

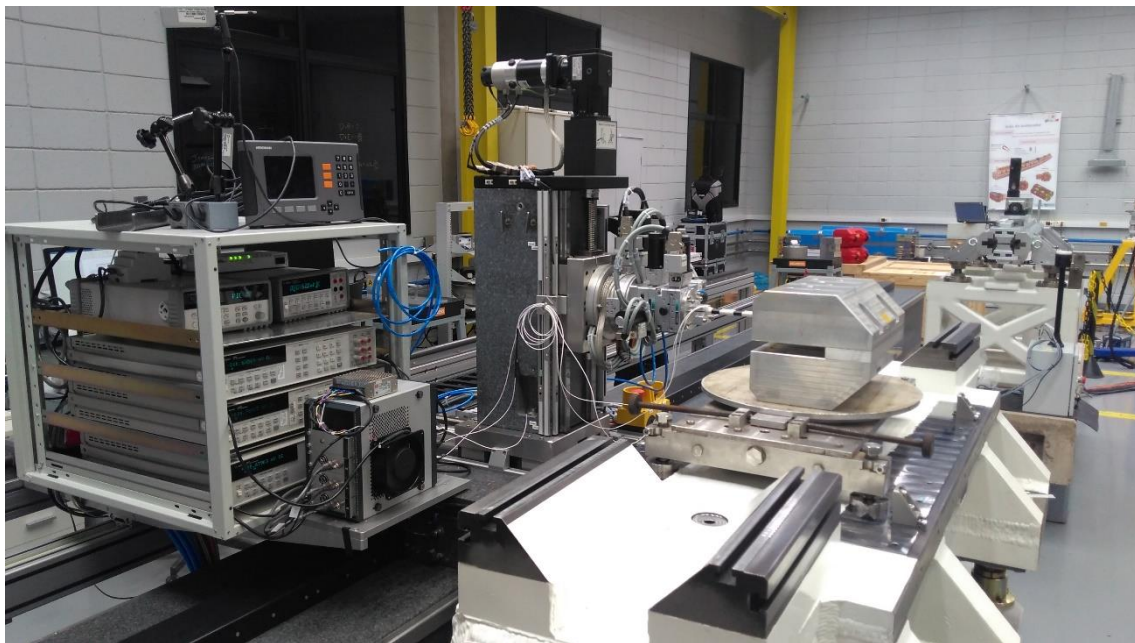
# Ajuste da inclinação dos sensores Hall

Luana Vilela e Reinaldo Basílio – 07/02/2020

Este relatório apresenta os resultados do procedimento de ajuste das inclinações dos sensores Hall para redução dos erros angulares das medidas magnéticas. Este procedimento foi feito antes da medição do primeiro ondulador da Kyma. Para medir este ondulador uma nova haste em formato L foi construída. O ajuste dos ângulos foi feito inicialmente na base padrão dos sensores, a fim de verificar a validade do procedimento, e em seguida na nova base que será fixada na haste em L para medição do ondulador.

## Setup das medidas

As medidas foram feitas utilizando a bancada Kugler e o ondulador de calibração, conforme mostrado na foto abaixo. Foram utilizados calços para reduzir os efeitos dos erros angulares dos sensores X, Y e Z do conjunto do transdutor da Senis H3A-OxI02L-G02T0K4L, número de série 135-14. A haste reta foi utilizada nas medidas para ambas as bases de TVE. Antes das medidas os ângulos A e C da bancada foram ajustados com nível ótico para que as bases ficassem paralelas ao eixo horizontal da bancada. Para a base padrão o valor ajustado foi de  $-1.2^\circ$  para o ângulo A e de  $-0.1^\circ$  para o ângulo C. Para a base construída para medida do ondulador da Kyma o valor obtido foi de  $-1.6^\circ$  para o ângulo A e  $0.55^\circ$  para o ângulo C.



*Figura 1 - Ondulador de calibração sendo medido na bancada Kugler.*

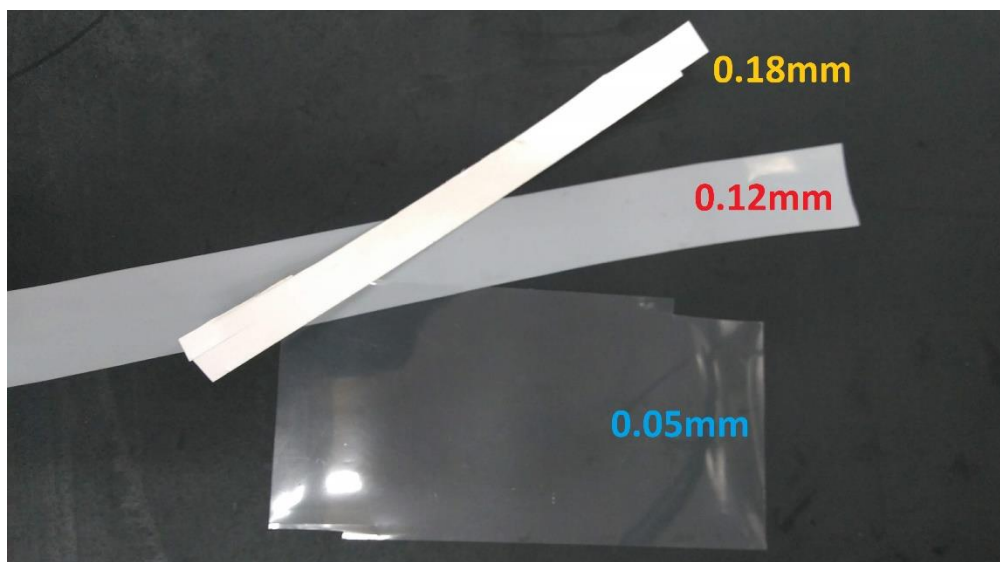


Figura 2 - "Calços" utilizados para ajuste da inclinação dos sensores.

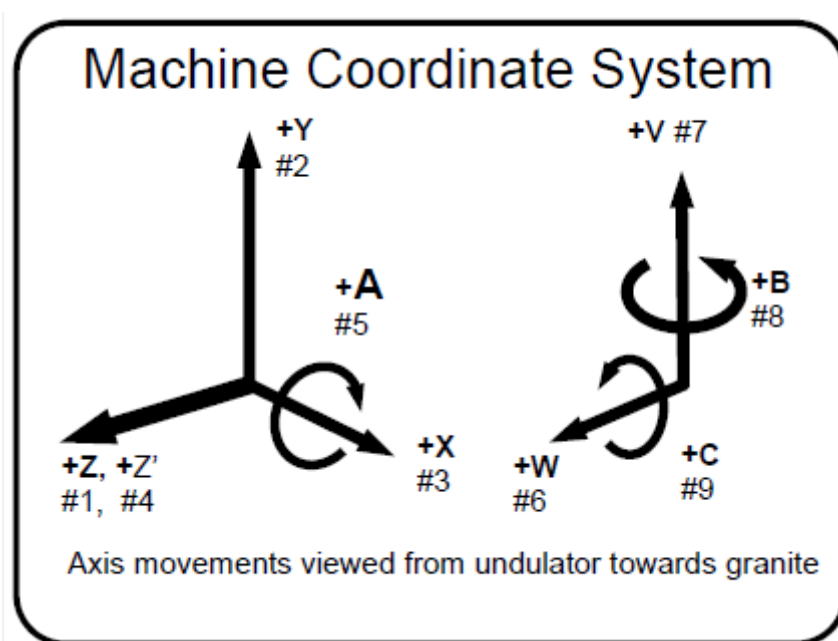
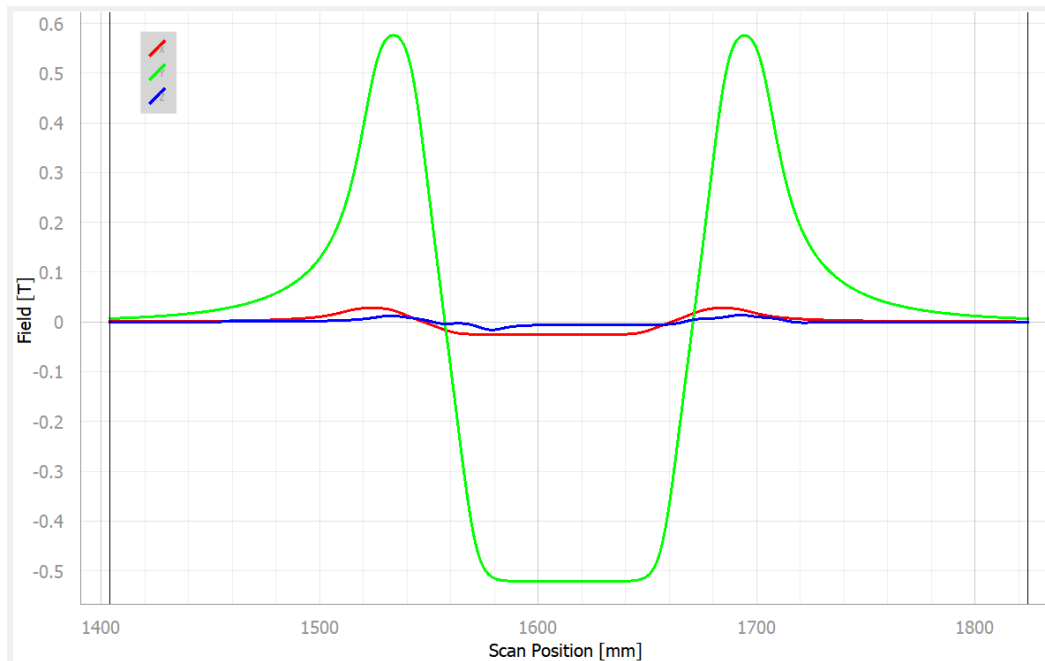


Figura 3 - Sistema de coordenadas da bancada Kugler.

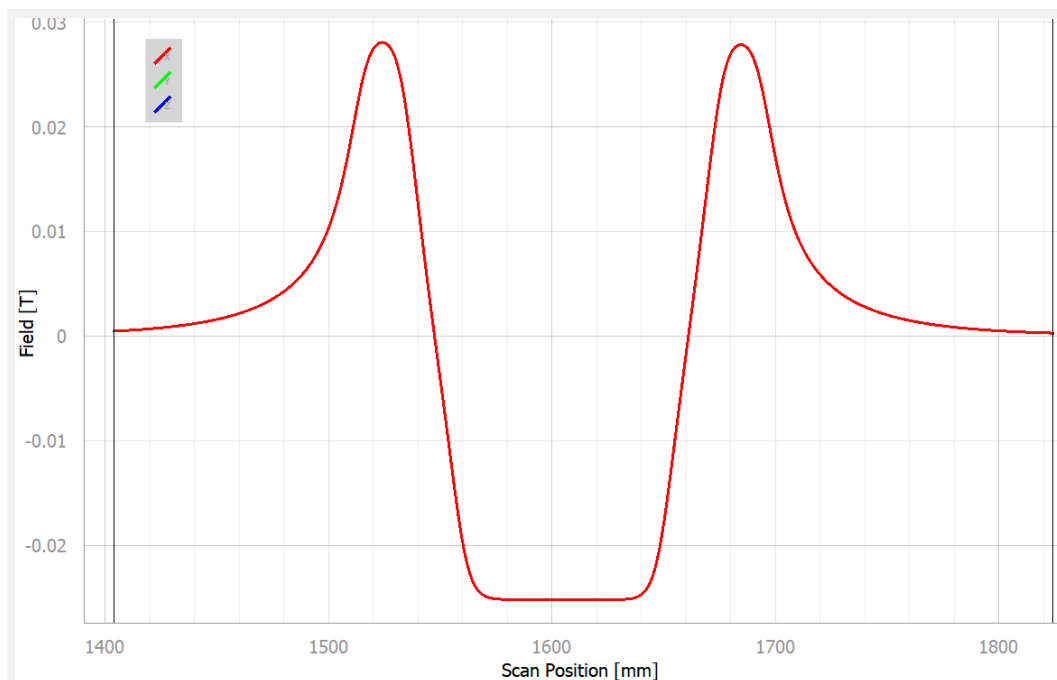
### Medidas dos erros angulares dos sensores

Em medidas anteriores, feitas com o dipolo de calibração, foi verificado que o sensor Y apresenta um erro angular de  $-1.5^\circ$  em torno do eixo horizontal em relação a face do sensor. Para o sensor Z o valor do erro angular medido foi de  $-0.7^\circ$ . Estes erros foram determinados ajustando o ângulo A da bancada Kugler até obter o valor máximo para o campo magnético. Como o dipolo utilizado nestas medidas apresenta apenas campo vertical, as medidas para o sensor Z foram feitas aplicando uma rotação de  $90^\circ$  na haste dos sensores. Não foi possível obter o valor do erro angular para o sensor X apenas com o dipolo de calibração.

O procedimento de medição e ajuste dos erros angulares foi feito utilizando o ondulador de calibração pois com este ímã é possível obter também uma estimativa para o erro angular do sensor X medindo o campo na linha central do ondulador, conforme mostrado abaixo. A estimativa do erro angular do sensor X em torno do eixo longitudinal é de  $-2.8^\circ$ .



*Figura 2 - Campo magnético medido na linha longitudinal central do ondulador.*



*Figura 3 - Campo magnético na direção horizontal, da ordem de 300G, medido na linha central do ondulador devido ao erro angular do sensor X. Este valor de campo corresponde à um erro angular de aproximadamente  $-2.8^\circ$ .*

Os erros angulares dos sensores Y e Z podem ser determinados com o ondulador de calibração a partir de varreduras do ângulo A da bancada na posição central do ondulador. Para o sensor Y o valor máximo do campo é obtido quando o ângulo da bancada corresponde ao ângulo de medição do sensor. Para o sensor Z o valor medido na posição central do ondulador deve ser nulo. Os resultados iniciais das medidas dos erros angulares destes dois sensores são mostrados a seguir. Estes resultados são bem próximos aos valores obtidos com as medidas do dipolo de calibração.

As medidas do erro angular do sensor Z são feitas determinando a posição em que o campo é nulo. Este valor depende também do offset do sensor. Por isso, antes de iniciar as medidas foram determinados os valores de offset dos sensores utilizando uma câmara de zero Gauss. Os valores obtidos são mostrados na tabela a seguir. Estes valores foram comparados com offsets medidos cerca de 3 meses antes e verificou-se uma variação menor que 1µV para os offsets dos sensores X e Y e menor que 7µV para o offset do sensor Z.

	Sensor X	Sensor Y	Sensor Z
Offset [mV]	-0.997	1.4623	0.4039

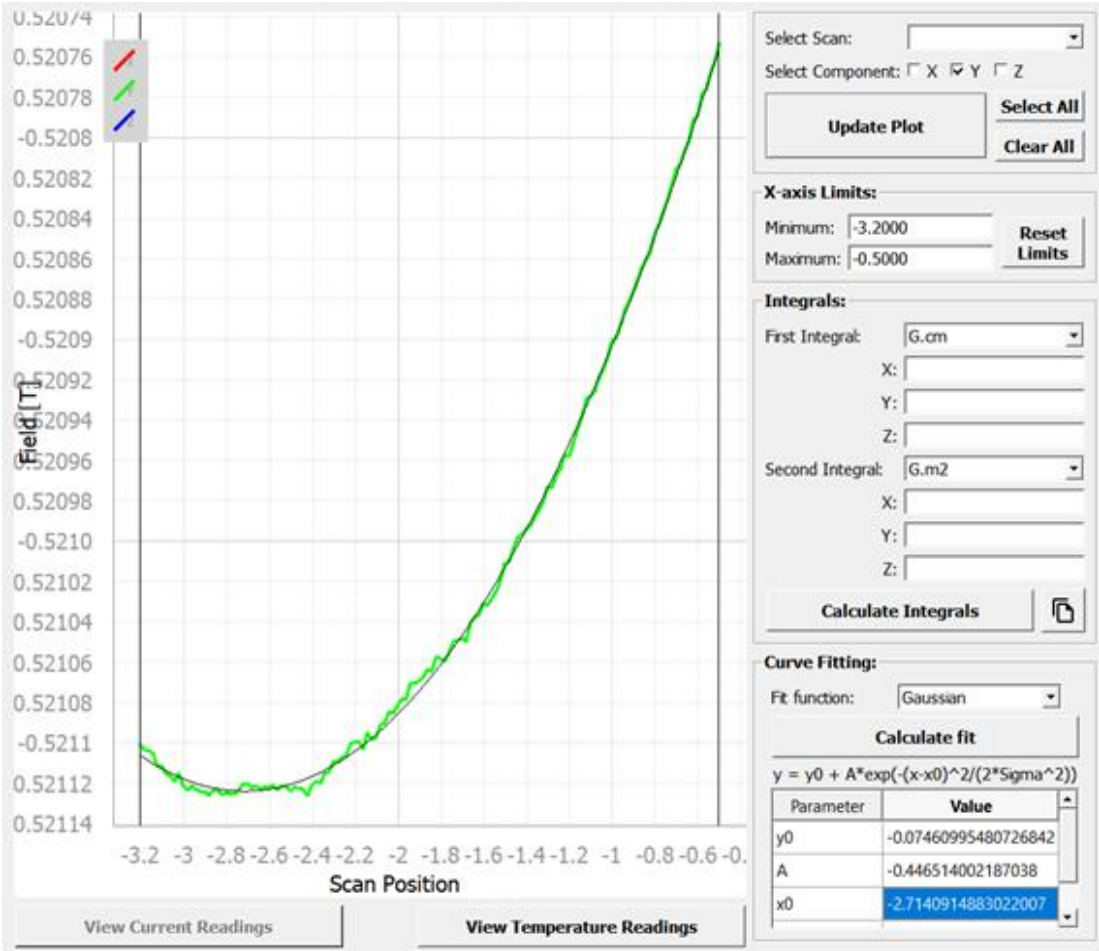


Figura 4 - Campo medido pelo sensor Y na varredura do ângulo A na posição central do ondulador. O ajuste gaussiano da curva mostra que o valor máximo do campo é obtido quando o ângulo da bancada é de -2.7°. Descontando o valor do nível ótico de -1.2° obtemos o valor para o erro angular do sensor Y de -1.5°.

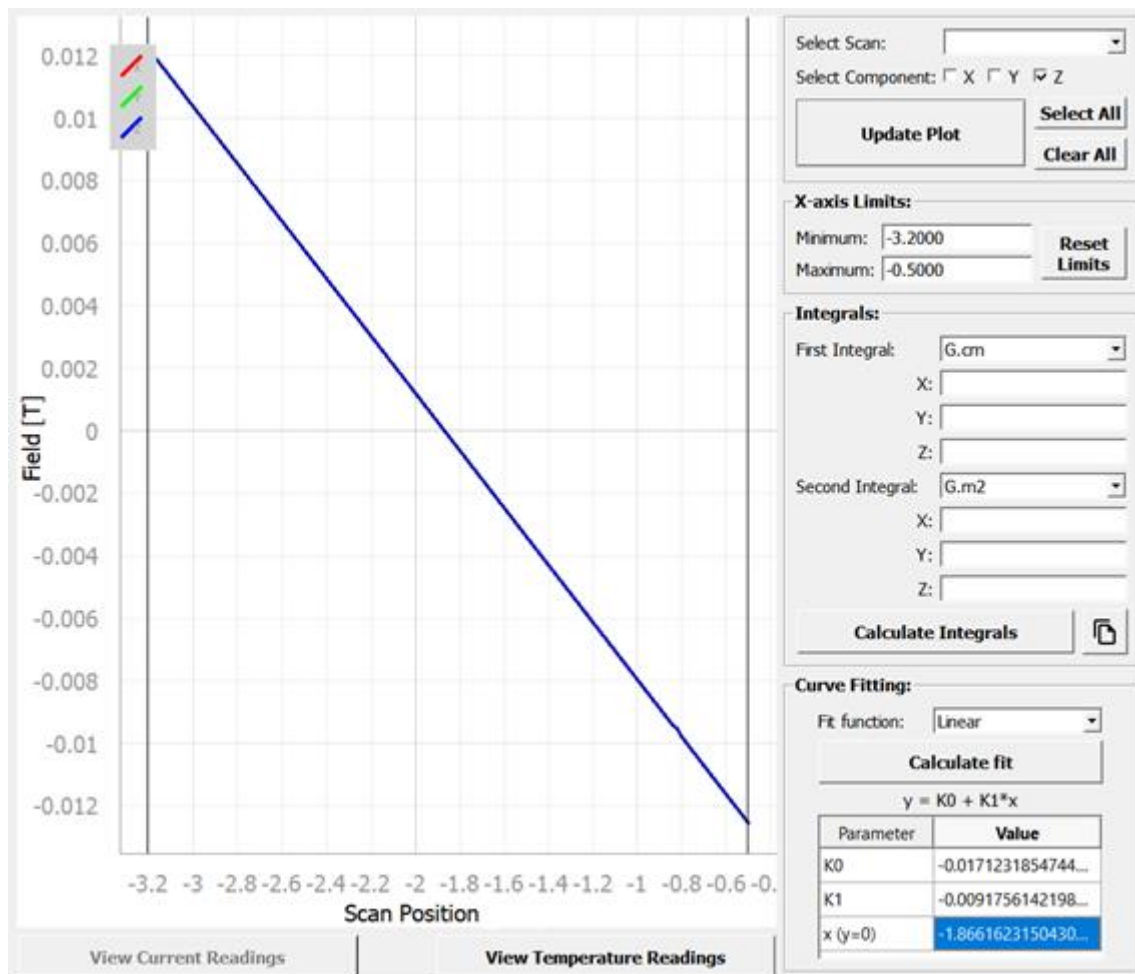


Figura 5 - Campo medido com o sensor Z na posição central do ondulador. O ajuste linear indica que o valor do campo é nulo quando o ângulo da bancada é de  $-1.9^\circ$ . Subtraindo o valor do nível ótico obtemos um erro angular de  $-0.7^\circ$  para o sensor Z.

### Ajuste das inclinações na base padrão

Inicialmente foi feito o ajuste da inclinação do sensor Y colocando um calço de aproximadamente 0.12mm em uma das laterais do sensor. Com este ajuste o erro angular durante a medida foi reduzido de  $-1.5^\circ$  para  $-0.3^\circ$ . Em seguida, foi feito o ajuste da inclinação do sensor X, colocando um calço de aproximadamente 0.36mm (2 folhas de 0.18mm) na parte de trás do sensor. Estima-se que o erro angular na medida do campo vertical tenha sido reduzido de  $-2.8^\circ$  para um valor da ordem de  $-0.1^\circ$ . Nestes testes com a base padrão dos sensores, a inclinação do sensor Z não foi corrigida.

Após os ajustes dos sensores foram feitas medidas também fora do plano, para  $y=1\text{mm}$  e  $y=-1\text{mm}$ , a fim de verificar o erro angular do sensor X em relação ao campo longitudinal. Não foi observada correlação direta entre as medidas dos sensores X e Z, indicando que o erro com a longitudinal deve ser desprezível. Portanto, o campo horizontal medido deve ser decorrente de erros de construção do ondulador de calibração e de erros nas magnetizações dos blocos de imã permanente.

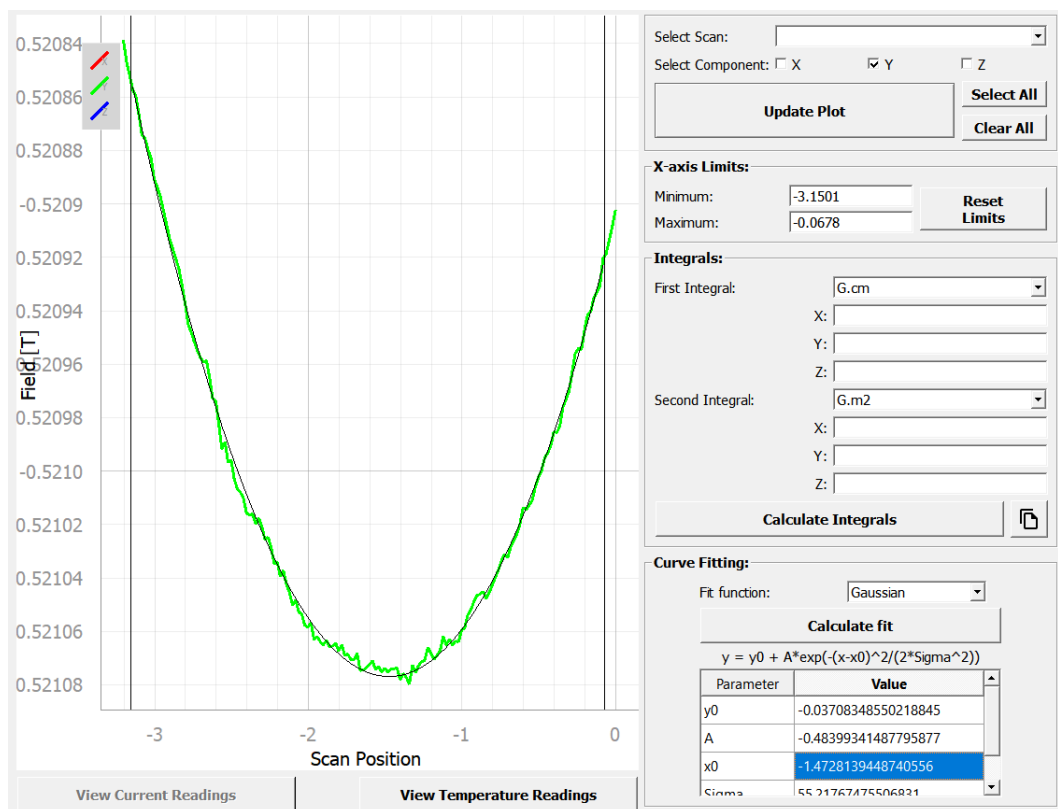


Figura 6 - Medida do campo vertical após ajuste da inclinação do sensor Y. O erro angular da medida após o ajuste é de  $-0.3^\circ$ .

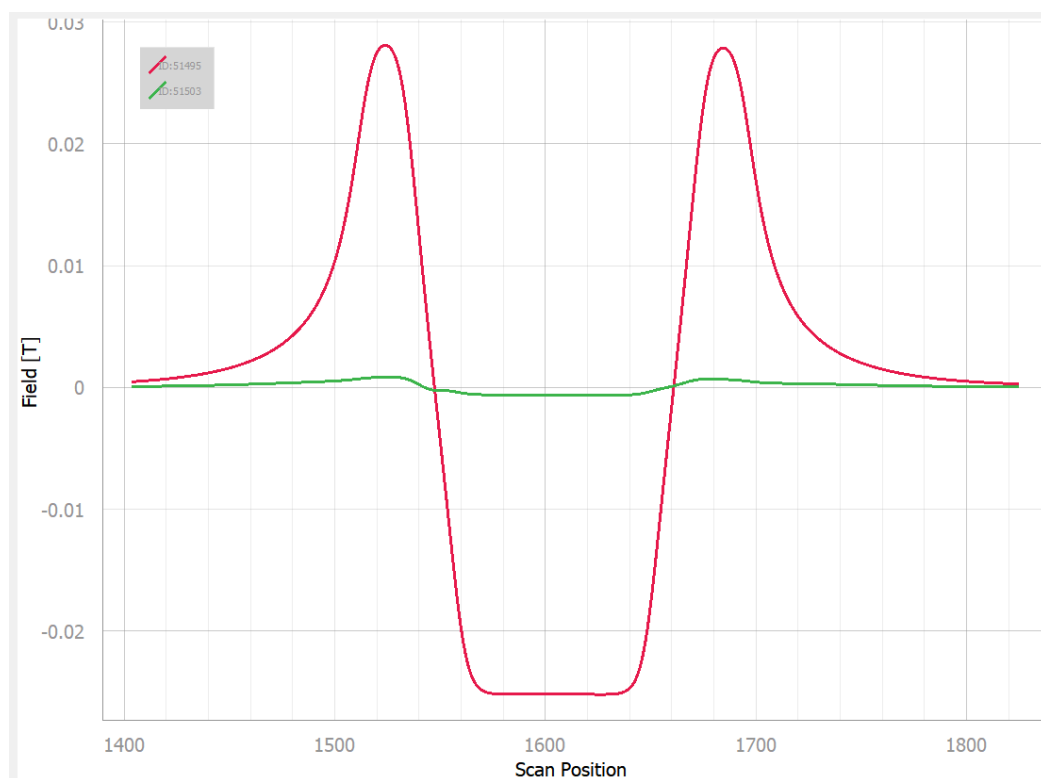


Figura 7 - Medida do campo horizontal antes e depois da correção da inclinação do sensor X. A amplitude medida passou de cerca de 280G para menos que 10G.

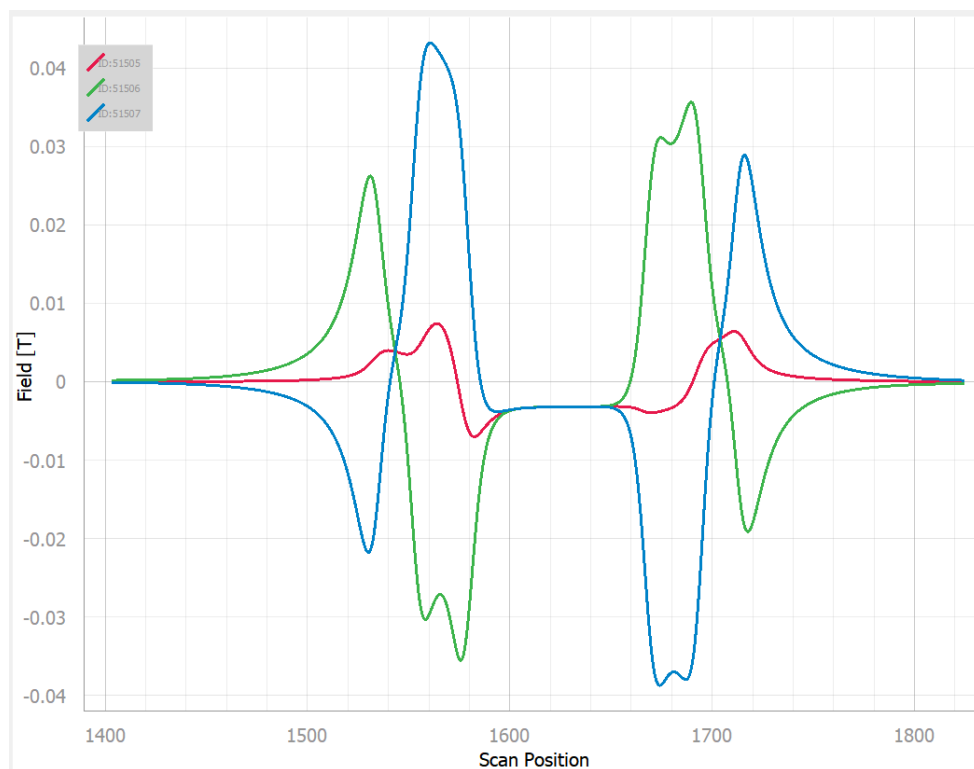


Figura 8 - Campo medido com o sensor Z para as posições  $y=0\text{mm}$  (vermelho),  $y=1\text{mm}$  (verde) e  $y=-1\text{mm}$  (azul).

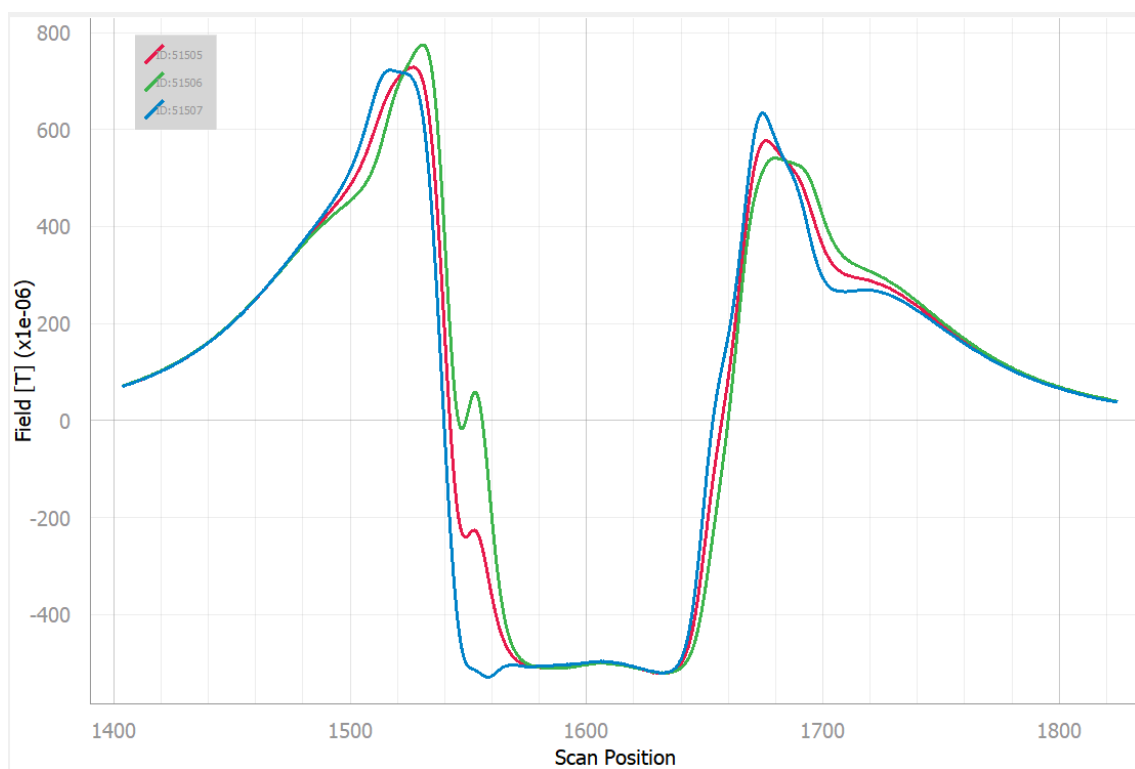


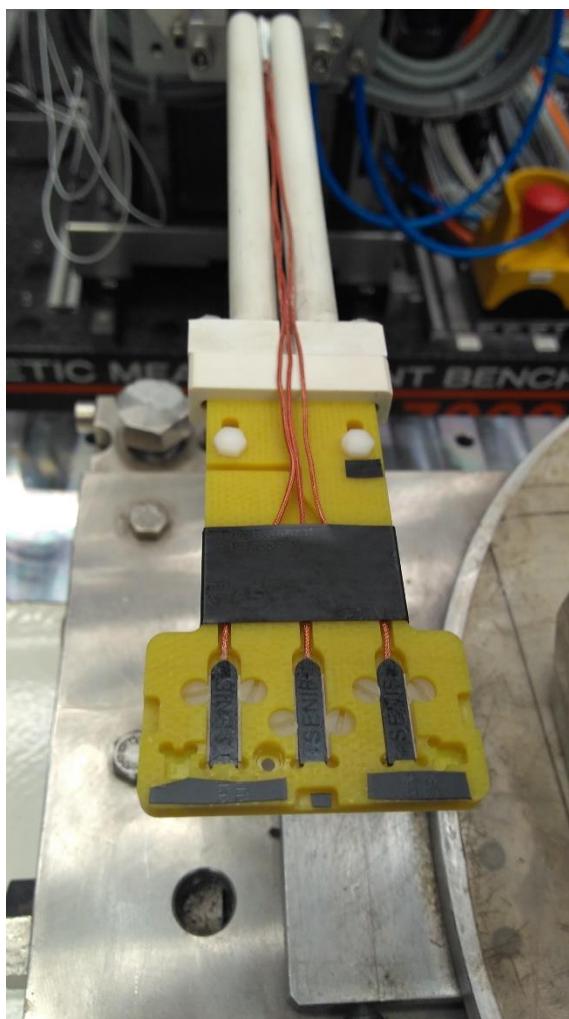
Figura 9 - Campo medido com o sensor X para as posições  $y=0\text{mm}$  (vermelho),  $y=1\text{mm}$  (verde) e  $y=-1\text{mm}$  (azul).



Resumo dos resultados para a base padrão dos sensores		
Direção do campo	Erro angular inicial [°]	Erro angular após ajuste [°]
X	-2.8	-0.1
Y	-1.5	-0.3
Z	-0.7	-0.7 (não ajustado)

### Ajuste das inclinações na nova base

Para fazer os ajustes da inclinação dos sensores a nova base de TVE, feita para medir os onduladores da Kyma, foi fixada a haste reta, conforme visto na foto abaixo. Inicialmente foram feitas medidas com os sensores sem os calços para verificar os valores dos erros angulares. Os resultados foram muito similares aos valores obtidos com a base padrão, indicando que erros são realmente dos sensores da Senis e não de erros de usinagem das bases. Em seguida foram adicionados os calços para correção da inclinação dos sensores. Devido a posição diferente dos parafusos que fixam os sensores a base, o calço do sensor X precisou ser aumentado para 0.72mm (4 folhas de 0.18mm). Para o sensor Y foi mantido o calço de 0.12mm e para o sensor Z foi utilizado um calço de 0.05mm. Os resultados das medidas após os ajustes são mostrados a seguir.



*Figura 10 - Nova base de TVE construída para medir os onduladores da Kyma.*



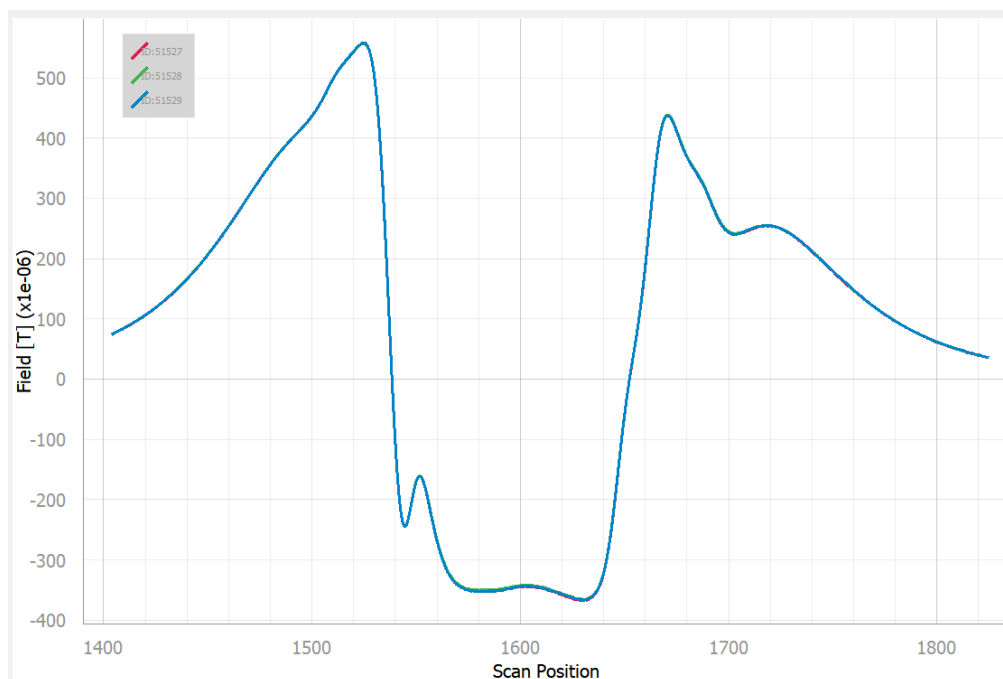


Figura 11 - Campo magnético horizontal após ajustes dos sensores na nova base. Foram feitas três medidas consecutivas para verificar a repetibilidade dos resultados. A amplitude do campo magnético horizontal é menor que 6G, o que corresponde à um erro angular menor que  $0.1^\circ$ .

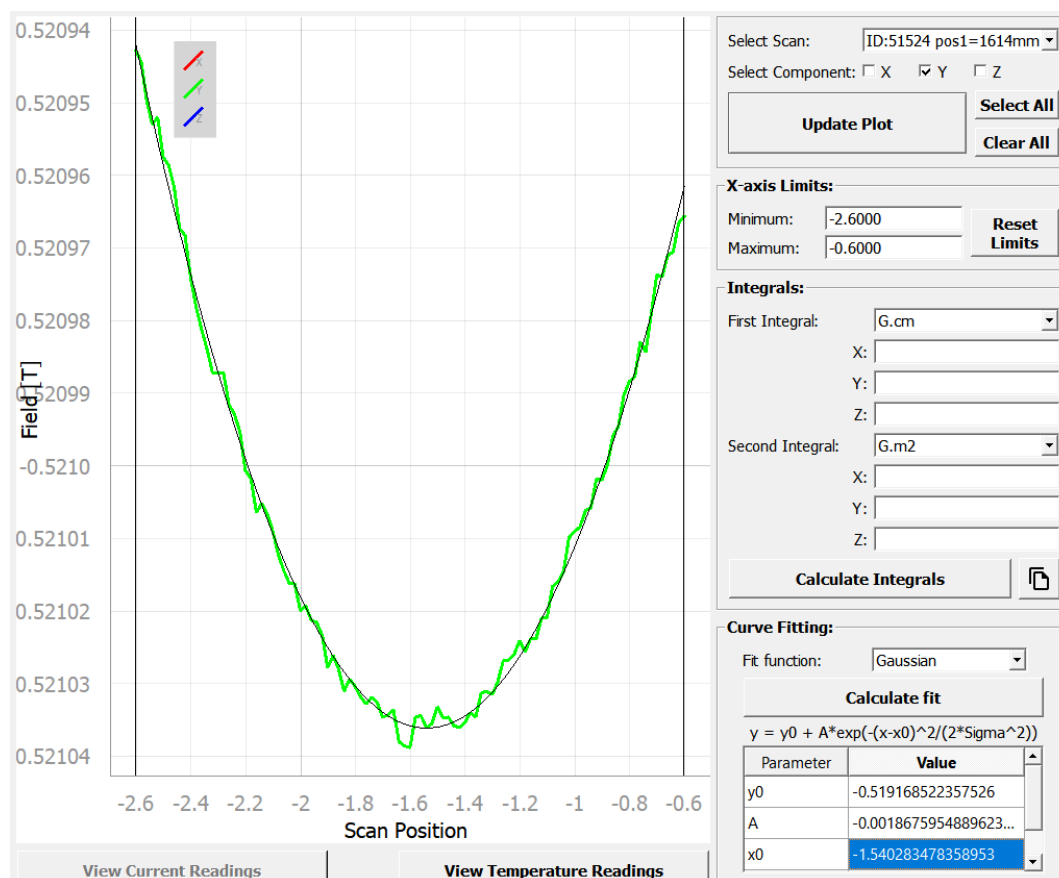


Figura 12 - Campo vertical medido após ajuste dos sensores na nova base. Descontando o valor ajustado para a base com nível ótico ( $-1.6^\circ$ ) vemos que o erro angular é menor que  $0.1^\circ$ .

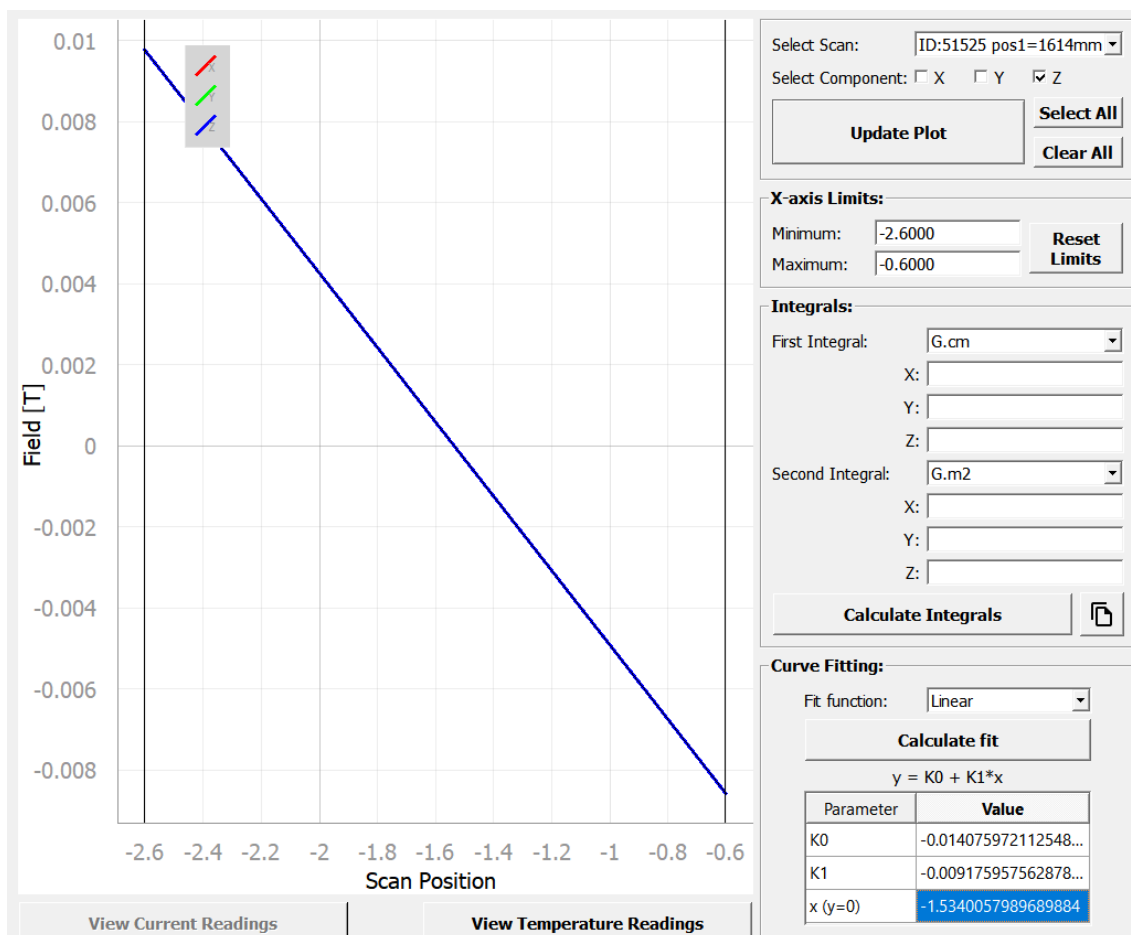


Figura 13 - Campo longitudinal medido após ajuste dos sensores na nova base. O erro angular do eixo Z também é menor que  $0.1^\circ$ .

A tabela a seguir apresenta o resumo dos resultados para os erros angulares na nova base. Vale notar que além de depender do tamanho do calço utilizado, os erros angulares dependem também do torque dos parafusos. Portanto, deve-se evitar soltar os sensores da nova haste para não ter que repetir o procedimento de ajuste das inclinações.

Resumo dos resultados para a nova base dos sensores (Kyma)		
Direção do campo	Erro angular inicial [°]	Erro angular após ajuste [°]
X	-2.8	-0.1
Y	-1.5	0.1
Z	-0.7	0.1

Após a troca da base também foi necessário recalibrar a distância longitudinal relativa entre os sensores. Essas medidas foram feitas utilizando uma agulha magnética. Para a distância relativa entre os sensores Y e Z foi obtido o valor de 12.995mm, que está muito próximo do valor nominal da nova base, que é de 13mm. Não foi possível obter um valor para a distância relativa entre os sensores Y e X, pois após a correção dos ângulos o campo medido na direção horizontal é muito próximo de zero. Foi decidido então utilizar o valor nominal de 13mm para a distância relativa em ambos os casos.