

# Produção e caracterização de filmes finos na forma de bicamadas NiFe/FeMn que apresentam o fenômeno de exchange bias

Deomar Santos da Silva Junior<sup>1</sup> e Antonio Marcos Helgueira de Andrade<sup>2</sup>  
1- Estudante de Engenharia Física; e 2- Professor do Instituto de Física

## RESUMO

Neste trabalho foram fabricados filmes finos na forma de bicamadas de materiais ferro e antiferromagnéticos (FM/AF) para estudar o fenômeno de *Exchange Bias* [1] (viés de troca ou polarização por intercâmbio – fenômeno que tem como principal característica o deslocamento em campo da curva de magnetização) na interface e sua dependência com a espessura da camada de material ferromagnético. Os filmes finos foram crescidos na forma de bicamadas de Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>/FeMn com campo magnético aplicado *in situ* usando a técnica de desbastamento iônico com canhões magnéticos (*magnetron sputtering*). As amostras foram caracterizadas estruturalmente por difração de raios-x (XRD) e caracterizadas magneticamente por magnetometria de amostra vibrante (VSM). O fenômeno de *Exchange Bias* foi observado em todas as amostras como feitas, ou seja, nenhum tratamento posterior foi necessário.

## INTRODUÇÃO

Nas áreas da física e da ciência dos materiais há um grande interesse no estudo do fenômeno de *Exchange Bias* devido ao grande desafio que é formular uma teoria completa que descreva bem o comportamento do fenômeno em função das mudanças de seus parâmetros. Os materiais que apresentam o fenômeno possuem um alto potencial de aplicação tecnológica, entre as quais estão sensores de campo magnético e dispositivos baseados em magnetorresistência gigante (GMR) tais como: cabeçotes de leitura/gravação e memórias magnéticas de acesso aleatório (MRAM) [2].

Portanto, é essencial que entendamos e saibamos controlar os mecanismos responsáveis pelo fenômeno. Para tanto, as amostras foram produzidas com o intuito de estudar a dependência do fenômeno de *Exchange Bias* em função das espessuras das camadas ferromagnéticas de NiFe. Conhecer a estrutura cristalina dos materiais e controlá-las, no crescimento das camadas, é de crucial importância para obtermos amostras que apresentem o efeito. As estruturas cristalinas das amostras foram investigadas por difração de raios-x (XRD). Como as propriedades magnéticas são de suma importância nos dispositivos magnéticos, uma caracterização magnética foi feita por magnetometria de amostra vibrante (VSM).

## OBJETIVOS

Estudar as propriedades magnéticas, estruturais e morfológicas de nanoestruturas magnéticas do tipo bicamadas ferromagnético (FM) / antiferromagnético (AFM) que apresentam o fenômeno *Exchange Bias* utilizando diferentes técnicas de caracterização a fim de obter um melhor entendimento de suas propriedades e funcionamento dos mecanismos que dão origem ao fenômeno.

## METODOLOGIA

As amostras foram crescidas por desbastamento iônico com canhões magnéticos (*magnetron sputtering*) com campo magnético de 2 kOe aplicado no plano da amostra durante a deposição (*in situ*). Essas amostras foram crescidas na forma de filmes finos sobre substratos de Silício (100) com óxido nativo na seguinte configuração (Figura 1): Ta(15 nm)/NiFe(X)/FeMn(15 nm)/Ta(15 nm), onde a espessura X da camada ferromagnética de NiFe foi variada (X = 5, 10, 15 e 20 nm). Para tanto, foram produzidas amostras de Ta, NiFe e FeMn, separadamente, para que as taxas de deposição fossem calibradas usando a técnica de refletometria de raios-x (XRR). Posteriormente as amostras foram caracterizadas estruturalmente por difração de raios-x (XRD) e caracterizadas magneticamente por magnetometria de amostra vibrante (VSM). As técnicas de deposição e caracterização utilizadas estão disponíveis no Laboratório de Magnetismo (LAM) e no Laboratório de Conformação Nanométrica (LCN) do Instituto de Física da UFRGS.

Este sistema de bicamadas é composto por um FM de alta permeabilidade magnética e um AFM estável a temperatura ambiente de modo que o acoplamento de *exchange* na interface do sistema acontece sem processos externos como, por exemplo, tratamentos térmicos com campo magnético aplicado. Isso só é possível porque uma anisotropia magnética foi induzida na camada ferromagnética com a aplicação do campo magnético externo durante a deposição, assim, uma direção preferencial de magnetização aparece na mesma direção do campo externo aplicado durante a deposição. Do ponto de vista teórico e experimental, foram comparados os deslocamentos em campo da curva de magnetização em função da espessura do FM com os deslocamentos propostos pelo modelo de funcionamento dos mecanismos adequados ao tipo de amostra [2].

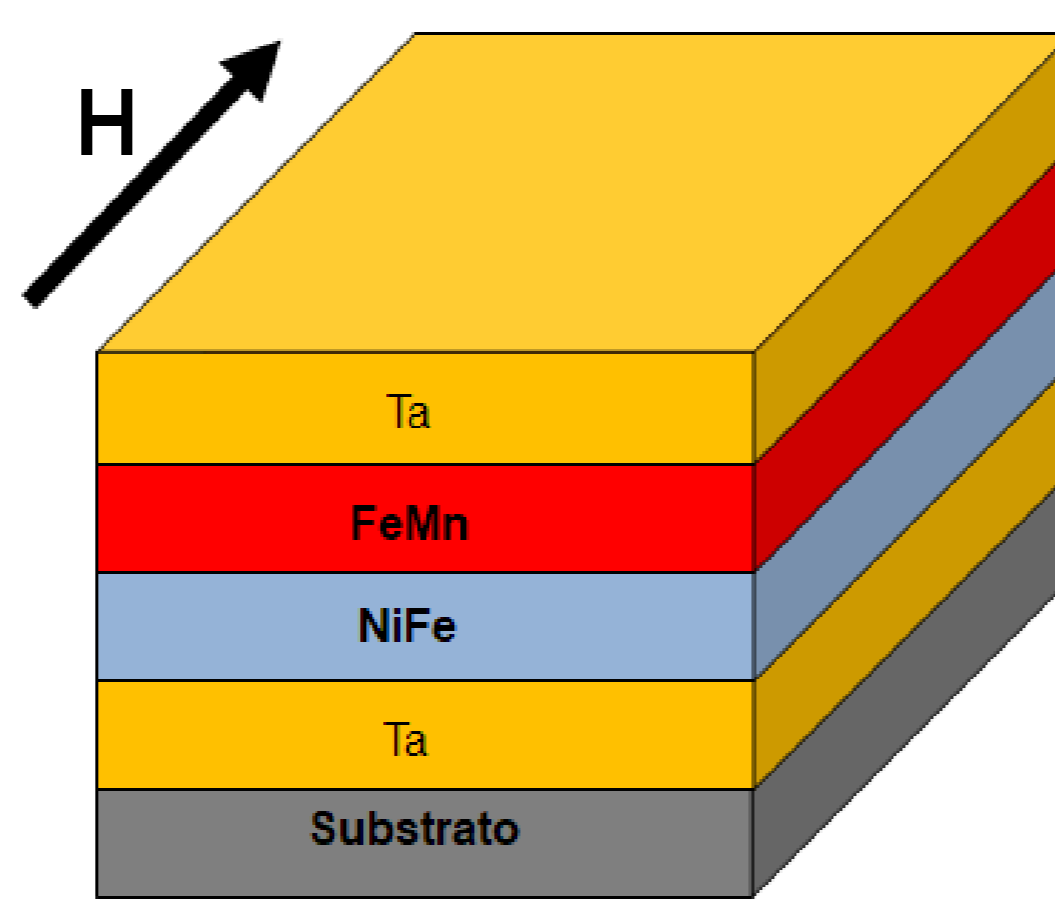


Figura 1. Desenho esquemático das amostras.

## RESULTADOS

As amostras apresentaram o fenômeno de *Exchange Bias* sem a necessidade de nenhum tratamento posterior, assim economizando processos que podem ser onerosos em tempo e/ou monetariamente. A caracterização estrutural mostra que as camadas de ferro (NiFe) cresceram preferencialmente na textura (111), assim, as camadas antiferromagnéticas (FeMn) também cresceram preferencialmente nesta mesma textura (111) (Figura 1).

Assim, o acoplamento FM/AF na interface é garantido [3]. A caracterização magnética mostra os deslocamentos em campo das curvas de magnetização em todas as amostras (Figuras 2, 3 e 4). Tanto os campos de *Exchange Bias* ( $H_{EB}$ ), quanto os campos coercivos ( $H_C$ ) diminuíram com o aumento das espessuras das camadas ferromagnéticas de NiFe ( $t_{FM}$ ), como mostrado na tabela 1.

$t_{FM}$ (nm)	$H_{EB}$ (Oe)	$H_C$ (Oe)
5	279	27
10	166	6
15	116	2
20	86	3

Tabela 1. Dependência dos campos de EB e coercivo com a espessura do ferromagneto

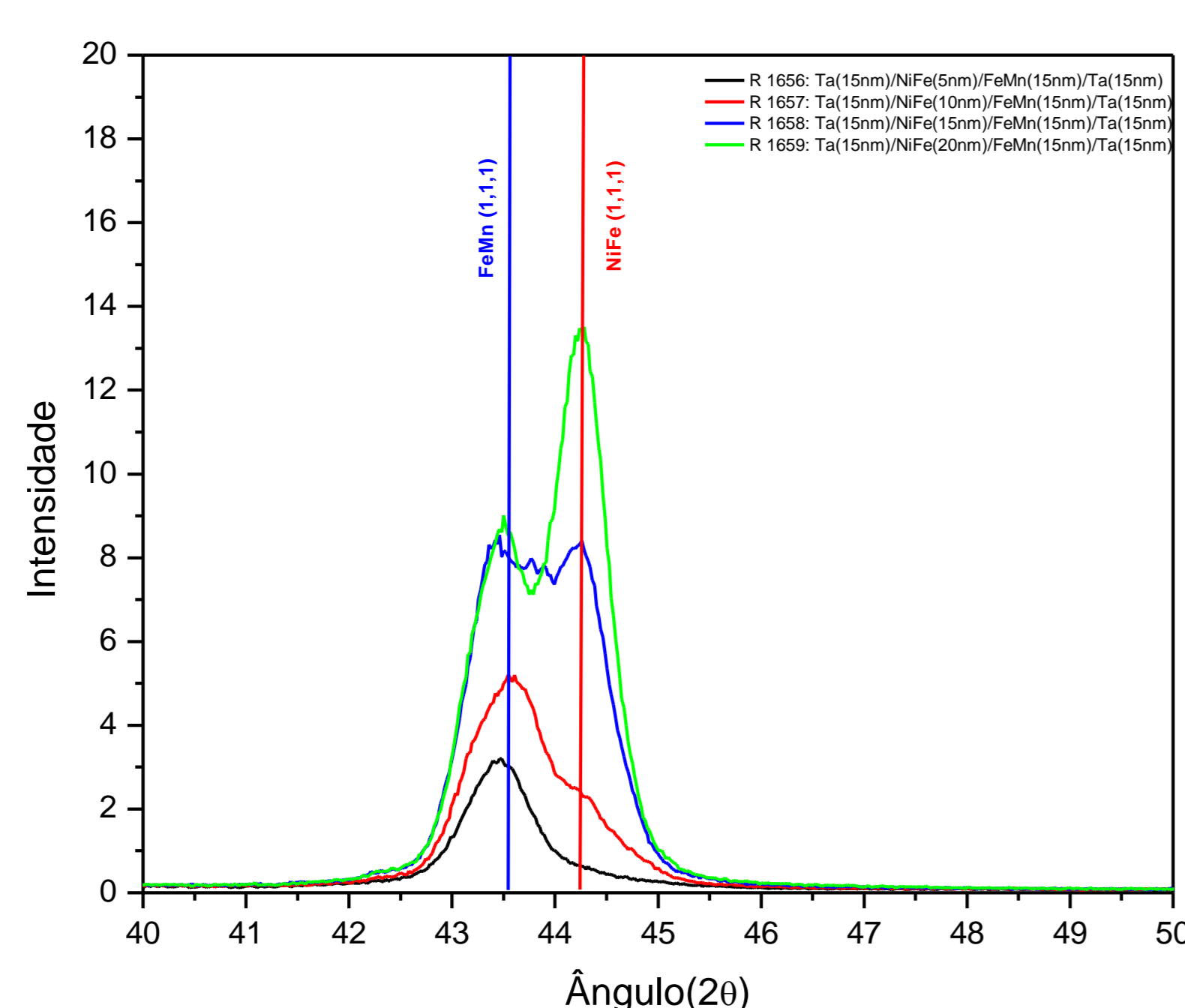


Figura 1. Análise estrutural resultante do difratômetro de raios-x

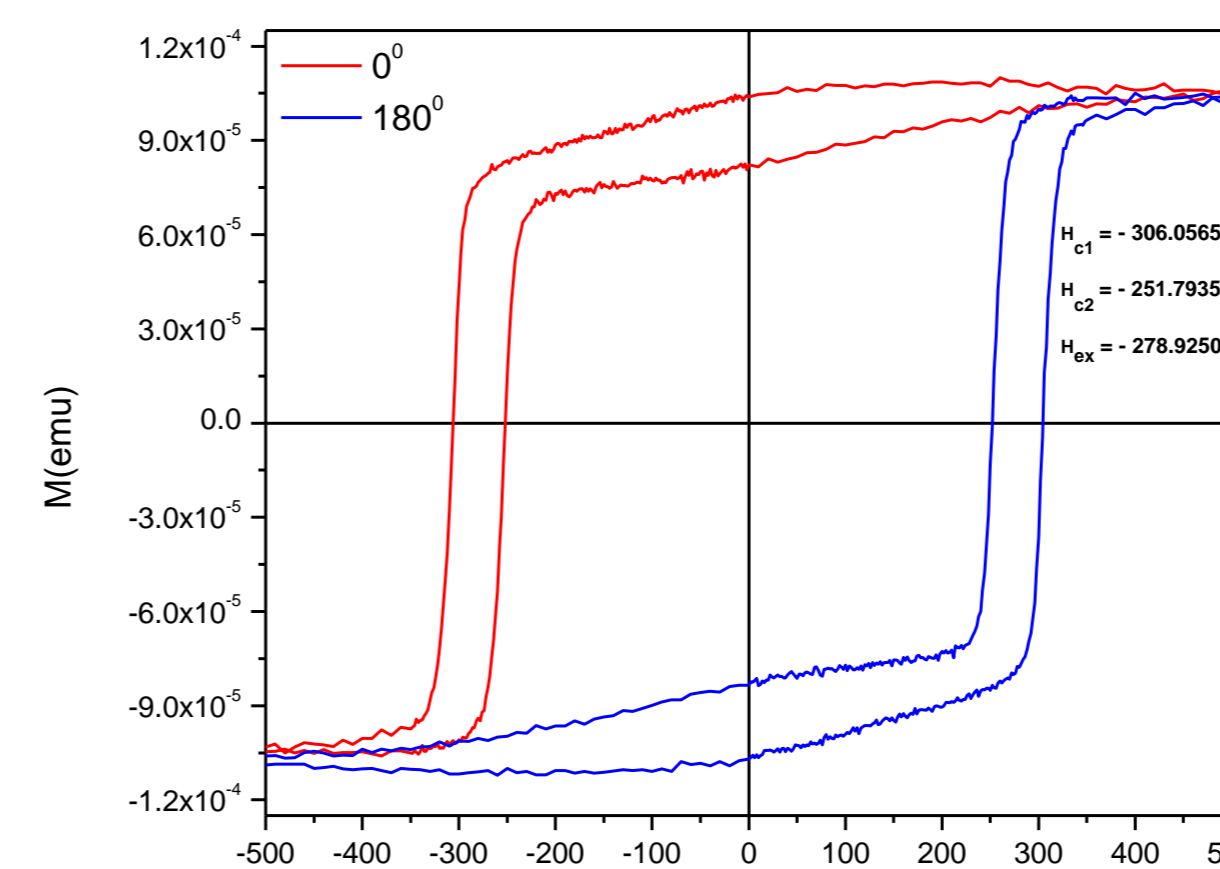


Figura 2. Amostra R1656: Ta(15nm)/NiFe(5nm)/FeMn(15nm)/Ta(15nm)

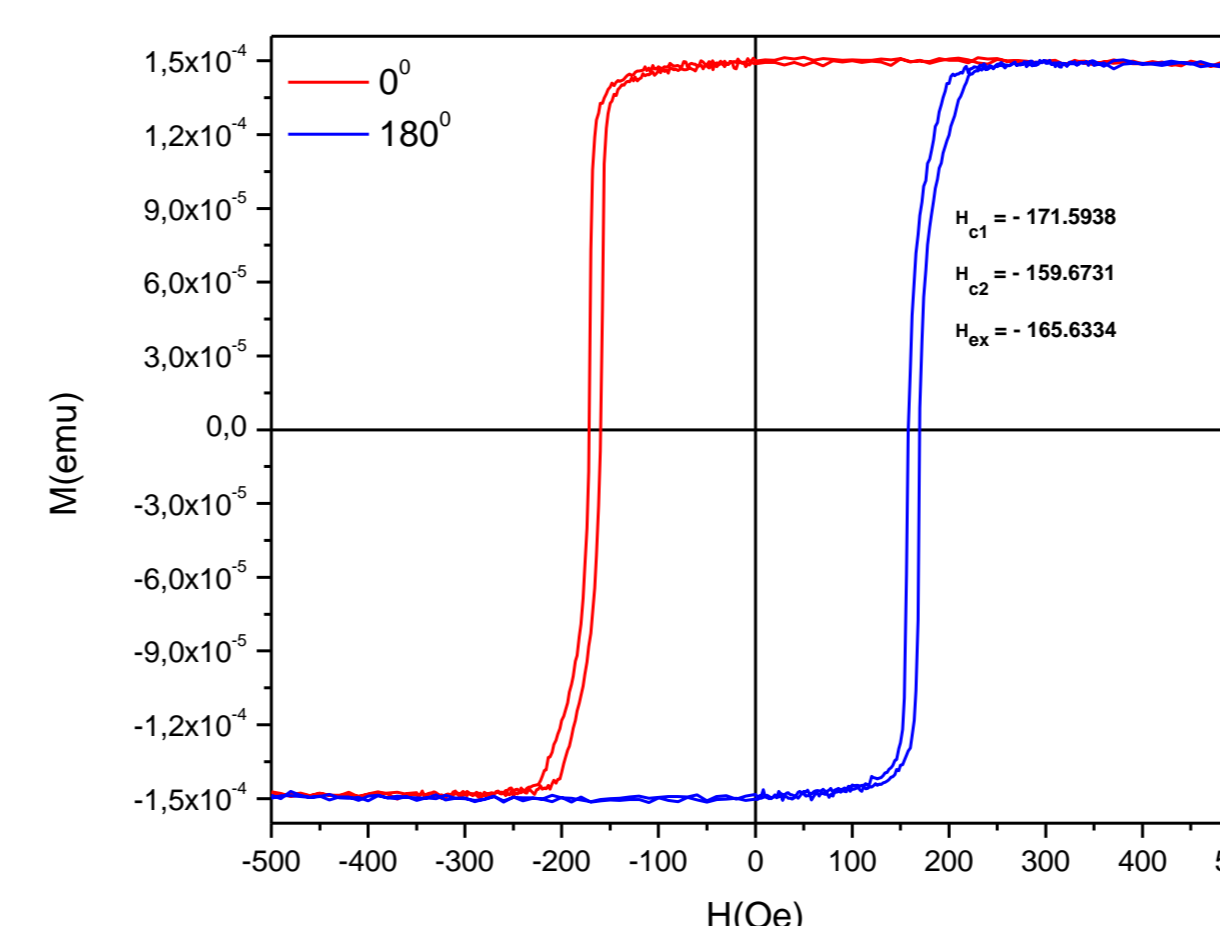


Figura 3. Amostra R1657: Ta(15nm)/NiFe(10nm)/FeMn(15nm)/Ta(15nm)

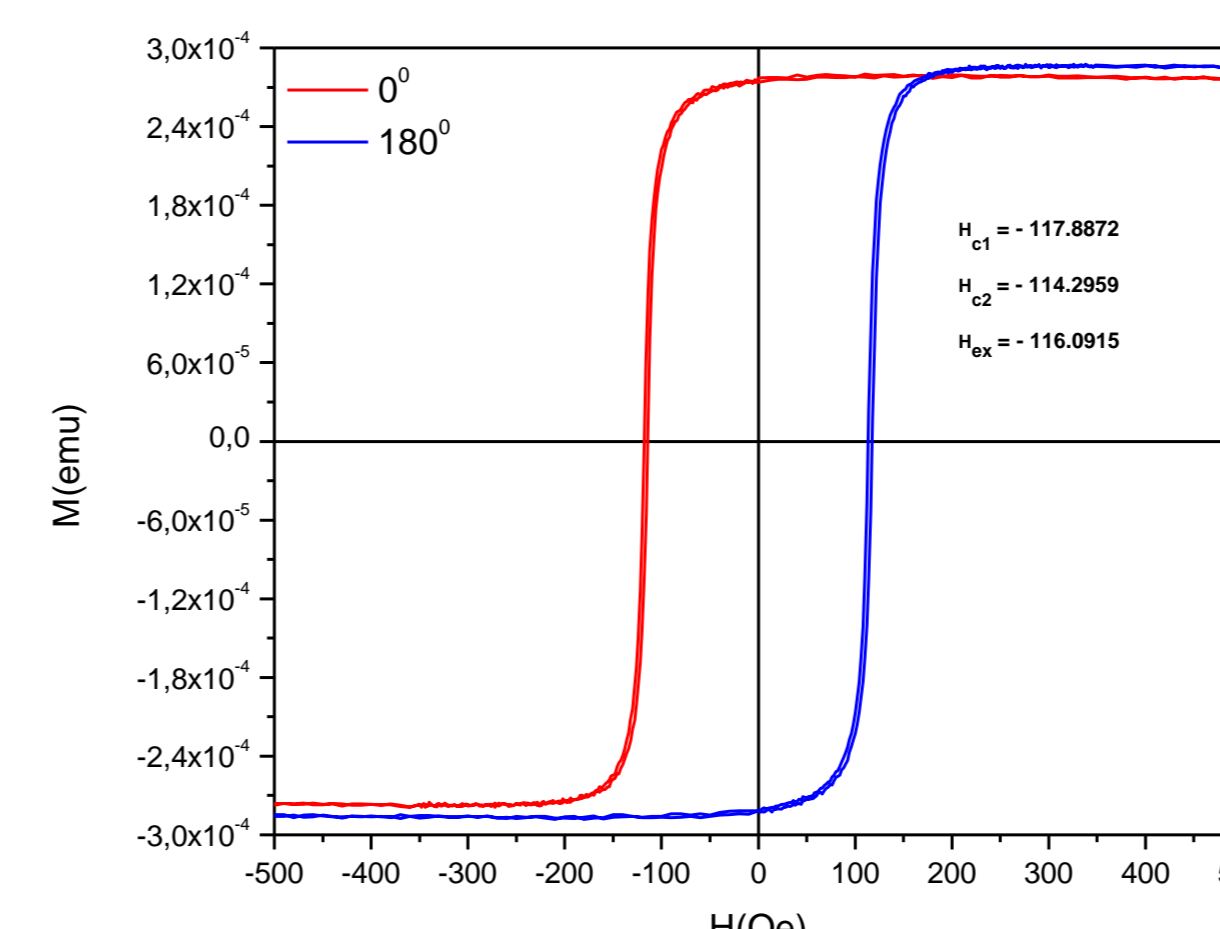


Figura 4. Amostra R1658: Ta(15nm)/NiFe(15nm)/FeMn(15nm)/Ta(15nm)

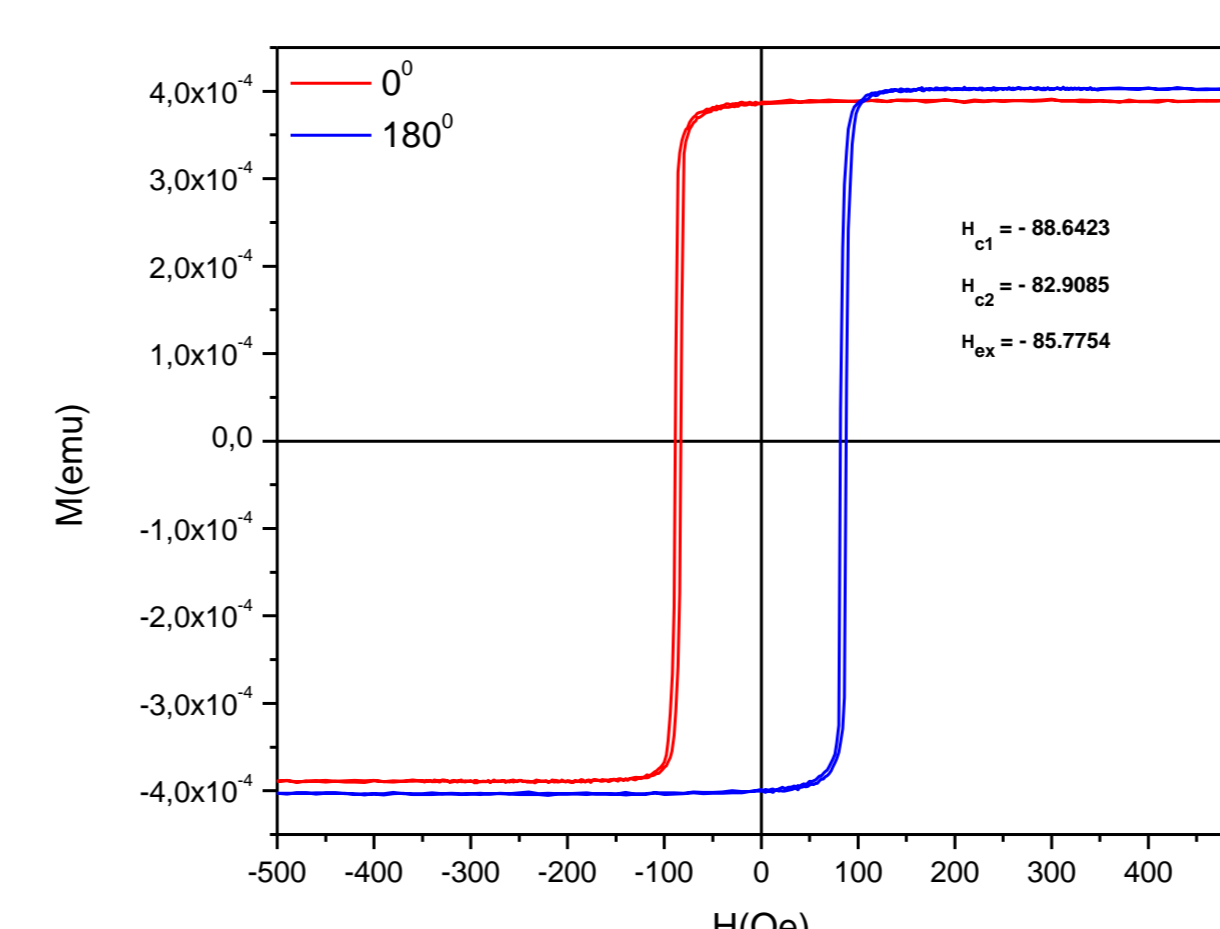
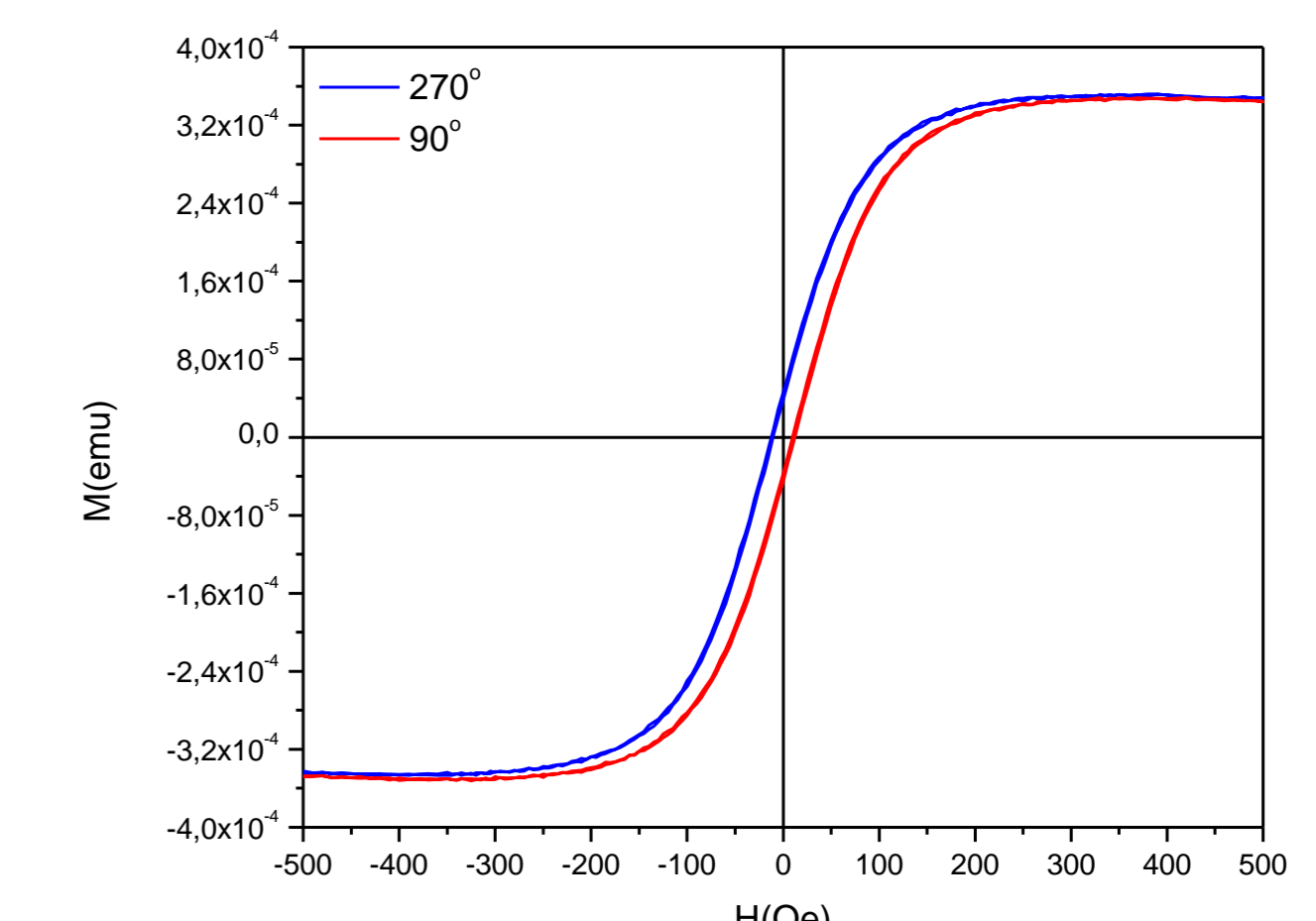
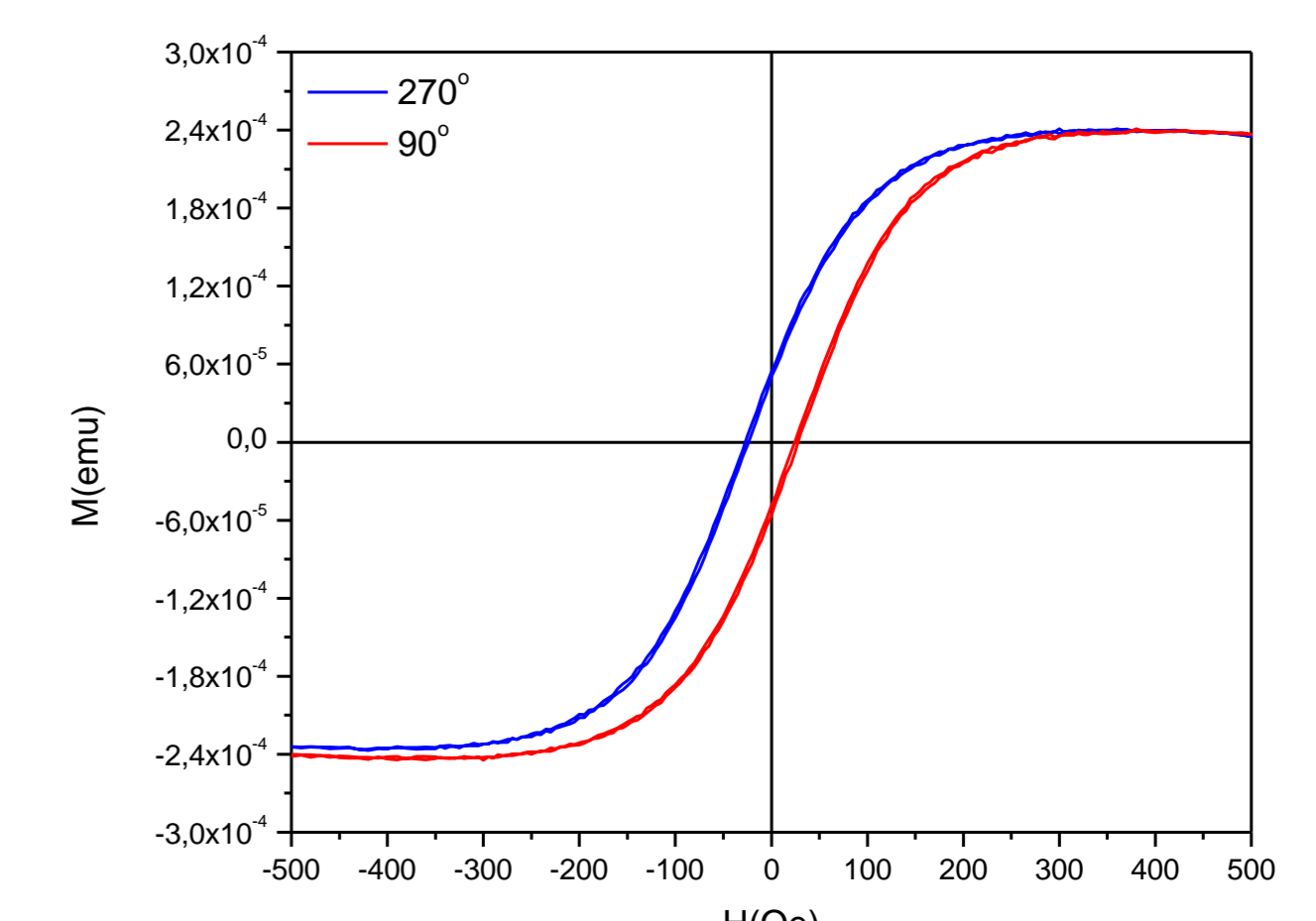
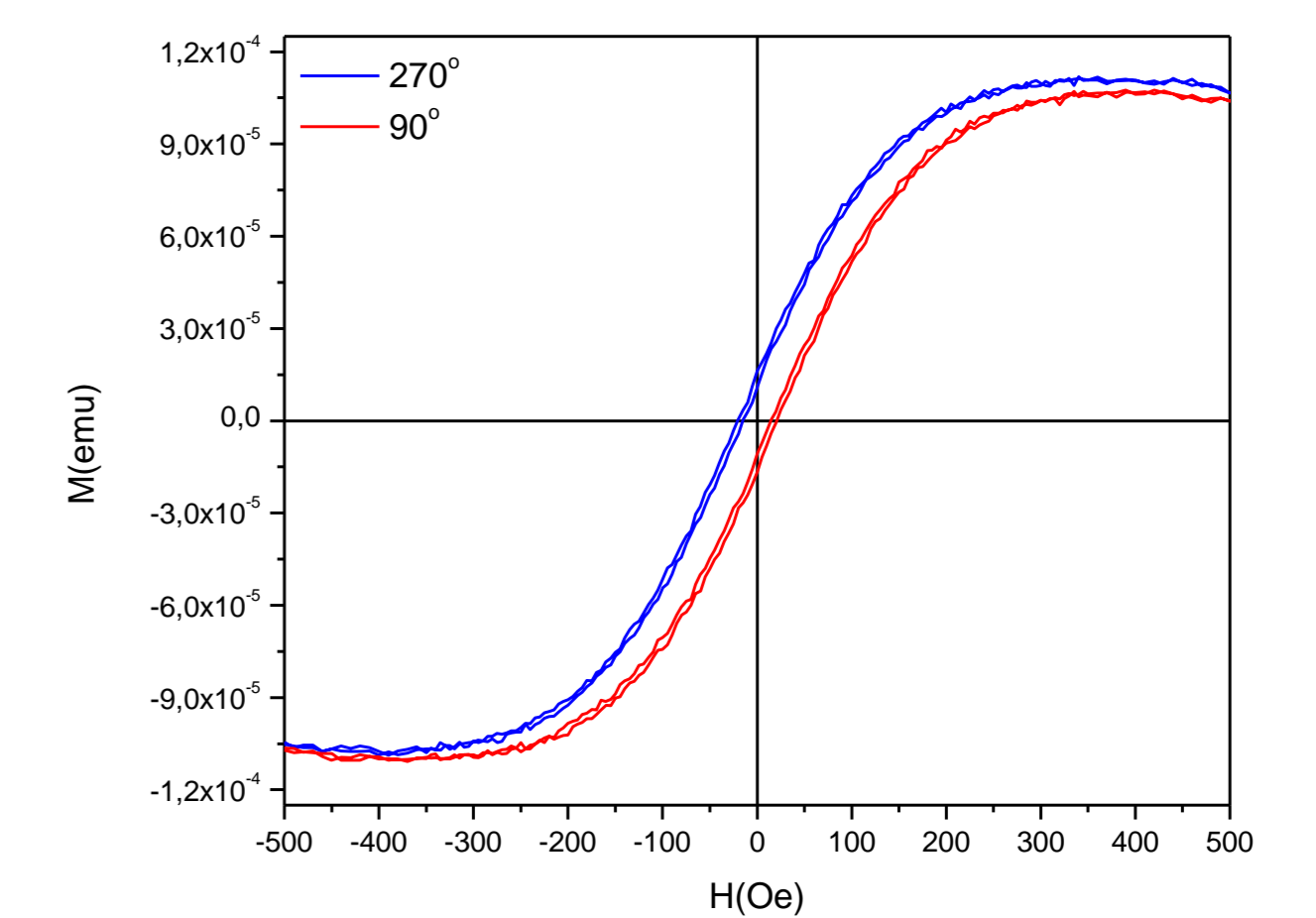
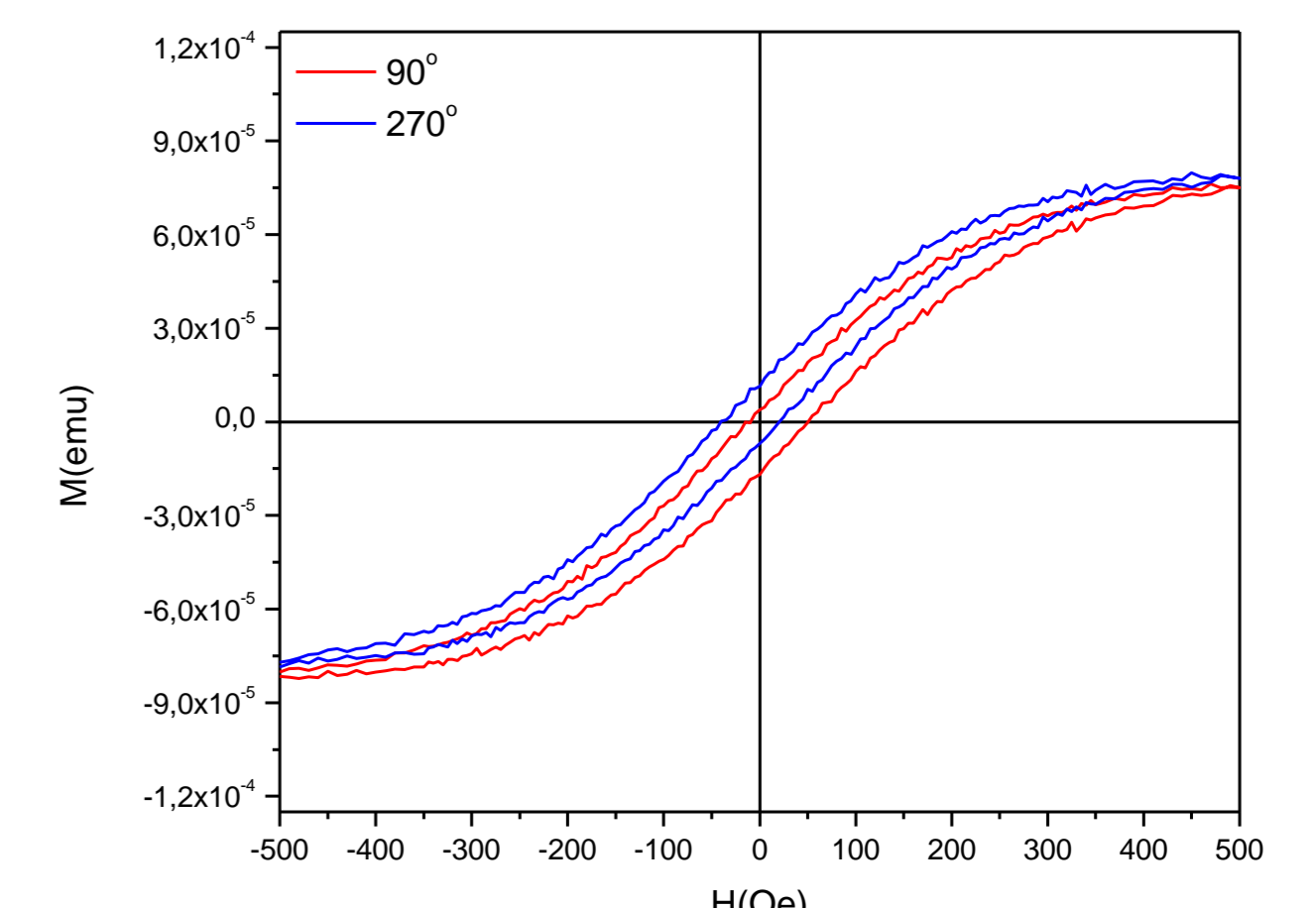


Figura 5. Amostra R1659: Ta(15nm)/NiFe(20nm)/FeMn(15nm)/Ta(15nm)



## CONCLUSÃO

Os principais objetivos do projeto foram alcançados. As amostras produzidas são de muito boa qualidade e apresentaram os efeitos de *Exchange Bias* sem necessidade de nenhum tratamento posterior, como esperado em amostras de qualidade. Nos difratogramas de raios-x foi possível verificar que a textura (111) do NiFe facilita a textura (111) do FeMn, que é essencial para um bom acoplamento na interface FM/AF. Nas medidas de magnetização podem ser observados os campos de *Exchange Bias* e coercivos onde, claramente, os valores de  $H_{EB}$  e  $H_C$  diminuem com o aumento da espessura do material ferromagnético. Também pode ser percebida a melhora no acoplamento na interface FM/AF para as amostras com mais material ferromagnético.

## REFERÊNCIAS

- [1] W. H. Meiklejohn, C. P. Bean, *Phys. Rev.* 102, 1413 (1956); 105, 904 (1957).
- [2] Nogués, J., & Schuller, I. K. (1999). Exchange bias. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 192(2), 203-232.
- [3] A. M. H. de Andrade, M. A. Corrêa, A. D. C. Viegas, F. Bohn, and R. L. Sommer, *Journal of Applied Physics* 115, 103908 (2014).

## AGRADECIMENTOS

Aos professores Antonio Marcos Helgueira de Andrade, Alexandre da Cas Viegas e Sabrina Nicolodi de Oliveira Viegas pela grande oportunidade e ajuda no desenvolvimento deste trabalho. Ao Jean (LAM) e Júlio (LCN) por toda a ajuda com as técnicas de análise.