

Também foram feitos espectros de difração de raios-X a alto ângulo nesses filmes usados para calcular a taxa de deposição. Na Figura 3-10 tem-se um espectro de XRD para um filme de Permalloy com 400Å de espessura, mostrando que os planos de Py desse filme cresceram, principalmente, com a orientação (111) que foi o pico encontrado com maior intensidade.

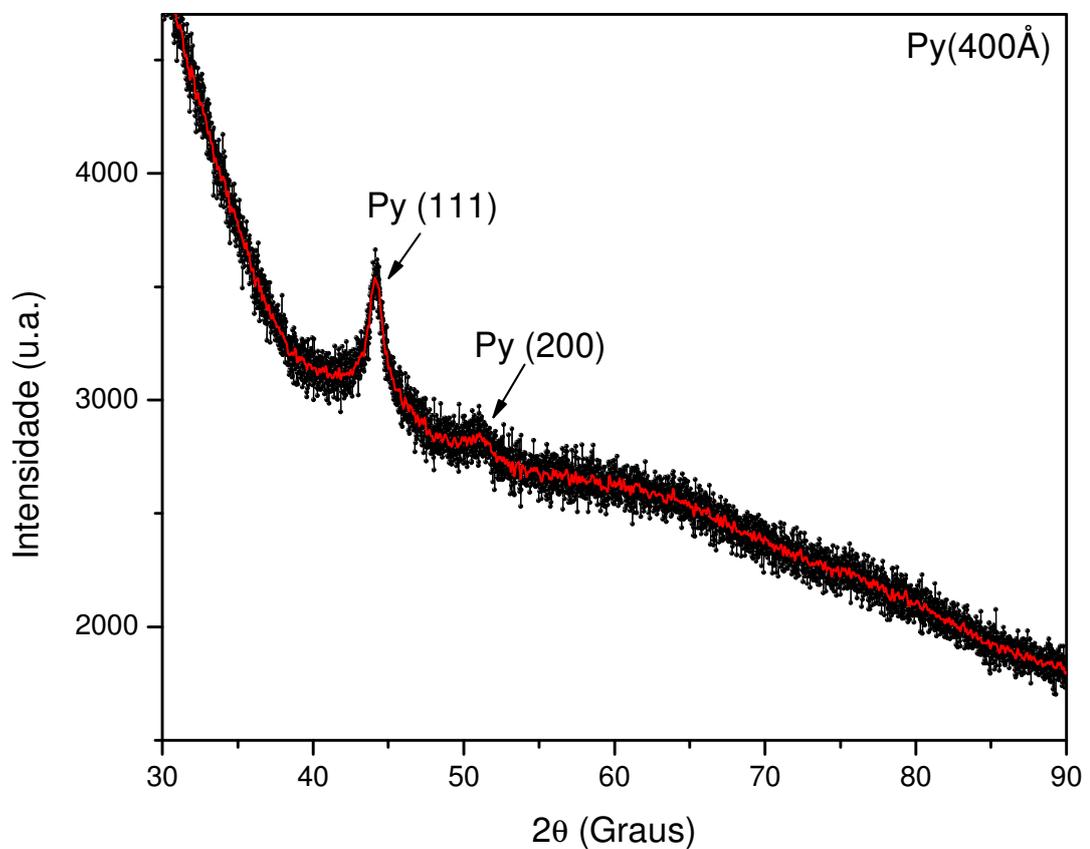


Figura 3-10. Espectro de XRD de um filme de Permalloy com 400Å.

Na Figura 3-11 um espectro de XRD para um filme de prata de 400Å é mostrado. O pico de maior intensidade mostra que os planos de prata cresceram, principalmente, orientados na direção (111).

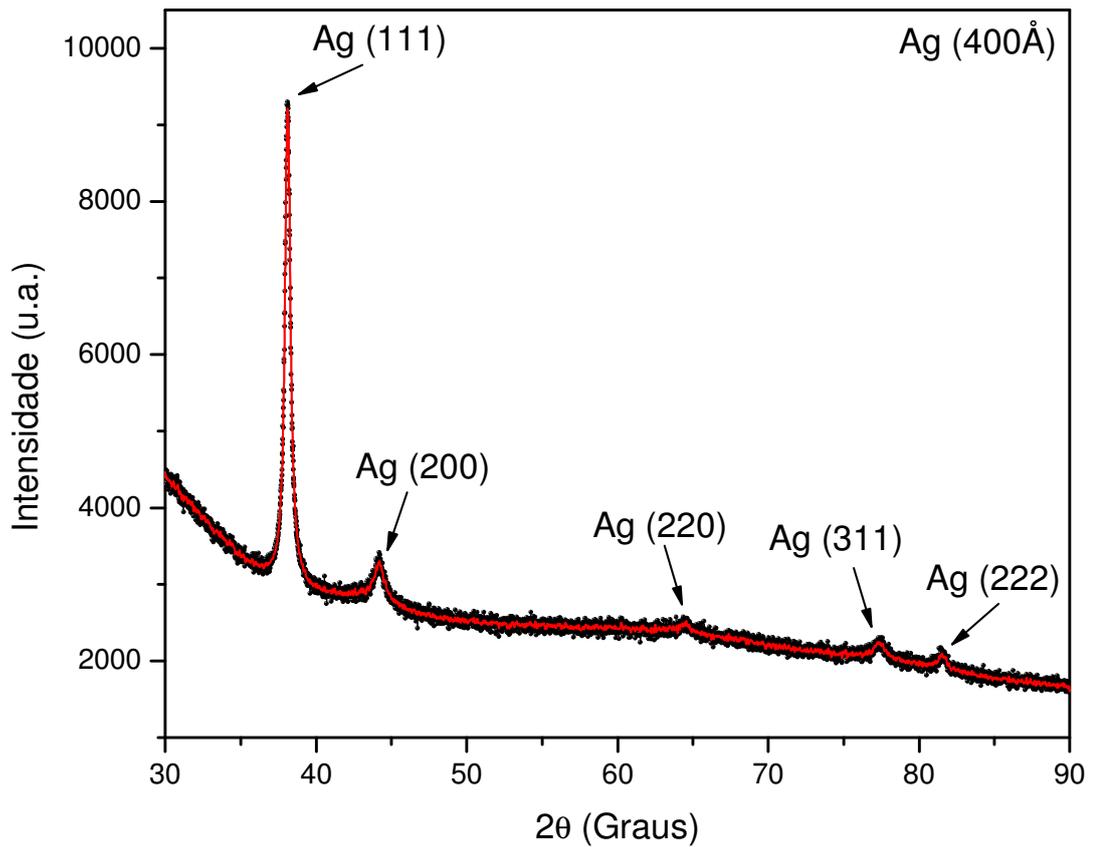


Figura 3-11. Espectro de XRD de um filme de Prata com 400Å.

Na Figura 3-12 um espectro de XRD para um filme de cobre de 400Å é mostrado. O pico de maior intensidade também mostra que os planos de cobre cresceram, principalmente, orientados na direção (111).

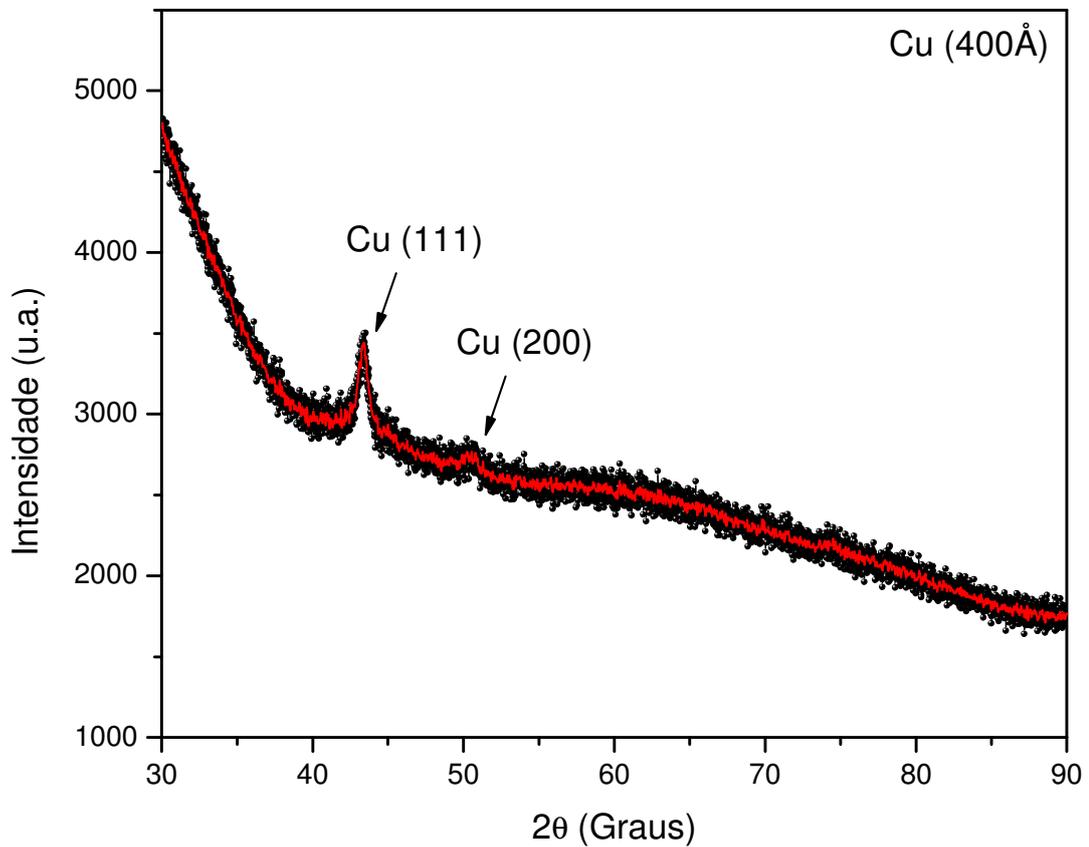


Figura 3-12. Espectro de XRD de um filme de Cobre com 400Å.

Na seção a seguir, serão mostradas com mais detalhes as séries de amostras que foram crescidas e caracterizadas para esse trabalho.

3.3. Amostras estudadas

Dentre as várias configurações de multicamadas fabricadas, foram estudadas mais a fundo as de permalloy (Py= $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$) e prata (Py/Ag) e as de permalloy e cobre (Py/Cu), pois multicamadas desses materiais já haviam apresentado bons resultados em termos de magnetoimpedância [1] e, até mesmo, aplicados comercialmente como dispositivos sensores de campos magnéticos.

Para estudar, entender e controlar os mecanismos das dinâmicas da magnetização e da impedância dessas amostras, alguns parâmetros foram variados, tais como: espessura das camadas e o número de bicamadas, tanto de permalloy quanto de prata e de cobre. Uma descrição mais detalhada das séries de amostras estudadas está na Tabela 3-2.

Amostras – filmes em multicamadas			
Py / Ag		Py / Cu	
Espessuras	nº de bicamadas	Espessuras	nº de bicamadas
(100Å) / (7Å)	15, 50 e 100	(100Å) / (25Å)	15, 30, 50, 70 e 100
(100Å) / (25Å)	15, 30, 50, 70 e 100		
(100Å) / (100Å)	15 e 100		
(200Å) / (14Å)	15, 50 e 100		
(200Å) / (50Å)	15 e 100		
(200Å) / (200Å)	15 e 100		

Tabela 3-2. Relação das espessuras e número de bicamadas das amostras estudadas.

A Figura 3-13 mostra um esquema simplificado do crescimento dos filmes por “magnetron sputtering”, onde podemos ver a formação da estrutura de multicamadas.

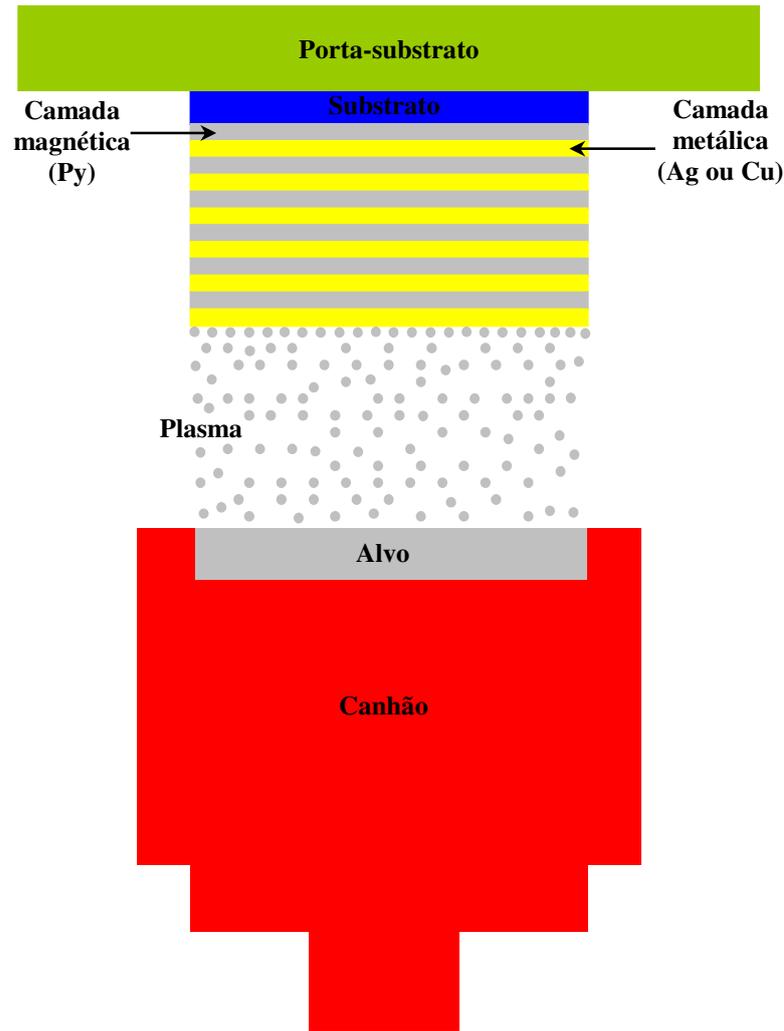


Figura 3-13. Esquema simplificado do crescimento das multicamadas referentes ao nosso estudo.

As multicamadas foram crescidas sobre o substrato de vidro na seguinte ordem: a primeira camada magnética (Py), a segunda metálica (Ag ou Cu), a terceira magnética (Py), a quarta metálica (Ag ou Cu), e assim sucessivamente até o número de bicamadas desejado.

Utilizamos substratos com as dimensões de $24 \times 50 \times 0,15 \text{ mm}^3$ que, posteriormente, foram cortados em amostras de $3,5 \times 10,5 \text{ mm}^2$ em duas direções preferenciais em relação à direção de movimento do substrato sobre o canhão: 1) na direção longitudinal e 2) na direção transversal (veja a Figura 3-14). Todas as amostras foram medidas como feitas, sem nenhum tratamento térmico.

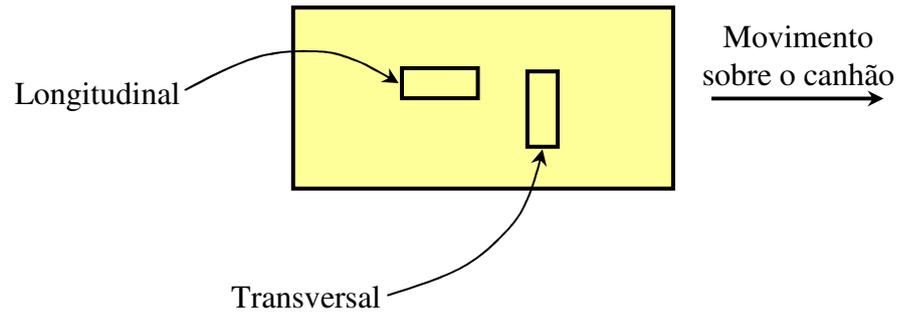


Figura 3-14. Diagrama dos cortes das amostras para as medidas de magnetização e magnetoimpedância.

3.4. *Campo magnético nos canhões*

Para aumentar a eficiência dos canhões eles são equipados com vários ímãs permanentes ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$) que aceleram os íons de gás contra o alvo. Isso faz com que as partículas arrancadas do alvo sejam em maior número, ou seja, é gerado um aumento significativo na taxa de deposição. Esses ímãs foram fornecidos pela empresa CIBAS, sob as especificações do modelo RN35UH. Os canhões possuem muitos desses ímãs permanentes e, dependendo da configuração desses ímãs, tem-se certa configuração para as linhas de indução magnética ao redor dos canhões. No caso de amostras magnéticas, como é o caso deste trabalho, ocorre uma indução de anisotropias magnéticas nas amostras, ou seja, o processo de fabricação gera direções preferenciais para a magnetização.

O efeito desse campo magnético gerado pelos ímãs dos canhões na amostra pode ser reduzido com o aumento na distância entre o alvo e o substrato, porém, faz com que a taxa de deposição caia significativamente. Dependendo do tipo de amostras que se quer obter, pode-se mudar a configuração dos ímãs, otimizando os resultados.

Em nossas amostras usamos a configuração chamada de “desbalanceada” em ambos os canhões. Essa configuração está mostrada na Figura 3-15. Todos os ímãs no círculo ao redor do centro do canhão estão na mesma direção e sentido, ou seja, ou o pólo norte está para cima ou o pólo sul. O ímã do centro do canhão está colocado na mesma direção, porém em sentido contrário, a fim de que as linhas de indução magnética que “saem” dos ímãs mais externos “entrem” no ímã central, ou vice-versa, dependendo de qual pólo está para cima.

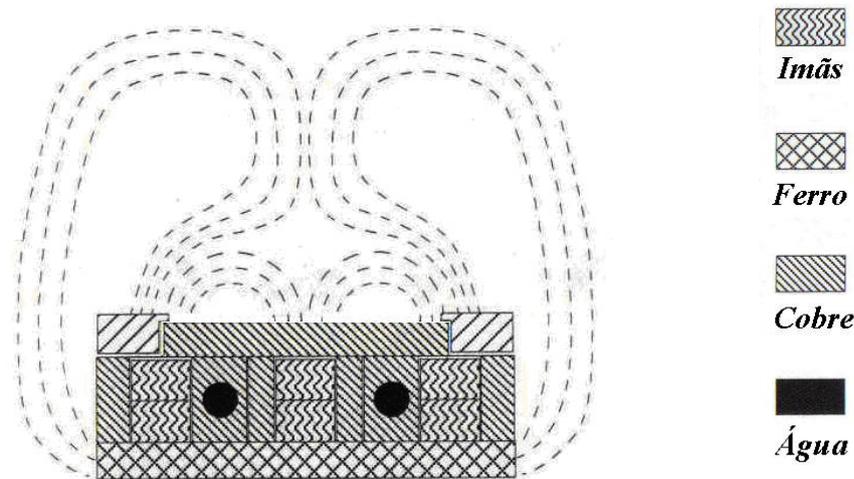


Figura 3-15. Esquema das linhas de campo ao redor dos canhões usados no crescimento de nossas amostras.

Com a configuração “desbalanceada” e com o substrato a 5cm de distância do canhão houve uma indução de anisotropia em nossas amostras que será comprovada na seção de medidas de magnetização. Após crescer mais de 100 amostras com materiais magnéticos e com os canhões nessa configuração, notamos que a anisotropia induzida é perpendicular ao eixo da direção do movimento do substrato sobre os canhões, porém tem intensidade diferente para as composições e espaçadores não magnéticos.

3.5. Configuração do sistema de medidas de magnetização

As medidas de magnetização em nossas amostras foram feitas em um sistema de medidas que possui: um magnetômetro de amostra vibrante (VSM); uma bobina de Helmholtz para a aplicação do campo magnético externo; uma fonte de corrente bipolar KEPCO de $\pm 20A$ para a alimentação da bobina; um amplificador de baixo ruído SR830 que controla a fonte de corrente, o “drive” do magnetômetro e, ainda, faz a leitura do sinal de tensão elétrica induzida nas bobinas sensoras próximas da amostra; e um microcomputador com um programa em linguagem Basic para o controle total do experimento. Os dois primeiros e o último dos equipamentos, citados anteriormente, foram desenvolvidos no LMMM – UFSM.

Na Figura 3-16, é mostrado um diagrama de blocos e na Figura 3-17 é mostrado uma foto, ambas de um dos sistemas de medidas de magnetização do LMMM – UFSM.

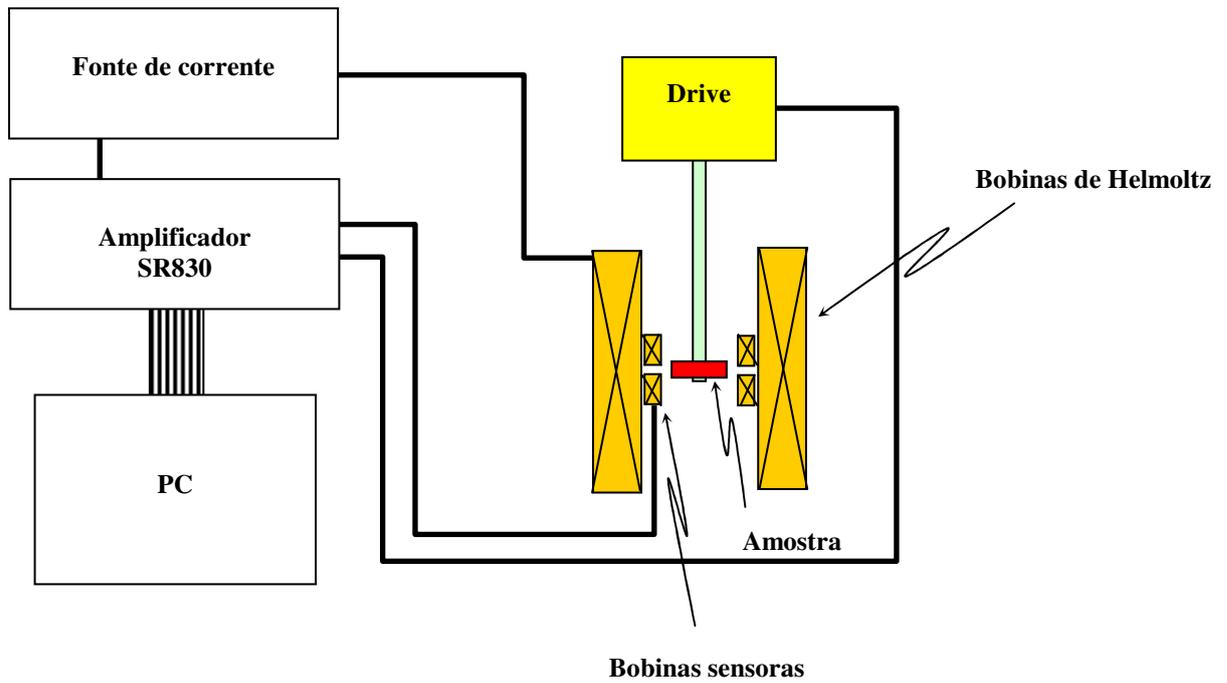


Figura 3-16. Diagrama de blocos do sistema de medidas de magnetização do LMMM – UFSM.

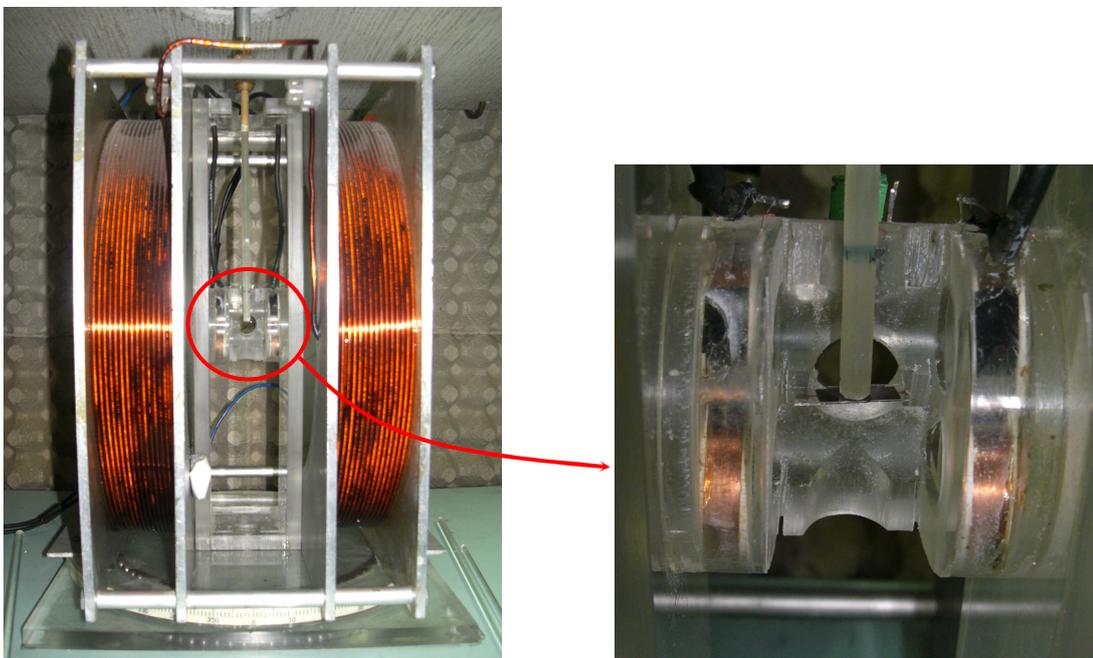


Figura 3-17. Foto de um dos sistemas de medidas de magnetização do LMMM – UFSM e em destaque uma amostra na forma de filme presa na haste as quais estão próximas as bobinas sensoras.

3.6. Configuração do sistema de medidas de *MI*

O sistema para as medidas de *MI* foi desenvolvido, em parte, no LMMM – UFSM. Quando fazemos experimentos de *MI* em frequências baixas, não temos muitos problemas com a configuração do sistema de medidas, pois trata-se de uma medida relativamente simples. Mas, quando começamos a fazer experimentos com frequências cada vez maiores, precisamos tomar vários cuidados com relação ao nosso sistema, tais como, o “casamento” de impedâncias de toda a linha de transmissão, a geometria da linha e a calibração e definição do chamado “plano de referência”, ou seja, a partir desse plano é que a amostra estará e será analisada. No caso das nossas amostras, consideradas como uma “microstrip”, o instrumento (analisador de impedância) mede tensão e corrente elétricas, isto é, todo o sinal transmitido pela amostra e por toda a linha, após ter recebido a onda com uma frequência ω , é analisado pelo instrumento. Após a calibração do analisador com a definição do plano de referência, o instrumento faz os cálculos e desconta as contribuições vindas dos elementos que estão antes desse plano, ou seja, as contribuições da linha e do porta-amostras. Assim, o sinal adquirido pelo programa em HPVee é oriundo apenas da amostra.

Para fazer essas medidas em filmes desenvolvemos uma cavidade de microondas do tipo “strip line” que serve como porta-amostras. Na Figura 3-18 ela é mostrada em mais detalhes.



Figura 3-18. Cavidade de microondas do tipo “strip line” usada como porta-amostras nos experimentos de *MI*.

A amostra é colada com tinta prata na cavidade e após a evaporação do solvente da tinta podemos colocá-la no kit de teste de impedância, que faz parte do sistema juntamente com o analisador de impedância que trabalha na faixa de frequência de 100kHz a 1.8GHz. Esse kit de teste serve para fazermos a “calibração” do sistema até o conector (porta) onde irá a cavidade. Além desse ponto haverá uma extensão da porta, ou seja, uma parte da cavidade que também vai ter que ser compensada nos cálculos. Assim, o que chamamos de plano de referência é exatamente o plano onde estará a amostra. Na Figura 3-19, está mostrado um diagrama de blocos do sistema de medidas usado nesse trabalho.

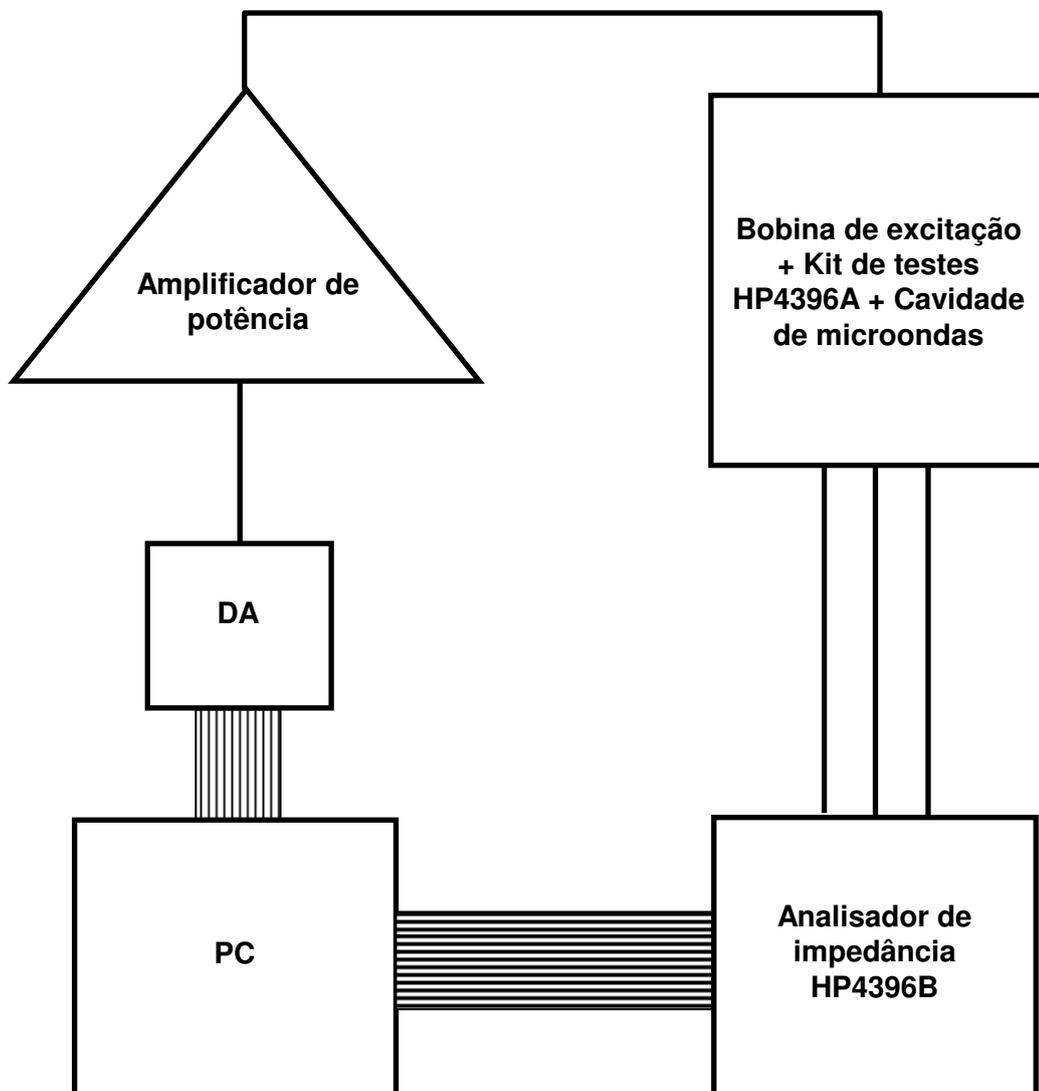


Figura 3-19. Diagrama de blocos do sistema de medidas de *MI* usado nesse trabalho.