

NORMA TÉCNICA

NT-002-IMA

AJUSTES PARA ATENUAR EFEITOS ESPÚRIOS NAS MEDIDAS DA BOBINA GIRANTE

BOBINA GIRANTE - SI

Campinas – SP
Maio/2017

Histórico de versões

AUTOR	Lucas Igor Balthazar
SEÇÃO DA MÁQUINA	SI
DATA	24/05/2017
VERSÃO DO DOCUMENTO	1.0
ALTERAÇÕES	Criação da primeira versão

1. Ajustes para minimizar erros aleatórios (Bancada 2)

1.1 – Definições gerais para os multipolos

Atendendo aos processos que requerem acurácia e sobretudo, flexibilidade na execução das medidas magnéticas a serem feitas para os ímãs do projeto Sirius, foi construída uma nova bancada de medição magnética baseada na técnica da bobina girante (análoga a bancada 1) que também possibilita a medição e determinação dos componentes multipolares bidimensionais integrados do campo magnético dos ímãs do anel de armazenamento.

As vantagens da representação multipolar estão além da praticidade comumente usual, mas também, pela capacidade de fornecer a descrição de um campo magnético como um conjunto relativamente pequeno de coeficientes, a partir do qual as componentes de campo em qualquer ponto podem ser reconstruídas, usando as funções de base. Em outras palavras, uma representação multipolar é mais "portátil" do que um mapa de campo numérico.

Uma representação baseada em uma expansão multipolar se presta a manipulação adicional de maneiras que um mapa de campo numérico não. Haverá, naturalmente, questões relacionadas com a supressão ou aumento de erros ajustando os coeficientes multipolar; no entanto, um benefício desta abordagem é que para qualquer conjunto de coeficientes multipolar, o campo é pelo menos um campo físico, no sentido de satisfazer as equações de Maxwell.

1.2 – Medições e ajustes

As medições fornecem dados reais os quais devem ser considerados os efeitos de precisão das medições de campo e alinhamento dos instrumentos de medição em relação ao ímã. Para se ter uma noção do desempenho da técnica, um dos parâmetros utilizados é a repetibilidade dos resultados. Preservando-se as mesmas condições de temperatura, umidade e mecânica, esperam-se variações pequenas nos resultados entre períodos de medição ou entre montagens e desmontagens da bobina. Para a garantia de alta repetibilidade do sistema, foi executada uma série de ajustes mecânicos nas peças de encaixe da bobina.

O ajuste mecânico do sistema é de significativa importância pois interfere no surgimento de componentes multipolares aleatórias adjacentes que refletem diretamente nos resultados analisados. Essas contribuições resultantes de desalinhamento mecânico representam valores para o erro multipolar acima do tolerado pelas especificações, ocasionando inconformidades na análise do magneto.

1.2.1 – Surgimento do Sextupolo

Durante as medidas realizadas com os quadrupolos do anel adotados como referência (Q20-003/002) e que possuem melhor construção mecânica, verificou-se a presença de uma componente sextupolar elevada, tanto normal quanto skew excedendo a especificação do quadrupolo. Como são os ímãs melhor construídos, erros de construção na geometria do magneto foram descartados. O aparecimento de sextupolo num quadrupolo pode ocorrer pelo efeito da catenária gravitacional ou devido às oscilações mecânicas com o dobro da frequência de giro, no caso, 2 Hz.

Quando realizada a coleta, por meio do programa de análise de dados, cria-se o gráfico de campo residual integrado normalizado das componentes normais e skew como exemplo abaixo:

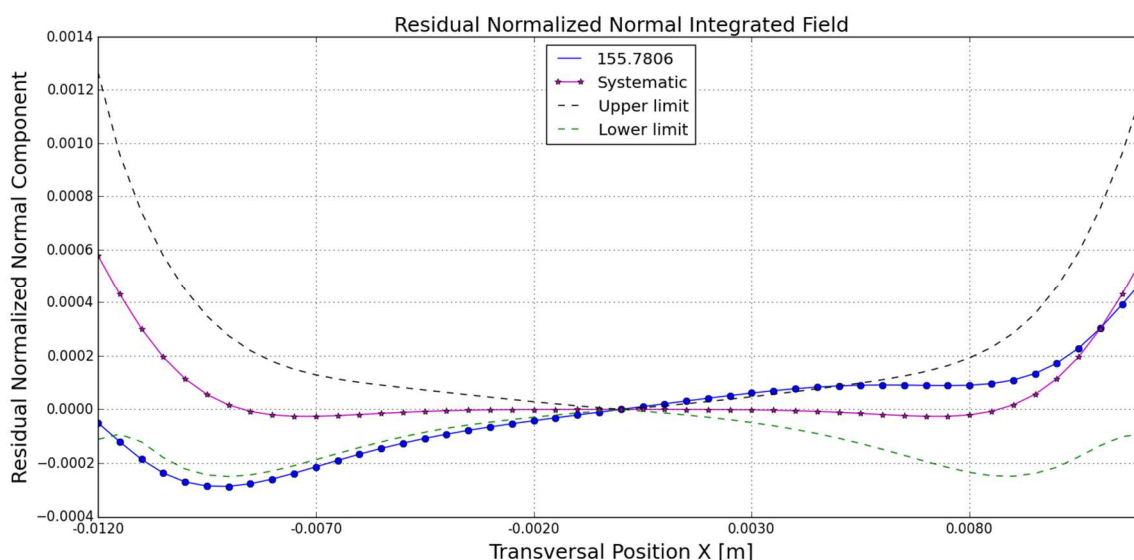


Figura 1: Representação do campo residual integrado normalizado da componente normal do campo magnético do quadrupolo.

A assimetria observada na curva medida (azul) é justificada pela alta componente sextupolar pois este multipolo define um coeficiente elevado de uma função ímpar no somatório:

$$LB_{RN}(x) = \sum_{n=3}^{15} \left(\frac{B_n}{B_2} \right) = \sum_{n=3}^{15} \frac{LN_n x^{n-1}}{LN_2 x^{2-1}} = \frac{1}{LN_2} \sum_{n=3}^{15} LN_n x^{n-2}$$

Ou seja, do termo LN_3x .

1.2.2 – Ajustando o posicionamento transversal e vertical

Para diagnosticar a origem dos efeitos, é preciso investigar as possíveis causas e deliberar sobre suas influencias no sistema. As minúcias dos ajustes mecânicos, inclusive, por se tratar de ajustes na escala de milésimos de milímetros, devem ser tomados com cautela e a cada modificação, deve ser feita uma medida comparativa. Um fato importante que precisa ser apurado é a posição do ímã e o deslocamento de centro magnético. Ajustando convenientemente o ímã no berço, procura-se verificar o comportamento do deslocamento de centro magnético nos eixos X e Y. Dependendo do deslocamento, filmes de Mylar de espessuras adequadas às necessidades podem ser utilizados para centralizar o deslocamento.

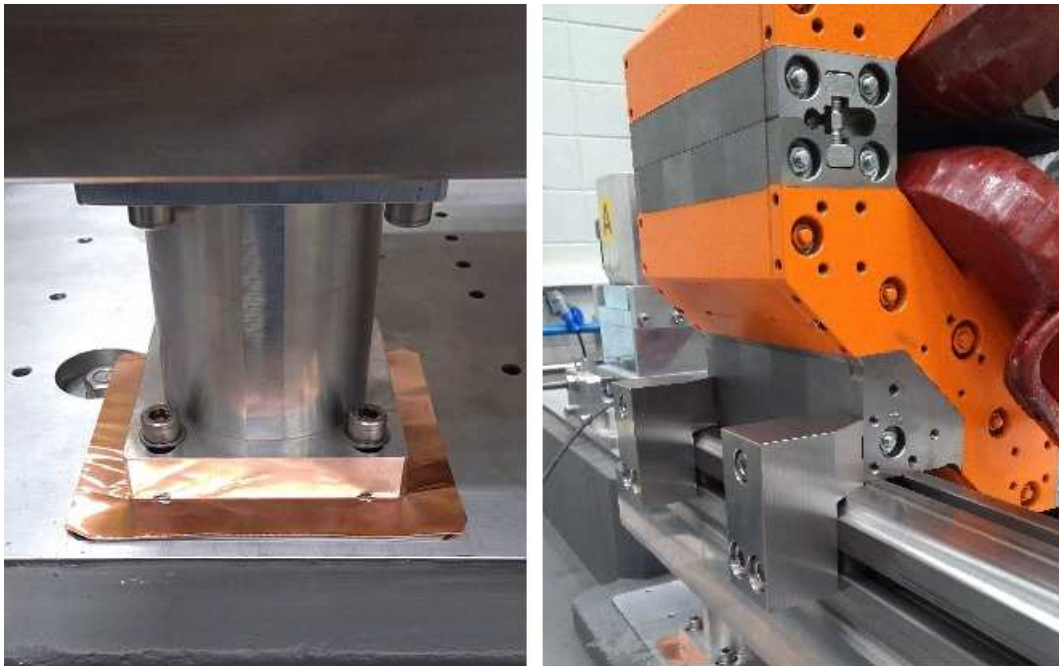


Figura 2: Posicionamento e alinhamento do berço. À esquerda, calços para corrigir a altura no eixo Y. À direita, alinhamento na referência no sentido do eixo X.

[illegible]

Pela tabela acima, o Lado A refere-se ao translado do magneto pelo berço até próximo a região do mancal A. Da mesma forma, Lado B refere-se ao translado do magneto sobre o berço até a região próxima ao mancal B. Assim, verifica-se que o nivelamento do berço ao longo do seu comprimento através da medida do deslocamento de centro magnético do ímã. Essa técnica também permite mapear torções ao longo da bobina em função do comprimento.

Como visto, a precisão está associada com os erros aleatórios, resultantes de variações aleatórias que ocorrem por fatores que não são controlados. Quando se propõe a melhorar a precisão do sistema, significa, reduzir os erros aleatórios.

A fim de eliminar o efeito de oscilação no eixo de giro da bobina, utiliza-se um relógio apalpador de precisão Mitutoyo modelo 513-404 posicionado em contato com o suporte paralelo e homogêneo ao eixo de giro do sistema. O ideal é que o relógio não apresente medida significativa de pico de deslocamento durante uma volta ou vibrações indesejáveis com uma frequência superior a frequência de giro da bobina.

Há a necessidade de manter o offset angular abaixo de um décimo de miliradiano, uma vez que é a metade do maior valor de erro admissível de posicionamento angular dos magnetos do anel de Armazenamento (0,2 mrad). Isso é

preciso para garantir, o mais próximo possível, o melhor posicionamento angular do plano da bobina no primeiro intervalo de integração do plano horizontal, ou seja, o offset angular deve ser próximo de zero.

Para tanto, é necessário inserir o pulso de início do encoder tal qual o ângulo seja nulo, lembrando que o 1 pulso de encoder equivale à $1.74532925 \times 10^{-5}$ rad (resolução do posicionamento angular). Logo, a fim de encontrar o ângulo que corresponda dentro da faixa de erro de medida (1×10^{-6}), ajusta-se o pulso de início para mais ou para menos de acordo com o ângulo medido até que este se aproxime ao máximo de zero (1×10^{-6}). Esse procedimento é realizado para duas orientações do magneto em torno do eixo Y denominadas 0° e 180° . Ou seja, encontrado o pulso de início de encoder equivalente ao zero angular para a posição 0° , rotaciona-se o magneto em 180° em torno do eixo Y e reinicia-se o procedimento para determinar o pulso de início para a nova orientação do ímã.



Figura 4: Rotação em Y do ímã no berço.

Após o conhecer o valor do pulso do encoder que corresponde ao zero angular para as duas orientações em Y, a média aritmética dos valores será igual ao pulso e encoder médio para as duas posições. Por exemplo:

$$\text{Pulso}_{\text{médio}} = \frac{349634 + 349629}{2} = 349631$$

Zero em 0° Y
Zero em 180° Y

Logo, para este caso, o pulso de encoder zerado para as duas posições será de 349631.

1.2.5 – Ajustes finos para componente sextupolar

Na medida do quadrupolo normal ocorre o aparecimento de uma componente sextupolar espúria altamente sensível à catenária gravitacional. Logo, procurando manter a sagitta da bobina próxima a zero e que minimize os efeitos de erros, existe a necessidade de manter a tração ideal aplicada a bobina sobre seu eixo de rotação. Uma das formas empregadas nesse processo é aumentar a tração das molas cuja constante elástica é 0.8 kgf/mm.

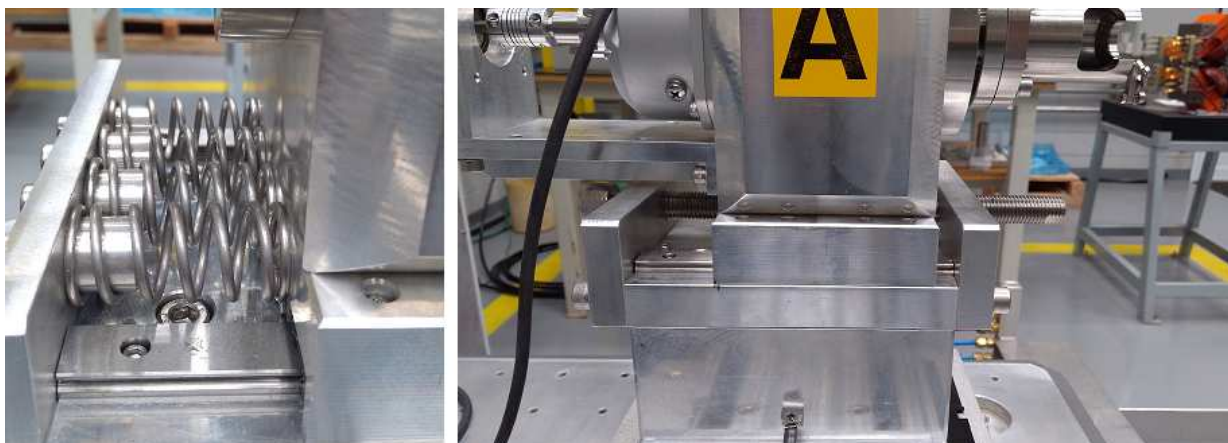


Figura 5: À esquerda, molas de tração horizontal do mancal B e à direita, parafuso de aperto horizontal.

Além de recuar o valor da componente sextupolar Skew, há melhoramento da repetibilidade com o melhor encaixe e acomodamento do sistema.

Ainda relativo à otimização da componente sextupolar, o ajuste dos parafusos do mancal também mostrou influência no comportamento do Sextupolo Skew. Isso se deve, pois, o aperto dos parafusos de fixação implicam maior pressão sobre a superfície do suporte e isto provoca, mesmo que em milésimo de milímetros, desalinhamento vertical. Portanto, diferentes torques nos parafusos de fixação podem contribuir para o favorecimento do Sextupolo Skew no sistema de medição. Nota-se que para o Sextupolo Normal, a posição pivotal do eixo é mais relevante nesse caso. Testes empíricos mostraram que a adoção de molas envolvendo os parafusos do mancal podem regular mais eficientemente a pressão dos mesmos. Todavia, requer mais investigação.

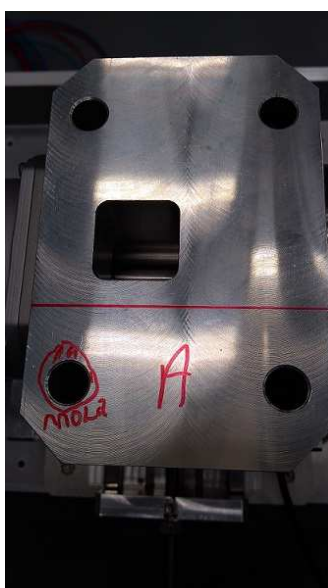
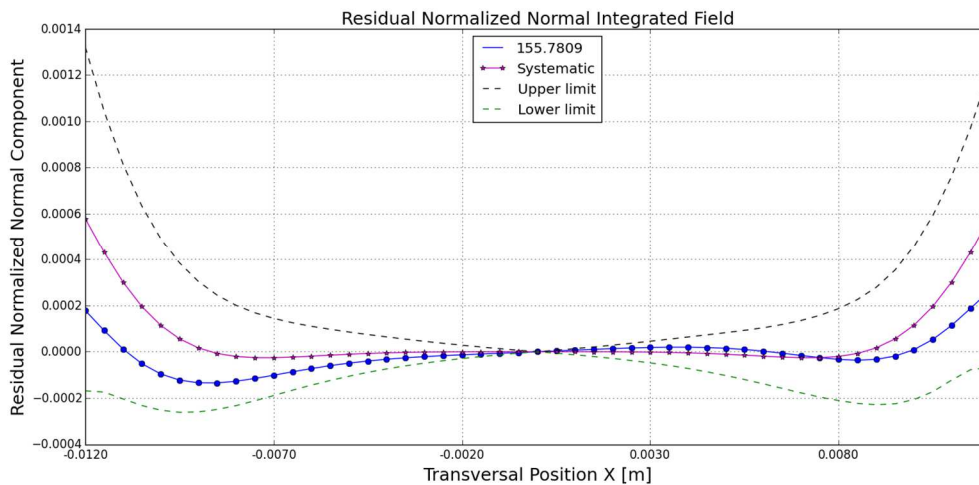


Figura 6: Aperto nos parafusos do mancal.

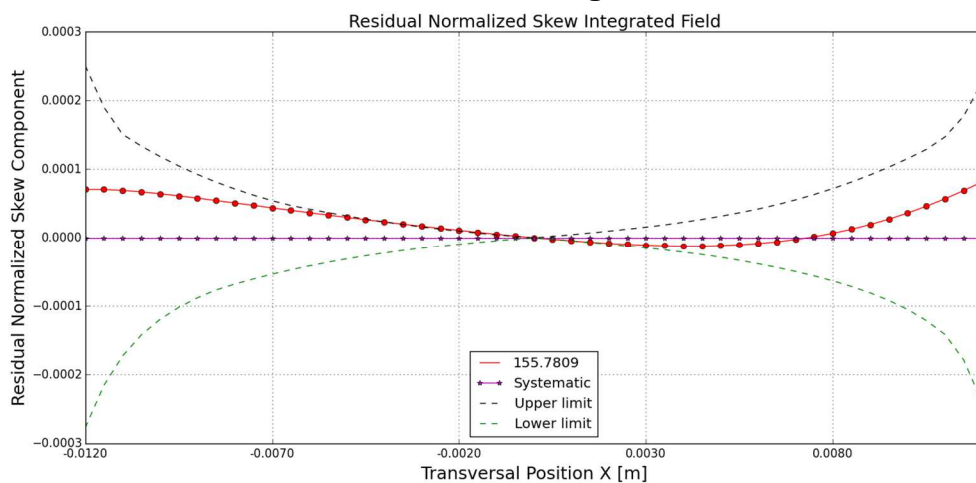
2. Resultados

Após o processo de ajustes, os resultados mostrados para o Quadrupolo Q20-003 foram obtidos conforme a execução padrão e mantiveram-se dentro dos valores de especificação até então estabelecidos. Os recortes e ajustes aqui expostos, corroboraram para melhoria dos resultados e aceite às tolerâncias.

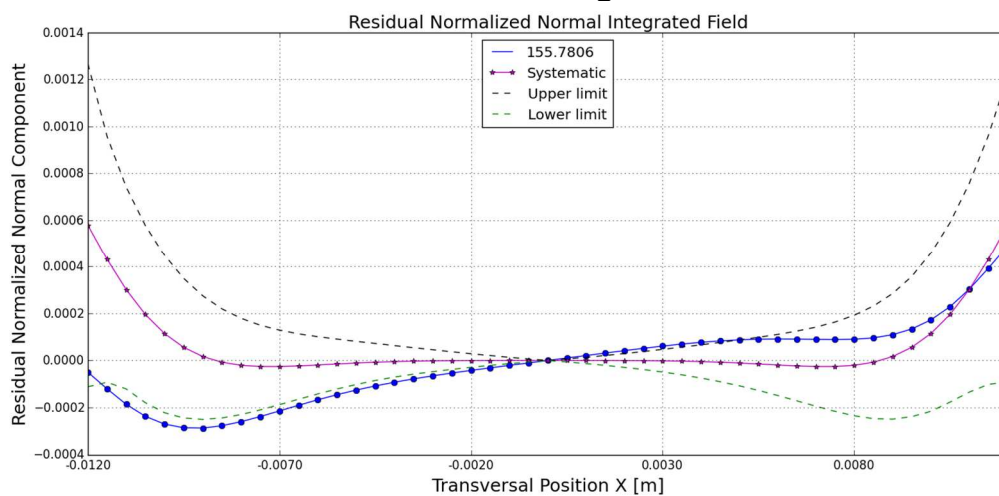
Residual Normal Normalizado Integrado – Q20-003 – 0°



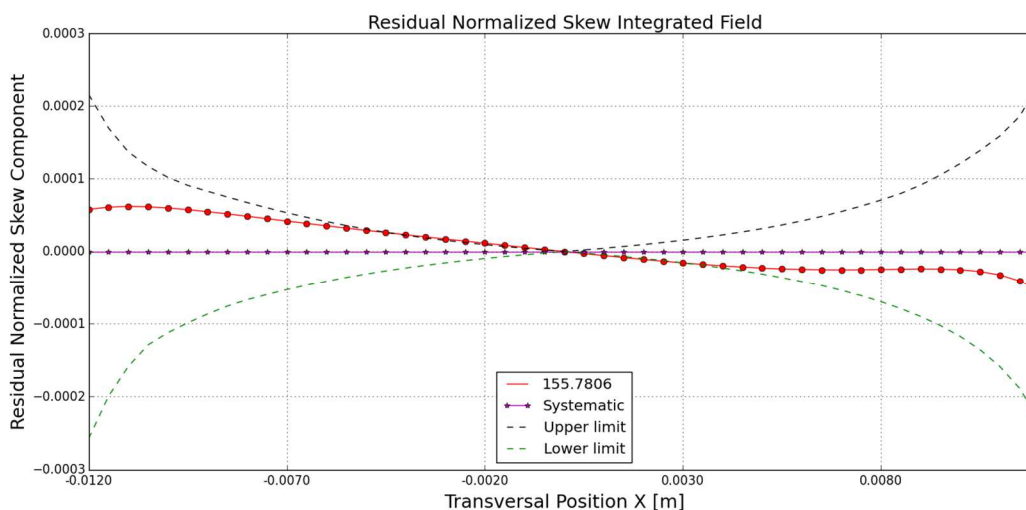
Residual Skew Normalizado Integrado – Q20-003 – 0°



Residual Normal Normalizado Integrado – Q20-003 – 180°



Residual Skew Normalizado Integrado – Q20-003 – 180°

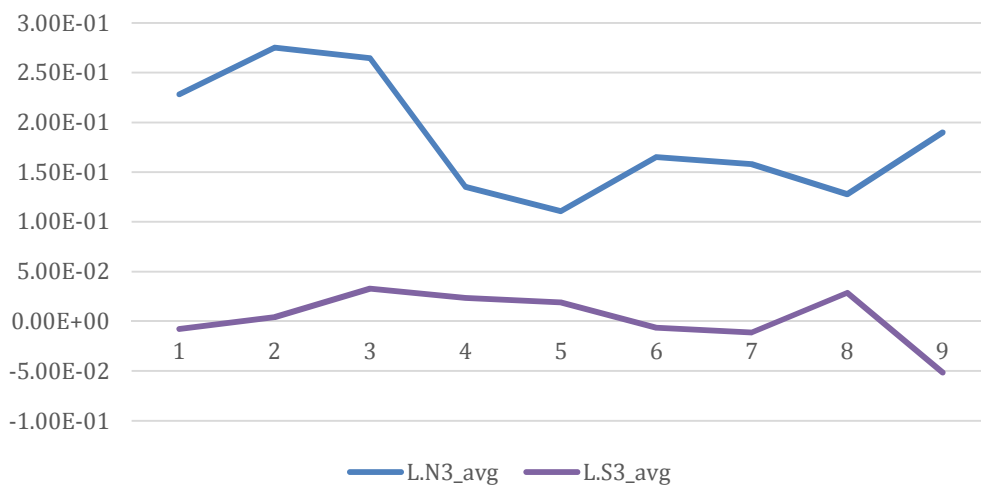


Acompanhamento do Sextupolo Normal e Skew para Q20-003

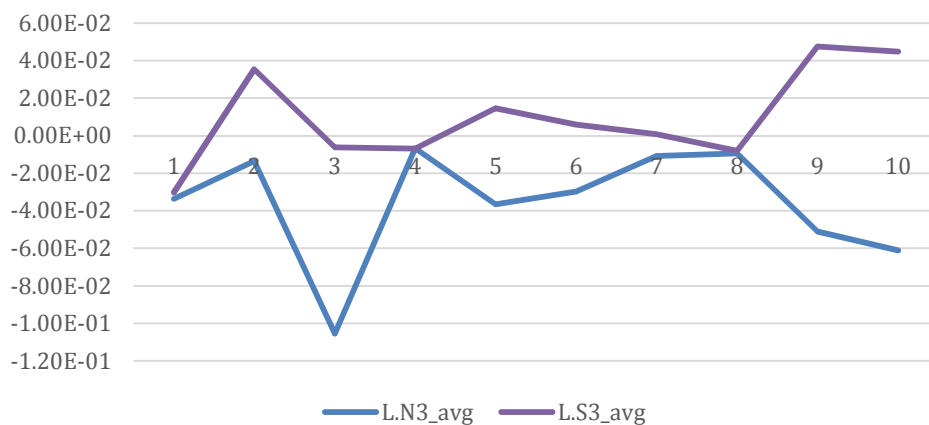
Objetivo: Traçar um acompanhamento da evolução do sextupolo Normal e Skew ao longo das mudanças promovidas na bancada.

180° em Y										
n	LN ₃ _avg	%	LN ₃ _std	LS ₃ _avg	%	LS ₃ _std	Ang(rad)	Encoder	Obsevação	Data
1	2.28E-01	---	2.41E-02	-7.88E-03	---	6.85E-03	8.35E-05	329661	Condição inicial	13/04/2017
2	2.75E-01	20.63	3.25E-02	4.22E-03	-153.52	1.04E-02	9.87E-05	329661	Novo berço	10/05/2017
3	2.64E-01	15.913	2.93E-02	3.28E-02	-515.55	1.21E-02	8.61E-05	329664	Corrente principal I=155 A	16/05/2017
4	1.35E-01	-40.742	2.19E-02	2.35E-02	-398.28	2.12E-02	1.32E-04	329669	Nova calibração	17/05/2017
5	1.11E-01	-51.436	1.96E-02	1.91E-02	-341.81	8.31E-03	6.61E-05	329673	Média do encoder a 0° e 180° (329673)	17/05/2017
6	1.65E-01	-27.71	2.32E-02	-6.39E-03	-18.884	8.91E-03	1.31E-04	329668	Tração da mola	18/05/2017
7	1.58E-01	-30.739	2.14E-02	-1.13E-02	42.976	9.00E-03	6.84E-05	329672	Tração da mola e média pulso	18/05/2017
8	1.28E-01	-44.035	2.63E-02	2.87E-02	-464.6	1.32E-02	7.17E-05	330362	Novo eixo e novo pulso 330362	22/05/2017
9	1.90E-01	-16.751	2.31E-02	-5.14E-02	552.19	7.83E-03	6.22E-05	330361	Novo eixo e novo pulso 330361	23/05/2017
0° em Y										
n	LN ₃ _avg	%	LN ₃ _std	LS ₃ _avg	%	LS ₃ _std	Ang(rad)	Encoder	Obsevação	Data
1	-3.37E-02	---	2.69E-02	-3.02E-02	---	7.17E-03	-1.21E-04	329661	Condição inicial	13/04/2017
2	-1.36E-02	-59.634	2.32E-02	3.53E-02	-217.11	8.71E-03	-1.34E-05	329661	Novo berço	10/05/2017
3	-1.05E-01	212.67	2.30E-02	-6.23E-03	-79.364	1.32E-02	4.98E-05	329661	Corrente principal I=155 A	16/05/2017
4	-6.67E-03	-80.217	2.18E-02	-6.91E-02	-77.121	1.64E-02	-1.07E-05	329669	Nova calibração	17/05/2017
5	-3.65E-02	8.1616	2.14E-02	1.47E-02	-148.68	9.11E-03	-5.71E-06	329668	Tração da mola	18/05/2017
6	-2.97E-02	-12.006	1.96E-02	5.95E-03	-119.71	1.44E-02	-6.35E-05	329672	Tração da mola e média pulso	18/05/2017
7	-1.09E-02	-67.748	2.13E-02	8.10E-04	-102.68	1.25E-02	5.80E-06	330357	Troca do eixo	22/05/2017
8	-9.45E-03	-71.993	2.64E-02	-8.16E-03	-72.962	1.89E-02	-7.39E-05	330362	Novo eixo e novo pulso 330362	22/05/2017
9	-5.11E-02	51.462	2.37E-02	4.76E-02	-257.56	1.21E-02	-1.21E-06	330358	Novo eixo e novo pulso 330358	23/05/2017
10	-6.11E-02	81.194	2.59E-02	4.48E-02	-248.46	1.63E-02	-7.57E-05	330361	Novo eixo e novo pulso 330361	23/05/2017

Sextupolos Nn e Sn - 180° Y



Sextupolos Nn e Sn - 0° Y



Sextupolo Skew 0° x 180°

