

## 8

# Discussões, Conclusões e Trabalhos Futuros

### 8.1.

#### Discussões

##### 8.1.1.

#### Caracterização Experimental das Amostras GMI

O transdutor magnético GMI, objeto dessa dissertação, utiliza fitas GMI como seus elementos sensores. Assim, visando à otimização da sensibilidade do transdutor ( $dV/dH$ ), deseja-se otimizar as sensibilidades de módulo ( $d|Z|/dH$ ) e/ou de fase ( $d\theta/dH$ ) das fitas GMI, as quais são afetadas por uma série de parâmetros (p. ex.: nível CC, frequência e amplitude da corrente, comprimento e largura das fitas, campo magnético de polarização, ...). No entanto, o efeito GMI ainda não possui um modelo suficientemente geral e amplamente aceito na literatura, apesar de já existirem algumas tentativas de modelo quantitativo, quando adotam-se certas simplificações [14,17,36]. Desse modo, não é possível aplicar um método de otimização multivariável de forma confiável, sendo que, usualmente, as curvas de fase ( $\theta$ ) e módulo ( $|Z|$ ) da impedância em função do campo magnético ( $H$ ) devem ser obtidas experimentalmente para que, a partir das mesmas, se possa inferir sobre as respectivas sensibilidades ( $d\theta/dH$  e  $d|Z|/dH$ ).

No capítulo 5 é apresentada a análise das características de fase ( $\theta$ ) e módulo ( $|Z|$ ) da impedância, de amostras GMI em forma de fita, em função do campo magnético ( $H$ ). Este estudo permitiu vislumbrar a implementação de transdutores magnéticos baseados nas características de fase do efeito GMI [32,35-36], ao invés dos usuais magnetômetros até então descritos na literatura, baseados nas características de módulo [13,16-17,21,23,34,62]. Enquanto que a sensibilidade de módulo ( $d|Z|/dH$ ) apresentou valores ótimos para altas frequências (dezenas de MHz), a sensibilidade de fase ( $d\theta/dH$ ) apresentou valores ótimos tanto em altas frequências quanto em baixas frequências (centenas de kHz), devido ao “efeito gangorra” – apresentado e explicado na seção 5.2.1.3. Esta situação, verificada na análise da fase da impedância, possibilita trabalhar em

frequências mais baixas, facilitando o desenvolvimento da eletrônica de condicionamento e leitura. Por outro lado, também é possível operar em frequências mais elevadas, mantendo-se a sensibilidade, caso, por exemplo, deseje-se aumentar a faixa de frequências de operação do transdutor.

Também, pôde-se perceber que existe uma dependência não-linear das características de  $|Z|$  e  $\theta$  em relação ao comprimento das amostras. A sensibilidade específica (sensibilidade por unidade de comprimento) apresentou máximos em valores intermediários da faixa de comprimento analisada (1 cm, 3 cm, 5 cm e 15 cm). As máximas sensibilidades específicas foram obtidas para 3 cm, no caso da fase, e 5 cm, no caso do módulo. Por outro lado, quanto à utilização de nível CC de corrente, para indução de AGMI, observou-se que, por meio do ajuste deste, consegue-se elevar a sensibilidade, de módulo e fase, das amostras GMI.

Ainda, notou-se que o comportamento da histerese das amostras, apesar de perceptível, é satisfatoriamente pequeno. Tanto nas análises de  $|Z|$  quanto de  $\theta$ , os desvios em relação à “curva média de histerese” foram inferiores a  $\pm 1\%$ . No entanto, a análise da homogeneidade das amostras indicou heterogeneidade nas características de  $|Z|$  e  $\theta$  em função de  $H$  que, como discutido na seção 5.2.5, é atribuída tanto à técnica de conexão (soldagem) das fitas GMI aos terminais elétricos quanto ao processo de fabricação das amostras.

A partir das características de módulo e fase em função do campo magnético, pôde-se obter as características de variação da componente resistiva e reativa da impedância das amostras GMI em função do campo. Assim, verificou-se que ambas as componentes dependem do comprimento das amostras e que a componente resistiva é função da frequência da corrente de excitação. Também, observa-se que ambas as componentes decaem de valor com a redução do comprimento das amostras, mas que a taxa de decaimento da componente resistiva em função do comprimento é muito superior (cerca de 5 vezes) à apresentada pela componente indutiva.

### 8.1.2. Desenvolvimento do Transdutor GMI

Os magnetômetros GMI desenvolvidos, baseados nas características de fase, apresentaram desempenho, em termos de sensibilidade (“volts por oersted”), superior àqueles baseados no módulo da impedância. Este comportamento foi observado em toda a faixa de comprimentos das fitas GMI analisadas. Percebe-se, como explicitado no capítulo 6, que a sensibilidade dos transdutores magnéticos baseados nas características de fase é cerca de 8 vezes superior à dos baseados no módulo, para fitas GMI com 15 cm. No entanto, esse valor aumenta para 80 vezes quando o comprimento das amostras passa para 1 cm. Dessa forma, percebe-se que a utilização de magnetômetros GMI, baseados nas características de fase, é a ideal quando se deseja miniaturizar os elementos sensores. Cabe ressaltar que os resultados, descritos nesse parágrafo, referem-se às seções do capítulo 6 anteriores a seção 6.4, ou seja, não utilizam a configuração eletrônica que possibilita a amplificação da sensibilidade de fase, introduzida a partir da seção 6.4. Dessa forma, esses resultados são particularmente interessantes, visto que, mesmo sem a utilização dos recursos de hardware que permitem aumentar a sensibilidade de fase das fitas GMI, os transdutores baseados nesta já apresentam desempenho superior aos daqueles baseados no módulo.

Por sua vez, a seção 6.3 introduz uma quebra na sequência de desenvolvimento do transdutor magnético e apresenta um transdutor de pressão, também desenvolvido como fruto dessa dissertação. O mesmo utiliza-se de um magnetômetro GMI, baseado nas características de fase, como elemento intermediário do processo de transdução de pressão em tensão. Os resultados obtidos foram bastante satisfatórios [38], indicando um aumento de 50 vezes na sensibilidade, quando comparada a um protótipo anteriormente desenvolvido pela equipe do Laboratório de Biometrologia em 2006 [20,22,94]. Em outras palavras a sensibilidade aumentou de 1 mV/Pa para 50 mV/Pa [38].

Retomando-se a sequência de desenvolvimento do magnetômetro, a partir da seção 6.4, desenvolveram-se circuitos eletrônicos capazes de amplificar a sensibilidade de fase dos elementos sensores GMI, ao trazer suas componentes resistivas e indutivas para próximo de zero. Estes circuitos se mostraram, experimentalmente, capazes de amplificar em cerca de 2 ordens de grandeza (100

vezes) a sensibilidade de fase (“graus por oersted”) dos sensores GMI. Em teoria, os resultados poderiam ser ainda melhores, porém existem dificuldades práticas, a serem superadas, para a realização de ajustes que possibilitem ganhos maiores.

A Tabela 13 compara as sensibilidades de alguns dos diversos transdutores magnéticos GMI desenvolvidos, frutos das pesquisas realizadas e apresentadas nessa dissertação, sendo que o transdutor denominado “GMI M 2009” é baseado no módulo da impedância, enquanto que o “GMI SASF 2009” (sem amplificação da sensibilidade de fase) e o “GMI CASF 2009” (com amplificação da sensibilidade de fase) são baseados na fase. Por sua vez, o transdutor, baseado nas características de módulo, denominado “GMI M 2005”, foi desenvolvido em 2005 no Laboratório de Biometrologia (PUC-Rio) [16,19,21,23]. Em todos os casos, considera-se que na saída há um amplificador de instrumentação com ganho 1000.

Tabela 13 – Comparação da sensibilidade dos magnetômetros GMI.

Magnetômetros GMI	Módulo		Fase	
	<i>M 2005</i>	<i>M 2009</i>	<i>SASF 2009</i>	<i>CASF 2009</i>
Sensibilidade	6 V/Oe	108 V/Oe	240 V/Oe	25000 V/Oe
Comprimento da(s) Fita(s) GMI	15 cm	15 cm	3 cm	3 cm
Quantidade de Fitas GMI	2	2	1	1

A Tabela 13 permite observar claramente a evolução das sensibilidades dos protótipos, da esquerda para a direita. Nota-se que a versão do magnetômetro GMI desenvolvida nessa dissertação (*M 2009* - 108 V/Oe) é cerca de 18 vezes mais sensível do que a do protótipo anterior (*M 2005* - 6 V/Oe). No entanto, o mais interessante é que as sensibilidades dos magnetômetros baseados nas características de fase (*SASF 2009* e *CASF 2009*) do efeito GMI são superiores às dos protótipos baseados no módulo (*M 2005* e *M 2009*), apesar dos transdutores magnéticos GMI, baseados no módulo, utilizarem 2 fitas GMI de 15 cm cada, enquanto que os baseados na fase utilizam apenas 1 fita GMI de 3 cm. Também, é perceptível que o circuito amplificador da sensibilidade de fase, introduzido na versão *CASF 2009*, permitiu elevar em 100 vezes a sensibilidade do transdutor

magnético quando comparada à versão *SASF 2009*, a qual não possui o circuito amplificador da sensibilidade de fase.

Usualmente, aumentando-se a sensibilidade consegue-se melhorar a resolução. No entanto, para transdutores muito sensíveis, o ruído ambiental (da ordem de nanotesla, para baixas frequências) passa a limitar a resolução. Uma das alternativas para se contornar esse problema é a implementação de configurações gradiométricas, objetivando reduzir os níveis do ruído de leitura. Dessa forma, no capítulo 7, foi idealizada uma configuração gradiométrica, para um circuito eletrônico de leitura de fase (seção 7.1.1), cujo bom funcionamento está atrelado à homogeneidade das fitas GMI.

Tendo em vista a heterogeneidade dos elementos sensores, discutida no capítulo 5, buscou-se uma forma de contornar esse problema, homogeneizando as características de fase via hardware. O desenvolvimento teórico e as simulações computacionais, exibidos na seção 7.1.2, dão indícios do funcionamento do método proposto de forma satisfatória.

Também, foi idealizada uma configuração dos elementos sensores (fitas GMI) de forma a permitir uma leitura triaxial das componentes do campo magnético (seção 7.2), sendo que o campo magnético de polarização pode ser estabelecido por um único enrolamento senoidal – ajustando seu ângulo de inclinação em relação aos elementos sensores [37].

Os resultados obtidos experimentalmente pela versão simplificada do protótipo montado (seção 6.5) indicaram, sem utilização de configurações gradiométricas e sem auxílio de câmaras magneticamente blindadas, um ruído inferior a  $10 \text{ nT.Hz}^{-1/2}$  (em 4 Hz) e da ordem de  $200 \text{ pT.Hz}^{-1/2}$ , para frequências superiores a 75 Hz. O espectro de ruído é, como esperado, típico de um ruído  $1/f$ , o qual é, em geral, dominante em transdutores magnéticos de baixas frequências. O espectro e a intensidade do ruído indicam que o mesmo é proveniente do ruído magnético ambiental. Dessa forma, para avaliar a real resolução do transdutor, as medições deveriam ser realizadas dentro de uma câmara blindada e/ou utilizando-se uma configuração gradiométrica. Apesar da montagem simplificada do transdutor magnético GMI, ainda, estar distante da configuração ideal proposta (seção 7.3), os resultados indicam um grande potencial no que concerne à sua utilização na medição do campo magnético cardíaco, cuja amplitude máxima situa-se em cerca de 500 pT.

### 8.1.3. Propriedade Intelectual – Prospecção Tecnológica

Materiais baseados nos efeitos da Magnetoresistência Gigante (GMR) e da Magnetoimpedância Gigante (GMI) são, na atualidade, aqueles com maior potencial para utilização como elementos sensores em transdutores magnéticos, especialmente em transdutores de alta resolução [13,17]. O efeito GMR foi descoberto em 1988, apesar de seu análogo de menor intensidade, efeito Magnetoresistivo (MR) ser conhecido há mais de 100 anos. Por sua vez, a descoberta do efeito GMI data de meados da década de 1990. Dessa forma, observa-se que estas tecnologias – GMR e GMI – são relativamente recentes e ainda estão em estágio de desenvolvimento, em especial o efeito GMI [13,17].

Fazendo-se uma busca no banco de dados (*Patent Scope*) da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO – *World Intellectual Property Organization*), o qual indexa as patentes cujos depósitos internacionais são feitos via PCT (*Patent Cooperation Treaty*), consegue-se verificar o estágio de desenvolvimento dessas tecnologias, bem como quais são os principais países atuantes no desenvolvimento das mesmas, quais as empresas interessadas e quais as principais aplicações. O *Patent Scope* indexa patentes com datas de publicação a partir de 1976, sendo que, atualmente, esse banco de dados possui mais de 1,6 milhões de patentes indexadas [194].

Uma busca pelo termo “*Magneto-resistance*” ou “*Magnetoresistance*”, o qual engloba tanto o GMR como outras variações do efeito magnetoresistivo (MR), retornou um total de 241 patentes, dentre as quais a data de publicação mais antiga é de 1984. A Fig. 121 exhibe o número de patentes depositadas por data de publicação e a Fig. 122 os países atuantes nesse campo de pesquisa.

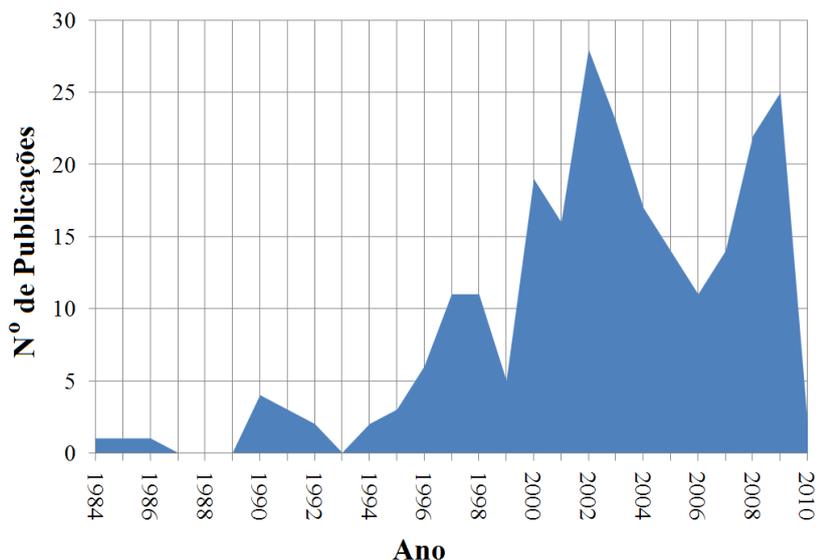


Figura 121 – Quantidade anual de patentes (PCT) publicadas sobre magnetoresistência.

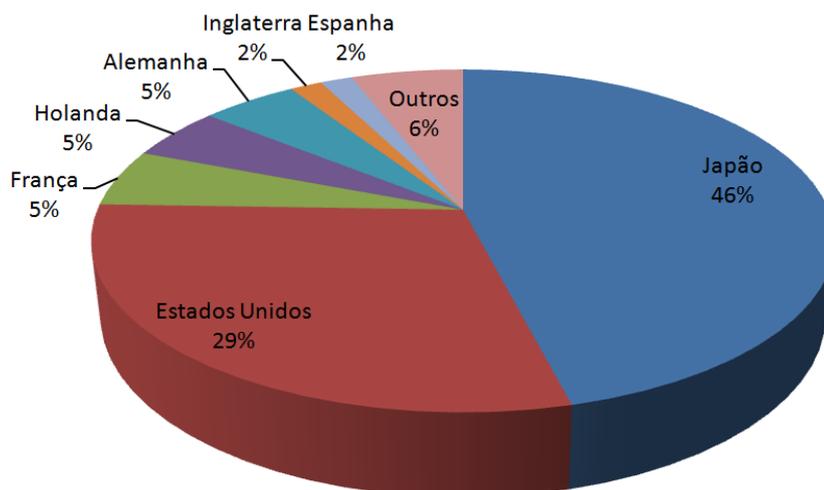


Figura 122 – Percentual de patentes (PCT) publicadas, sobre magnetoresistência, por país.

Na Fig. 122 o grupo “outros” inclui, por ordem decrescente da quantidade de patentes depositadas, Coreia do Sul, Suécia, Suíça, Itália, Índia e Irlanda. Ainda, os cinco principais depositantes são: “Fujitsu Limited” (16 patentes), “ALPS Electric Co., Ltd.” (13 patentes), “SONY Corporation” (12 patentes), “Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.” (11 patentes), “NEC Corporation” (9 patentes). Sendo que, também, fazem parte do grupo de depositantes empresas como: “PHILIPS”, “HITACHI”, “HONEYWELL”, “MOTOROLA”, “TOYOTA” e “SIMENS”, entre outras.

Uma busca pelo termo “*Magneto-impedance*” ou “*Magnetoimpedance*”, o qual engloba tanto o GMI como outras variações do efeito da magnetoimpedância (MI), retornou um total de 13 patentes, dentre as quais a data de publicação mais antiga é de 2000. A Fig. 123 permite visualizar o número de patentes depositadas por data de publicação e a Fig. 124 os países atuantes nesse campo de pesquisa.

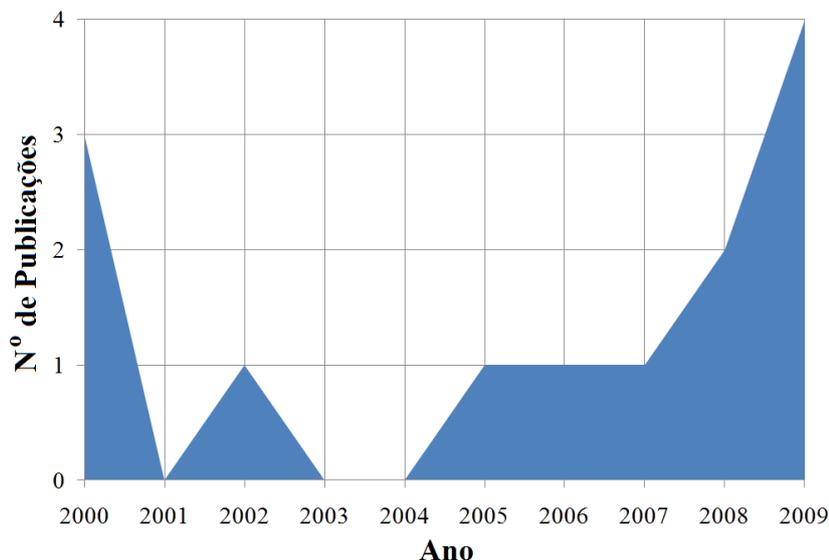


Figura 123 – Quantidade anual de patentes (PCT) publicadas sobre magnetoimpedância.

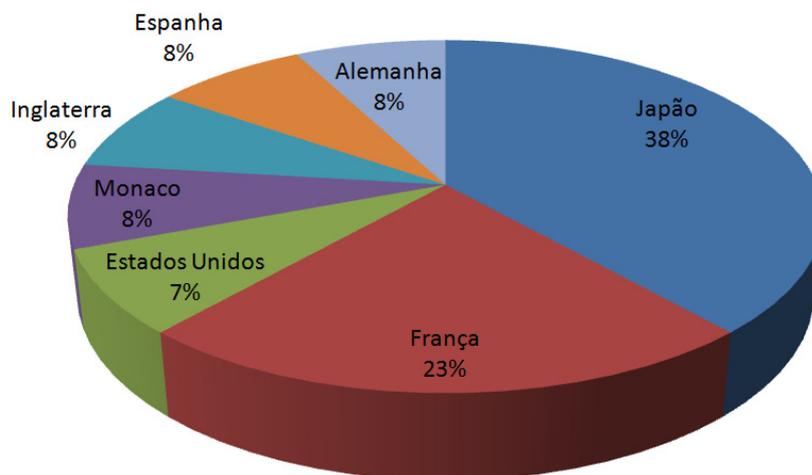


Figura 124 – Percentual de patentes (PCT) publicadas, sobre magnetoimpedância, por país.

O principal depositante é a “AICHI Steel Corporation” com 3 patentes, seguido pelo “Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)” com 2 patentes. Os demais possuem 1 patente cada, destacando-se: “SIMENS”, “CANON”, “EVOTEC TECHNOLOGIES”, entre outras.

Comparando-se as Figs. 121 e 123, percebe-se que a quantidade de patentes, indexadas pelo *Patent Scope*, associadas a magnetoresistência é muito superior as relacionadas a magnetoimpedância – 213 contra 13. Também, nota-se que as primeiras publicações de patentes associadas a efeitos magnetoreistivos são mais antigas do que aquelas envolvendo o efeito da magnetoimpedância – 1984 contra 2000. Estes dados indicam que a MR encontra-se num estágio de desenvolvimento tecnológico mais avançado do que a MI, ou seja, enquanto dispositivos contendo sensores MR já estão sendo comercializados, a grande maioria dos equipamentos utilizando sensores MI, ainda, encontram-se na fase de desenvolvimento de protótipos. Na realidade, esse fato estimula a realização de pesquisas com elementos GMI, devido a grandes possibilidades de se encontrem novas características, ainda não observadas por nenhum outro grupo de pesquisa.

Ainda, comparando as Figs. 122 e 124, observa-se que grande parte dos países que pesquisam elementos MR também estudam sensores MI, sendo que o Japão lidera o número de patentes em ambas as áreas (magnetoresistência e magnetoimpedância). Também, é perceptível que nenhum país da América Latina, incluindo o Brasil, possui depósitos de patentes, via PCT, associados a esses temas. Porém, em breve, será publicado um pedido brasileiro, o pedido de patente já depositado no PCT (**PCT/BR2010/000026**) relacionado ao transdutor magnético GMI desenvolvido e apresentado nessa dissertação [39,195].

## **8.2. Conclusões**

A utilização das características de fase do efeito GMI, ao invés das usuais características de módulo descritas na literatura, possibilitou o alcance de novos patamares de sensibilidade. Sendo que o magnetômetro GMI, baseado nas características de fase, desenvolvido nesta dissertação, indica que se podem obter ganhos superiores a 100 ao se comparar a sensibilidade de protótipos baseados na fase da impedância com os baseados no módulo.

Os resultados, obtidos nesta dissertação, permitem vislumbrar um futuro promissor, no que tange a utilização do magnetômetro GMI desenvolvido para a detecção de campos biomagnéticos, como p. ex. o campo magnético cardíaco. O transdutor desenvolvido apresenta elevada sensibilidade e baixa histerese, além de

possuir uma faixa de frequências de trabalho compatível com a demandada para a realização de medições biomagnéticas.

Espera-se que a implementação experimental da configuração gradiométrica, proposta nesta dissertação, já possibilite a utilização do transdutor magnético GMI na detecção do campo cardíaco, mesmo em ambientes desprovidos de blindagem magnética. Dessa forma, o mesmo se constituiria numa alternativa inócua e não-invasiva para a medição da atividade eletromagnética cardíaca, além de ser uma alternativa de baixo custo (fabricação, operação e manutenção), quando comparados aos sistemas de MCG (Magnetocardiografia) baseados em magnetômetros SQUID.

Em termos da utilização do transdutor magnético GMI como padrão metrológico de densidade de fluxo magnético, observa-se que a resolução do mesmo, no estágio atual, já o insere no grupo de magnetômetros utilizados para estimar a constante da bobina de transferência (mT/A) [57-58].

A busca realizada, no *Patent Scope* [194], por pedidos de patentes, relacionados ao efeito GMI permite concluir que esta ainda é uma tecnologia em estágio de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, o que aumenta a possibilidade de pesquisas resultarem na descoberta de novidades. Também, pôde-se constatar a ausência de depósitos de patentes internacionais provenientes do Brasil associados ao efeito GMI, situação que começa a se alterar em virtude do depósito feito pela PUC-Rio como consequência do trabalho desenvolvido e apresentado nessa dissertação [39,195].

### **8.3. Trabalhos Futuros**

Na seção 8.1.1, comentou-se sobre as dificuldades de aplicar uma otimização multivariável da sensibilidade das amostras GMI, em especial, devido à falta de um modelo suficientemente geral. No entanto, um método alternativo de otimização poderia ser empregado. O mesmo necessitaria da coleta de dados experimentais relativos às características de  $|Z|$  e  $\theta$  em função de  $H$ , para diversas combinações dos parâmetros que afetam a sensibilidade das amostras GMI (p. ex.: nível CC e frequência da corrente, comprimento das fitas e campo magnético de polarização). Utilizando esses pontos experimentais, se poderia aplicar um método

de ajuste capaz de fornecer expressões analíticas de  $|Z|$  e  $\theta$  em função de  $H$  [36]. Logo, na sequência, é possível determinar as sensibilidades:  $d|Z|/dH$  e  $d\theta/dH$ .

Dessa forma, pode-se utilizar uma rede neural para modelar o comportamento da sensibilidade (saída da rede) em função dos parâmetros de interesse (entradas da rede). Sendo que, a Fig. 125 retrata essa abordagem.

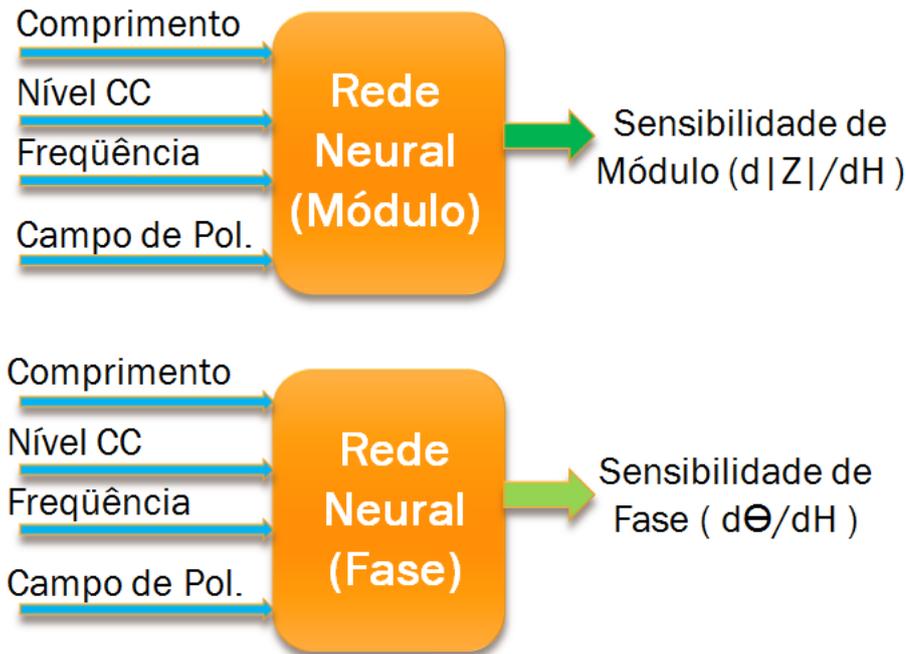


Figura 125 – Representação das Redes Neurais (módulo e fase) utilizadas para estimar as sensibilidades dos elementos sensores GMI.

Assim, podem-se obter as sensibilidades relativas a condicionamentos não analisados experimentalmente. Consequentemente, tendo em vista que o objetivo desse procedimento é verificar a combinação dos parâmetros de entrada da rede que maximizam sua saída (sensibilidade), pode-se aplicar um algoritmo de otimização capaz de fornecer essa informação – o qual pode ser implementado por um algoritmo genético ou uma abordagem mais convencional. Esse método será desenvolvido em trabalhos futuros, e espera-se que o mesmo possa guiar a busca experimental do ponto ótimo de operação.

Nos próximos anos, pretende-se atuar de forma conjunta com o Departamento de Física da Universidade Federal de Pernambuco UFPE, responsável pela fabricação das amostras GMI, objetivando o estudo de possíveis alterações no método de fabricação – visando a uma maior homogeneidade das

amostras – e a utilização de técnicas de recozimento (*annealing*) – buscando, entre outros fatores, elevar a sensibilidade das amostras.

Quanto à caracterização das amostras, em trabalhos futuros, serão analisadas a dependência das características das fitas GMI em relação à temperatura (análise da estabilidade térmica) e à largura das amostras. Por outro lado, a dependência em relação ao comprimento continuará a ser analisada, tendo em vista a possibilidade de miniaturização dos elementos sensores. Ainda, a composição das fitas e a distribuição dos domínios magnéticos serão analisadas, respectivamente, por análise de Raio-X e Microscopia de Força Magnética (MFM), objetivando-se analisar em detalhes aspectos referentes à homogeneidade das amostras e à influência de diferentes técnicas de soldagem sobre as fitas.

Verificou-se, como discutido ao longo da dissertação e ressaltado na seção 8.1.2, que as características de fase do efeito GMI apresentam melhores resultados do que as de módulo, em termos de sensibilidade. Dessa forma, idealizaram-se e desenvolveram-se experimentalmente circuitos eletrônicos capazes de amplificar a sensibilidade de fase das fitas GMI (seção 6.4 e seção 6.5). Mais especificamente, foram desenvolvidas duas versões do circuito amplificador da sensibilidade de fase, sendo que ambas utilizam-se de estruturas denominadas GIC's (*Generalized Immitance Converters*) (seção 6.4.1). Apesar da segunda versão (seção 6.4.3) apresentar significativas melhorias, em termos de linearidade e dos níveis de tensão no ponto de leitura, em relação à primeira versão (seção 6.4.2), ainda podem ser introduzidas melhorias nas estruturas dos GIC's, as quais serão cuidadosamente analisadas e, possivelmente, alteradas em trabalhos futuros.

Foi desenvolvida, por teoria e simulações computacionais (seção 7.1.2), uma técnica capaz de homogeneizar as características de fase de elementos sensores GMI heterogêneos, a qual deve ser experimentalmente verificada em trabalhos futuros. Também na seção 7.1 foram discutidas possíveis configurações gradiométricas capazes de reduzir os níveis de ruído, observados na saída do transdutor, as quais serão futuramente testadas experimentalmente.

Em relação ao circuito eletrônico do transdutor, pretende-se montá-lo de acordo com a configuração apresentada e discutida na seção 7.3. Pois, dessa forma será possível verificar experimentalmente a técnica de homogeneização dos elementos sensores GMI e a leitura gradiométrica. Espera-se que estas, em adição: à utilização de componentes eletrônicos (ativos e passivos) com características

mais próximas das ideais, à montagem do circuito em uma placa de circuito impresso e com as variações propostas (seção 7.3) na configuração do circuito simplificado apresentado na seção 6.5; possam proporcionar melhorias na resolução obtida.

Deve-se avaliar a viabilidade da implementação de um sistema de leitura triaxial, tomando como base o proposto na seção 7.2; bem como, medir a resolução do transdutor GMI com o mesmo inserido em uma câmara magnéticamente blindada, de forma a constatar a hipótese de que o limitador da resolução do protótipo montado (seção 6.5) é o ruído magnético ambiental.

O circuito proposto na seção 7.3 opera em malha aberta. Objetivando a redução da parcela do ruído proveniente de fontes de interferência magnética e a imunidade do transdutor a campos uniformes (p. ex. campo terrestre), serão, futuramente, implementadas malhas de realimentação.

Por sua vez, a utilização de concentradores de fluxo magnético circundando os elementos sensores GMI será analisada, tendo em vista a amplificação da densidade de fluxo magnético e, conseqüentemente, da sensibilidade [196]. Os concentradores de fluxo, também, podem ser utilizados de forma a modular o campo magnético, ao se fazer com que os mesmos oscilem mecanicamente a uma dada frequência. Sabendo-se o espectro típico da característica do ruído  $1/f$ , observa-se que este é elevado em baixas frequências e diminui com o aumento da frequência, tendendo a assumir valores pequenos e quase constantes, usualmente, para frequências acima de 10 kHz. Logo, ao modularmos o campo externo com uma frequência adequada faz-se com que o transdutor opere numa região de elevada resolução. Esta técnica foi desenvolvida por outro grupo de pesquisa, utilizando MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*) e elementos sensores magnetoresistivos, a qual indica a possibilidade de reduções, do ruído, da ordem de 100 vezes [67,197]. Futuramente, se tentará utilizar uma abordagem similar.

Certamente, o pós-processamento ou, dependendo da aplicação, processamento em tempo real dos dados adquiridos da saída do transdutor, também, é requisito fundamental para que se possa observar de forma apropriada os sinais obtidos. Assim, as técnicas de filtragem digital serão cuidadosamente investigadas.

Finalizando as discussões dos possíveis trabalhos futuros, atualmente vislumbrados, apresenta-se a Fig. 126. A mesma representa, através de um

fluxograma, algumas das futuras áreas de investigação pertinentes a cada etapa da cadeia de desenvolvimento dos transdutores GMI analisados – incluindo-se, o transdutor magnético e o transdutor de pressão. Ainda, são apresentadas algumas das possíveis aplicações dos transdutores. Destaca-se que para o desenvolvimento e aplicação da pesquisa proposta faz-se necessário um conhecimento multidisciplinar, ou mais apropriadamente transdisciplinar, envolvendo, ou permeando, Física, Química, Metrologia, Engenharia Elétrica (eletrônica), Engenharia dos Materiais, Engenharia de Computação, Engenharia Mecânica, Engenharia Biomédica, Medicina, entre outras.

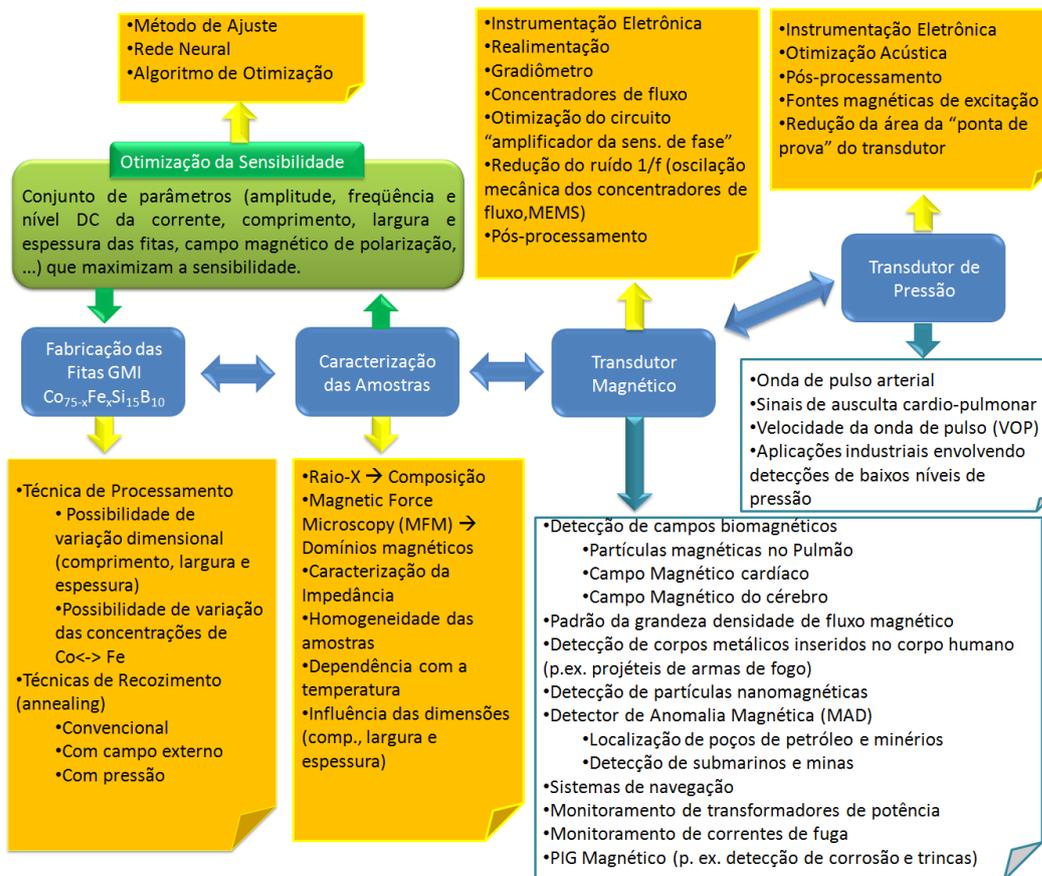


Figura 126 – Fluxograma da cadeia de desenvolvimento dos transdutores GMI, com proposição de possíveis trabalhos futuros e aplicações.