- 5) Por favor, classifique em ordem de presença no mercado de 1 a 5 cada tecnologia de pilha para cada segmento de mercado citado nos próximos 15 a 20 anos em sua opinião.

	Aeroespacial	Automotivo	Residencial	Eletrônicos	Industrial
AFC					
DMFC					
MCFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

*Comentários - opcional (espaço destinado para expor como vê o mercado das pilhas a combustível daqui 15 a 20 anos):*

- 6) Por favor, assinale a(s) alternativa(s) que em sua opinião representa(m) as maiores vantagens da utilização das pilhas a combustível no mercado.

Altos preços do combustível fóssil	( )
Capacidade de cogeração de energia	( )
Eficiência/ Conversor direto	( )
Preservação Ambiental.	( )
Baixo Ruído	( )
Outros (especificar)	( ) _____

- 7) Você concorda que as pilhas a combustível serão utilizadas em larga escala em um período de 15-20 anos?

Sim ( )  
 Não ( ) Considerar outro intervalo

*Se sua resposta anterior foi não, em sua opinião, as pilhas a combustível serão utilizadas em larga escala? Se sim, quanto tempo levará para que elas sejam utilizadas em larga escala?*

- 8) Atualmente, ainda é necessária uma série de investimentos em P&D para que as pilhas a combustível alcancem o mercado com preços viáveis. Em sua opinião, qual é a importância de se investir nessas pesquisas para as pilhas citadas:

	Muito Importante	Importante	Pouco Importante	Irrelevante	Não chegará ao Mercado.
AFC					
DMFC					
MFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

- 9) Assinale qual(ais) dos fatores mencionados a seguir restringem disponibilidade das pilhas a combustível no mercado final.

Catalisador	(    )
Custos do Hidrogênio	(    )
Eletrodo	(    )
Eletrólito	(    )
Placas Bipolares	(    )
Temperatura	(    )
Outros	(    )

- 10) Por favor, assinale a alternativa que em sua opinião mostrará o grau de aceitação da sociedade quanto ao uso de pilha a combustível.

	Alta Aceitação	Média Aceitação	Baixa Aceitação	Não Será Aceita	Não Sei
AFC					
DMFC					
MCFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

11) Por favor, marque em sua opinião qual é o grande desafio para se reduzir os custos das pilhas a combustível para que ela se torne economicamente viável:

	AFC	DMFC	MCFC	PAFC	PEMFC	SOFC
Diminuir a quantidade de material usado na fabricação da pilha						
Encontrar eletrodos mais econômicos						
Aumentar a densidade de corrente da pilha						
Reduzir a complexidade de construção da pilha						
Simplificar os processos de produção, podendo assim ser construída em grandes escalas						
Outras medidas (quais?)						

12) Os combustíveis utilizados na pilha a combustível são produzidos através dos seguintes processos citados. Por favor, marque qual é a sua expectativa da continuidade do uso da tecnologia de produção para um futuro de 15-20 anos?

	Elevada Redução	Grande Redução	Média Redução	Baixa Redução	Não Será Reduzida
Processo Biológico					
Gaseificação do Carvão					
Processo Eletrolítico					
Gaseificação de biomassa					
Dissociação Kvaerner					
Reforma do Gás Natural					
Processo fotolítico					
Plasmatron					
Reforma de combustível líquido					
Decomposição Térmica					
Dissociação Térmica					

13) Considerando as pilhas citadas nesta pesquisa qual o tempo de vida que elas devem ter para que sejam viáveis no mercado final (colocar em horas)?

## **Anexo B – Questionário em Inglês enviado aos Especialistas.**

Versão em inglês do email e do questionário enviada para os especialistas da área de pilha a combustível.

Subject: Fuel Cell - Survey Invitation

Dear Sir / Madam,

My name is Ana Beatriz Alves Borges, I am a Graduate student at the Faculty of Chemical Engineering (FEQ) at the State University of Campinas (UNICAMP) and I am developing a work on medium- and long-term Technological Prospection on the developments and applications of full cell under the supervision of Professor Doctor Wagner dos Santos Oliveira\*. I use the DELPHI methodology of Technological Forecasting to develop my work and I would like to ask you to kindly collaborate by answering to a small questionnaire (attached) containing 13 questions. You will spend no more than 10 to 15 minutes to fill in the questionnaire, the results of which will be shared with all the participants. All your answers will be treated as confidential and shall be used solely for statistical and academic purposes.

Your participation is voluntary, anonymous and there are no risks associated with this work. If at any time you feel uncomfortable about a particular question, please feel free not to answer it.

Thank you for your participation, your opinion will be of great importance!

Please start with the survey now by clicking on the button below

<http://fuelcell.questionpro.com>

Thank You

Ana Beatriz A Borges

ps: If you would like any further information about this work, please contact me by

e-mail: [anabiaborges@gmail.com](mailto:anabiaborges@gmail.com)

\*oliveira@feq.unicamp.br

1) Please mark on your working professional fields:

Academic research	( )
Consulting	( )
Corporate strategy for research and development	( )
Industrial research and development	( )
Marketing/Business management	( )
Production/operation	( )
Public agency/politics	( )
Tecnology	( )
Others (please mention)	( )

2) Please mark your degree of knowledge on each type of fuel cell:

	Unfamiliar	Familiarized	Knowledgable	Expert	Unfamiliar
AFC					
DMFC					
MCFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

3) In your opinion, the research and development activities on fuel cells are:

Very important	( )
Important	( )
Of little importance	( )
Irrelevant	( )

- 4) On your opinion, what will be the relevance of each fuel cell technology in the market in the next 15 to 20 years? Please mark 1 for small significance up to 5 for very important.

	1	2	3	4	5
AFC					
DMFC					
MCFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

- 5) Please, rank in market presence from 1 to 5 each fuel cell technology for each listed market segment on the next 15 to 20 years in your opinion.

	Aerospatial	Automotive	Residential	Electronics	Industrial
AFC					
DMFC					
MCFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

*[optional] Please use the following space for any comments on the future market for fuel cell technologies that you may find relevant.*

6) Please mark the alternative that in your opinion represents the main advantages on the utilization of fuel cells for the market.

High cost of the fossil based fuels	( )
Cogeneration hability	( )
Efficiency / Dircect Conversion	( )
Environmental Preservation	( )
Low Noise	( )
Others (Please specify)	( ) _____

7) Do you consider that the fuel cell will be used to a large extent in a 15 to 20 years time frame?

Yes ( )  
 No ( ) Consider another interval

If your previous answer was no, in your opinion, would the fuel cell be used in large scale later in the future? If so how many years would it take?

8) Currently it is still necessary several investments in R&D for the fuel cells to reach the final consumer market. In your opinion what is the importance of investing in the following fuel cell technologies

	Very important	Important	Of little importance	Irrelevant	It won't get the market
AFC					
DMFC					
MFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

- 9) Please mark the alternative which of the following limit the availability of the fuel cells on the final consumer market:

Catalyzer	(    )
Hydrogen costs	(    )
Electrode	(    )
Electrolyte	(    )
Bipolar Plates	(    )
Temperature	(    )
Other	(    )

- 10) Please mark the alternative that indicate the people's acceptance level on each fuel cell technology:

	High acceptance	Average acceptance	Low acceptance	It won't be accepted	I don't know
AFC					
DMFC					
MCFC					
PAFC					
PEMFC					
SOFC					

11) Please mark on your opinion which are the greatest challenges to reduce the costs of the fuel cells so it could be viable economically:

	AFC	DMFC	MCFC	PAFC	PEMFC	SOFC
Reduce the quantity of material used in the fuel cell manufacturing						
Find cheaper electrodes						
Increase current density of the fuel cell						
Reduce the building complexity the fuel cell						
Simplify manufacturing processes for large scale production						
Other measures (please specify)						

12) Fuels used in the fuel cell with relation to the current processes of hydrogen production. Please, mark what is your expectation for the continuity of its use in the future of 20 years?

	Very High Reduction	High Reduction	Medium Reduction	Low Reduction	No Reduction
Biological process					
Coal gasification					
Electrolytic process					
Gasification of biomass					
Kvaerner dissociation					
Natural gas reforming technology					
Photolytic process					
Plasmatron					
Renewable liquid fuel reforming					
Thermal decomposition					
Thermal dissociation					

13) Considering the following fuel cells, on your opinion, what would be their life-span so they would be economically viable for the final consumer?

## **Anexo C – Principais Corporações do Ramo de Pilhas a Combustível**

A listagem das empresas que trabalham no ramo de pilhas a combustível, seja com P&D ou fornecimento de algum acessório é feita neste anexo. A ordem de apresentação das empresas foi feita alfabeticamente.

Essas empresas estão distribuídas entre 14 países: Estados Unidos, China, Suíça, Suécia, Singapura, Holanda, Itália, Grécia, Alemanha, Estônia, Dinamarca, Canadá, Bélgica e Austrália.

É importante lembrar que ainda existem diversas outras empresas, localizadas além desses países citados, como empresas japonesas, francesas e inglesas, por exemplo. Porém a lista citada apresenta apenas as maiores companhias presentes hoje no mercado.

- **AC Transit**  
Ramo: Não governamental  
Site: <http://www.actransit.org>
- **Acumentrics SOFC Corporation**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: [www.Acumentrics.com](http://www.Acumentrics.com)
- **AFC Energy**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.afcenergy.com/>
- **Altergy Systems**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.altergy.com>
- **Anaergia Inc**  
Ramo: Provedor de serviços  
Site: <http://www.anaergia.com/index.shtml>

- **Automotive Fuel Cell Cooperation Corp.**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.afcc-auto.com>
- **Avāence, LLC**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://www.avalence.com>
- **Ballard Material Products**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.ballard.com/material-products/>
- **Ballard Power Systems**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.ballard.com>
- **BASF Fuel Cell, Inc.**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.basf-fuelcell.com>
- **BIC Consumer Products**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.bicworld.com>
- **Bing Energy International**  
Ramo: Fabricante de componentes e testes  
Site: <http://www.bingenergyinc.com>

- **Bloom Energy**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.bloomenergy.com>
  
- **Borit NV**  
Ramo: Fabricante de componentes e testes  
Site: <http://www.borit.be>
  
- **California Fuel Cell Partnership**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.cafcp.org/>
  
- **Cascadian**  
Ramo: Provedor de Serviços  
Site: <http://www.cascadian.com/>
  
- **Catacel Corp.**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.catacel.com/>
  
- **Cella Energy**  
Ramo: Fornecedor de Hidrogênio  
Site: <http://www.cellaenergy.com>
  
- **Cellkraft AB**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://cellkraft.se/fuelcells/>

- **Ceramic Fuel Cells Ltd.**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.cfcl.com.au>
- **Clean Energy Finance and Investment Authority**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.ctcleanenergy.com/>
- **ClearEdge Power**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.clearedgepower.com/>
- **Connecticut Center for Advanced Technology, Inc.**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.ccat.us/>
- **Connecticut Hydrogen-Fuel Cell Coalition**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.chfcc.org>
- **CSA Group**  
Ramo: Provedor de Serviços  
Site: <http://www.csagroup.org/>
- **Danish Power Systems**  
Ramo: Fabricante de Componentes e Testes  
Site: <http://www.daposy.com/>
- **DDI Energy Inc.**  
Ramo: Desenvolvimento das pilhas a combustível  
Site: <http://www.ddienergy.ca>

- **Delphi Automotive Systems, LLC**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://delphi.com/manufacturers/cv/fuelcells/>
  
- **Elcogen AS**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.elcogen.com>
  
- **ElectroChem, Inc.**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.electrocheminc.com/>
  
- **EnerFuel**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.enerfuel.com>
  
- **ESL ElectroScience Laboratories**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.electroscience.com>
  
- **Freudenberg Fuel Cell Component Technologies**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.freudenbergfcct.com>
  
- **Fuel Cell and Hydrogen Energy Association**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.fchea.org>

- **Fuel Cell Today**  
Ramo: Provedor de serviços  
Site: <http://www.fuelcelltoday.com>
- **FuelCell Energy**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.fuelcellenergy.com/>
- **FuelCellsEtc**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://fuelcellsetc.com/>
- **FuelCon AG**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.fuelcon.com>
- **FutureE Fuel Cell Solutions GmbH**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.future-e.com>
- **Greenlight Innovation**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.greenlightinnovation.com/>
- **H2scan Corporation**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://h2scan.com/>

- **Horizon Fuel Cell Technologies**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.horizonfuelcell.com>
  
- **Hy9 Corporation**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://www.hy9.com>
  
- **IdaTech**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site <http://www.idatech.com>
  
- **Infinity Fuel Cell and Hydrogen, Inc.**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.infinityfuel.com>
  
- **Intelligent Energy**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.intelligent-energy.com>
  
- **IRD Fuel Cells, LLC**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.ird.dk>
  
- **ITM Power**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://www.itm-power.com>

- **Johnson Matthey Fuel Cells**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.jmfuelcells.com/>
- **LiftOne**  
Ramo: Provedor de serviços  
Site: <http://www.liftone.net>
- **Linde North America, Inc.**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://www.lindeus.com>
- **M-FIELD Energy LTD.**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.m-field.com.tw>
- **MES sa**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.mes.ch>
- **Metro Mold & Design, LLC**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.metromold.com>
- **Microcell Corporation**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.microcellcorp.com>

- **National Renewable Energy Laboratory**  
Ramo: Governamental  
Site: <http://www.nrel.gov>
- **Nedstack PEM Fuel Cells**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.nedstack.com>
- **Neodym Technologies**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.neodymsystems.com/>
- **New York Power Authority**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.nypa.gov>
- **NexTech Materials, Ltd.**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.nextechmaterials.com>
- **Nuvera Fuel Cells**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.nuvera.com>
- **Ohio Department of Development**  
Ramo: Governamental  
Site: <http://www.ohiothirdfrontier.com>

- **Ohio Fuel Cell Coalition**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.fuelcellcorridor.com>
- **OHR Energy – Otto H. Rosentreter Company**  
Ramo: Provedor de serviços  
Site: <http://www.ohrenergy.com>
- **Oorja Protonics Inc.**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.oorjaprotonics.com>
- **Palcan Energy Corporation**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.palcan.com>
- **PDC Machines, Inc.**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://www.pdcmachines.com>
- **Plug Power Inc.**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.plugpower.com>
- **PowerCell Sweden AB**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.powercell.se>

- **Powertech**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://www.powertechlabs.com>
  
- **Precision Combustion, Inc.**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.precision-combustion.com>
  
- **PRECO, Inc**  
Ramo: Components & Testing  
Site: <http://www.precoinc.com>
  
- **Proton OnSite**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://www.protononsite.com>
  
- **ReliOn**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.relion-inc.com>
  
- **Schatz Energy Research Center**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.schatzlab.org>
  
- **SCRA**  
Services Provider  
Site: <http://www.scra.org>

- **Scribner Associates, Inc.**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.scribner.com>
- **SerEnergy A/S**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.sereenergy.com>
- **SFC Energy AG**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.sfc.com>
- **SOFCpower Spa**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.sofcpower.com>
- **South Carolina Hydrogen and Fuel Cell Alliance**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://schydrogen.org>
- **Süd-Chemie Inc.**  
Ramo: Fornecedor de hidrogênio  
Site: <http://www.sud-chemie.com>
- **Topsoe Fuel Cell A/S**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.topsoefuelcell.com>

- **Tropical S.A.**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.tropical.gr>
  
- **University of South Carolina – City of Columbia Fuel Cell Collaborative**  
Ramo: Organização não governamental  
Site: <http://www.fuelcellcollaborative.com>
  
- **UTC Power**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.utcpower.com>
  
- **Vairex Air Systems**  
Ramo: Fabricante de componentes e Testes  
Site: <http://www.vairex.com>
  
- **Versa Power Systems**  
Ramo: Desenvolvedor de pilha a combustível  
Site: <http://www.versa-power.com>



## Anexo D – Dados Tabulados e Tratados.

1) Please mark on your working professional fields:

Academic research	64,47%
Consulting	1,32%
Corporate strategy for research and development	2,63%
Industrial research and development	5,26%
Marketing/Business management	14,47%
Production/operation	1,32%
Public agency/politics	6,58%
Tecnology	1,32%
Others (please mention)	2,63%

2) Please mark your degree of knowledge on each type of fuel cell:

	Unfamiliar	Familiarized	Knowledgable	Expert
AFC	<b>44,93%</b>	39,13%	11,59%	4,35%
DMFC	18,84%	<b>37,68%</b>	26,09%	17,39%
MCFC	37,68%	<b>44,93%</b>	15,94%	1,45%
PAFC	43,48%	<b>46,38%</b>	7,25%	2,90%
PEMFC	1,45%	18,84%	37,68%	<b>42,03%</b>
SOFC	13,04%	37,68%	23,19%	<b>26,09%</b>

3) In your opinion, the research and development activities on fuel cells are:

Very important	71,01%
Important	28,99%
Of little importance	0,00%
Irrelevant	0,00%

4) On your opinion, what will be the relevance of each fuel cell technology in the market in the next 15 to 20 years? Please mark 1 for small significance up to 5 for very important.

	1	2	3	4	5
AFC	<b>31,34%</b>	28,85%	20,90%	13,43%	4,48%
DMFC	4,48%	17,91%	29,85%	<b>34,33%</b>	13,43%
MCFC	11,94%	28,36%	<b>31,34%</b>	20,90%	7,46%
PAFC	17,91%	28,26%	<b>31,34%</b>	19,40%	2,99%
PEMFC	2,99%	2,99%	7,46%	25,37%	<b>61,19%</b>
SOFC	0,00%	7,46%	14,93%	32,84%	<b>44,78%</b>

5) Please, rank in market presence from 1 to 5 each fuel cell technology for each listed market segment on the next 15 to 20 years in your opinion.

Aerospatial	Automotive	Residential	Electronics	Industrial
-------------	------------	-------------	-------------	------------

Essa questão apresentou problemas de compreensão por parte dos especialistas, devido a isso os dados não foram tabulados, e nem discutidos. Foi-se discutido apenas os motivos que levaram a não compreensão da questão, assim como o porquê não se efetuou uma nova rodada de questionário só por causa desta pergunta.

- 6) Please mark the alternative that in your opinion represents the main advantages on the utilization of fuel cells for the market.

High cost of the fossil based fuels	9,92%
Cogeneration hability	14,50%
Efficiency / Dirrect Conversion	<b>30,53%</b>
Environmental Preservation	30,53%
Low Noise	12,98%
Others	1,53%

- 7) Do you consider that the fuel cell will be used to a large extent in a 15 to 20 years time frame?

Yes (75%)  
No (25%)

- 8) Currently it is still necessary several investments in R&D for the fuel cells to reach the final consumer market. In your opinion what is the importance of investing in the following fuel cell technologies

	Very important	Important	Of little importance	Irrelevant	It won't get the market
AFC	14,29	26,79	23,21	14,29	21,43
DMFC	26,79	51,78	19,64	1,79	0,00
MFC	10,71	41,07	35,71	8,93	3,57
PAFC	14,29	26,79	23,21	14,29	21,43
PEMFC	64,28	33,93	0	0	1,79
SOFC	53,56	39,29	3,57	1,79	1,79

9) Please mark the alternative which of the following limit the availability of the fuel cells on the final consumer market:

Catalyzer	26,61%
Hydrogen costs	17,74%
Electrode	13,71%
Electrolyte	12,90%
Bipolar Plates	6,45%
Temperature	8,87%
Other	13,71%

10) Please mark the alternative that indicate the people's acceptance level on each fuel cell technology:

	High acceptance	Average acceptance	Low acceptance	It won't be accepted	I don't know
AFC	9,09%	32,73%	21,82%	3,64%	32,73%
DMFC	32,73%	47,27%	5,45%	0,00%	14,55%
MCFC	14,55%	45,45%	18,18%	0,00%	21,82%
PAFC	7,27%	36,36%	27,27%	1,82%	27,27%
PEMFC	61,82%	23,64%	3,64%	1,82%	9,09%
SOFC	30,91%	49,09%	9,09%	0,00%	10,91%

11) Please mark on your opinion which are the greatest challenges to reduce the costs of the fuel cells so it could be viable economically:

	AFC	DMFC	MCFC	PAFC	PEMFC	SOFC
Reduce the quantity of material used in the fuel cell manufacturing	12,99%	13,98%	17,86%	18,75%	19,42%	17,89%
Find cheaper electrodes	12,99%	27,96%	10,71%	12,50%	37,86%	12,63%
Increase current density of the fuel cell	22,08%	26,88%	13,10%	20,00%	13,59%	9,47%
Reduce the building complexity the fuel cell	19,47%	7,53%	23,81%	16,25%	9,71%	26,32%
Simplify manufacturing processes for large scale production	18,18%	19,35%	26,19%	21,25%	18,45%	29,48%
Other measures (please specify)	14,29%	4,30%	8,33%	11,25%	0,97%	4,21%

12) Fuels used in the fuel cell with relation to the current processes of hydrogen production.

Please, mark what is your expectation for the continuity of its use in the future of 20 years?

	Very High Reduction	High Reduction	Medium Reduction	Low Reduction	No Reduction
Biological process	9,30%	16,28%	27,91%	20,93%	25,58%
Coal gasification	9,52%	23,81%	40,48%	9,52%	16,67%
Electrolytic process	12,20%	19,51%	24,39%	14,63%	29,27%
Gasification of biomass	7,14%	21,43%	33,33%	11,91%	26,19%
Kvaerner dissociation	0,00%	15,38%	46,15%	23,08%	15,38%
Natural gas reforming technology	13,64%	20,45%	34,10%	20,45%	11,36%
Photolytic process	15,00%	20,00%	17,50%	15,00%	32,50%
Plasmatron	0,00%	18,92%	43,24%	16,22%	21,62%
Renewable liquid fuel reforming	4,76%	23,81%	30,95%	16,67%	23,81%
Thermal decomposition	5,00%	25,00%	37,50%	12,50%	20,00%
Thermal dissociation	2,50%	27,50%	32,50%	17,50%	20,00%