

Resultados dos testes de ordenamento dos blocos magnéticos do Delta20

Luana Vilela, Reinaldo Basílio e Leandro Silveira – 05/11/2020

Este relatório apresenta os resultados dos testes de ordenamento dos blocos magnéticos do protótipo do ondulador Delta (Delta20). Os blocos magnéticos foram inicialmente caracterizados com bobinas de Helmholtz e os valores obtidos para a magnetização remanente foram utilizados em simulações magnéticas para determinar um ordenamento de montagem com integrais próximas de zero para as três componentes do campo (“melhor ordenamento”) e também para determinar um ordenamento que resultasse em valores grandes de integrais (“pior ordenamento”). Os blocos foram montados em ambos os ordenamentos citados e o campo magnético resultante foi caracterizado com sensores Hall (vide Figura 1).

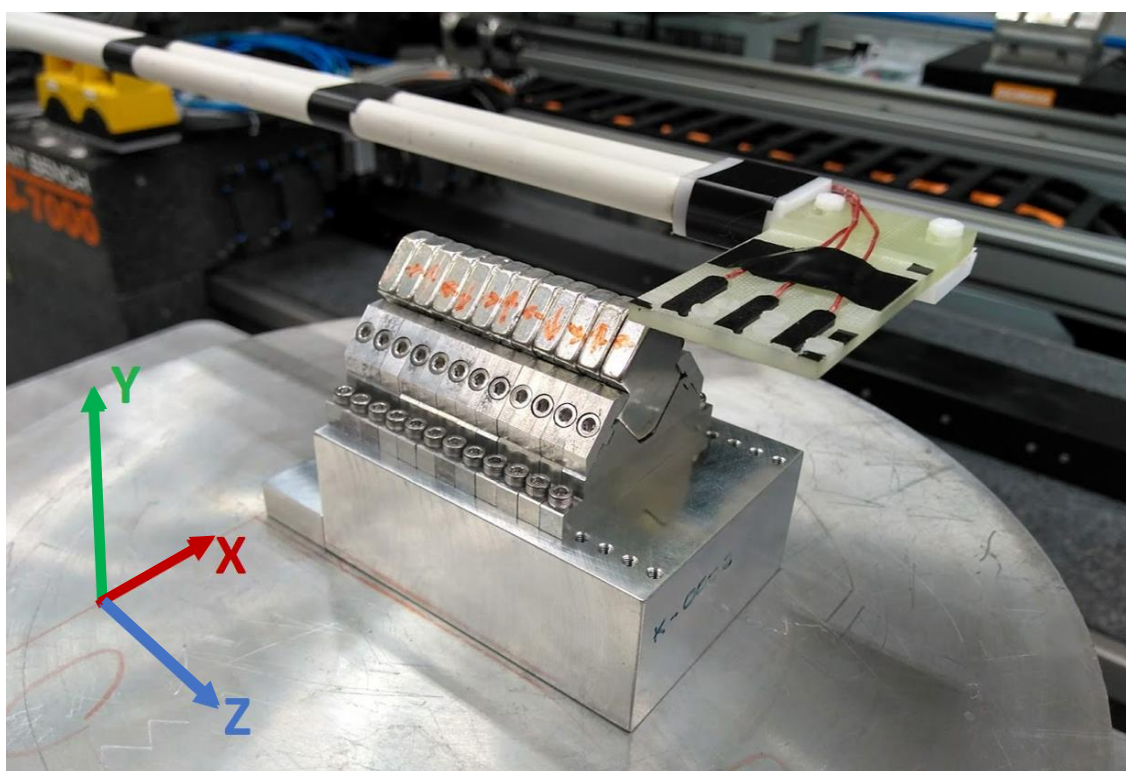


Figura 1 - Subcassete utilizado nos testes de ordenamento dos blocos magnéticos.

1. Medidas com bobinas de Helmholtz

Um conjunto de 120 blocos magnéticos, 60 com magnetização vertical (Tipo S) e 60 com magnetização longitudinal (Tipo X), foi medido com as bobinas de Helmholtz [1, 2]. Destes blocos foram escolhidos para os testes de ordenamento aqueles que apresentavam os maiores erros na direção da magnetização principal. Os resultados das medidas de magnetização dos blocos selecionados são mostrados na Tabela 1. O desvio padrão entre as amplitudes de magnetização

para blocos do mesmo tipo é de aproximadamente 0.5%, porém a amplitude média dos blocos Tipo S é em torno de 1% maior que a amplitude média dos blocos Tipo X.

Tabela 1 – Valores obtidos com as bobinas de Helmholtz para a magnetização remanente dos blocos utilizados nos testes de ordenamento.

| Blocos com magnetização principal vertical (Tipo S) | | | | | |
|---------------------------------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------------------|
| Identificação do Bloco | Mx [G] | My [G] | Mz [G] | M [G] | θ_{err} [°] |
| 0001-S | 680 | 13293 | -57 | 13310 | 2.94 |
| 0009-S | -566 | 13326 | -102 | 13338 | 2.47 |
| 0026-S | -609 | 13214 | -96 | 13229 | 2.67 |
| 0017-S | -441 | 13310 | 232 | 13320 | 2.14 |
| 0057-S | -351 | 13175 | 604 | 13194 | 3.03 |
| 0059-S | -394 | 13163 | 504 | 13179 | 2.78 |
| Blocos com magnetização principal longitudinal (Tipo X) | | | | | |
| Identificação do Bloco | Mx [G] | My [G] | Mz [G] | M [G] | θ_{err} [°] |
| 0014-X | -1109 | 816 | 13081 | 13153 | 6.01 |
| 0015-X | -996 | -348 | 13164 | 13206 | 4.58 |
| 0029-X | -1150 | -159 | 13126 | 13177 | 5.05 |
| 0041-X | 1070 | 98 | 13092 | 13136 | 4.69 |
| 0053-X | -86 | -1175 | 12998 | 13051 | 5.18 |
| 0059-X | 1104 | -359 | 13032 | 13084 | 5.09 |

2. Simulações magnéticas

O ordenamento dos blocos foi definido a partir de resultados de simulações magnéticas feitas com o software Radia [3]. Foram calculadas as integrais do campo magnético para diversas possibilidades ($\approx 2.000.000$) de montagem do subcassete (vide Figura 2). Dentre estas, foram escolhidas a que apresentou o menor valor para a integral do campo magnético transversal e a que apresentou o maior valor para a integral do campo transversal. A Figura 3 mostra os dois ordenamentos escolhidos e a Tabela 2 apresenta resultados simulados para as integrais de campo para cada caso.

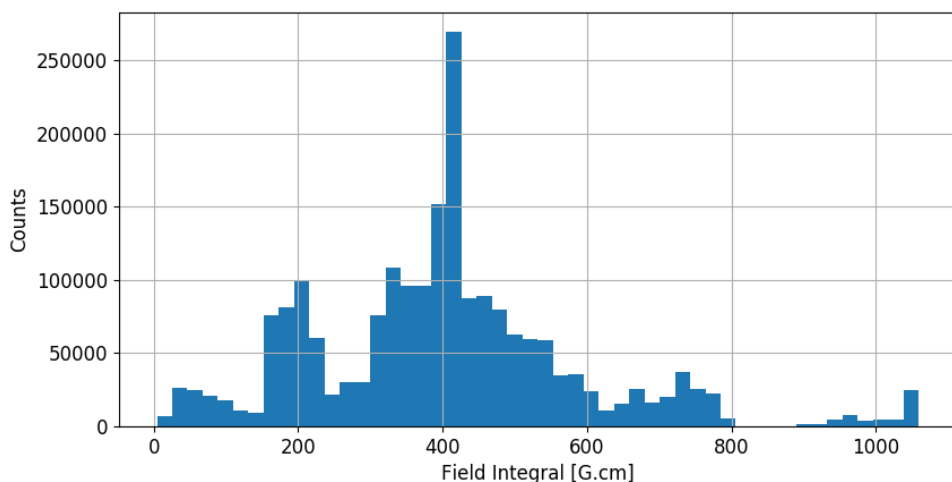


Figura 2 - Módulo da integral de campo transversal para todos os ordenamentos simulados.

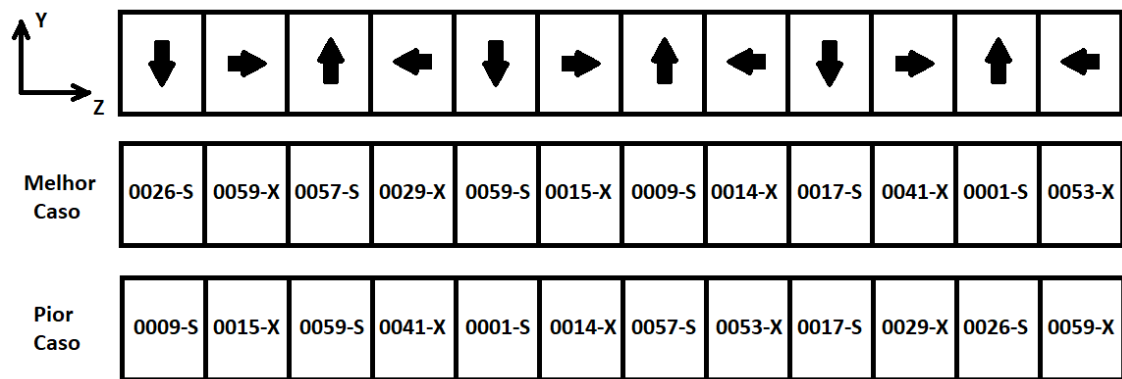


Figura 3 - Ordenamentos selecionados para montagem do subcassete.

Tabela 2- Valores das integrais do campo obtidos com simulações magnéticas para os dois ordenamentos ($y=3.8\text{ mm}$).

| | IBx [G.cm] | IBy [G.cm] | IBz [G.cm] |
|-------------|------------|------------|------------|
| Melhor caso | -2 | -19 | -8 |
| Pior caso | -1023 | -249 | -9 |

3. Medidas com sensores Hall

3.1. Melhor Caso

Inicialmente, os blocos foram montados no subcassete seguindo o ordenamento que gerou os melhores resultados nas simulações magnéticas. O campo magnético para este caso é apresentado na Figura 4, onde pode ser observado que existem discrepâncias de até 350 G entre os valores medidos e simulados. Os resultados para as integrais de campo, mostrados na Figura 5, também ficaram bem diferentes do esperado, com discrepâncias de até 170 G.cm.

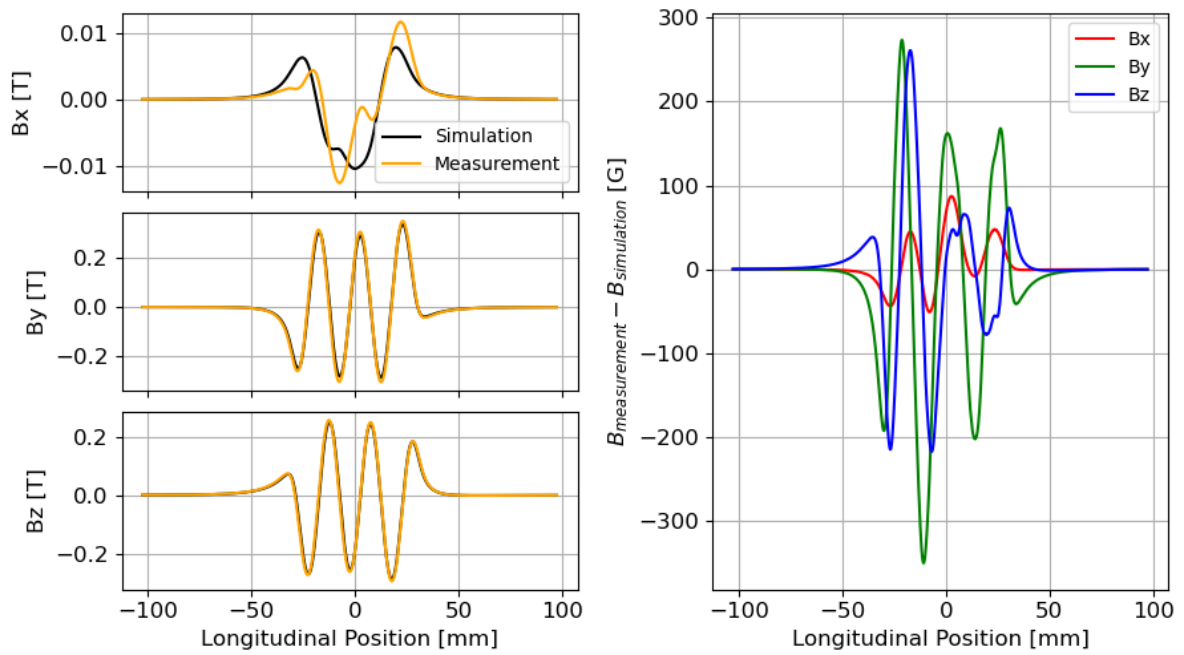


Figura 4 - Comparação entre o campo medido e simulado na posição $x=0$ mm e $y = 3.8$ mm para o melhor ordenamento dos blocos.

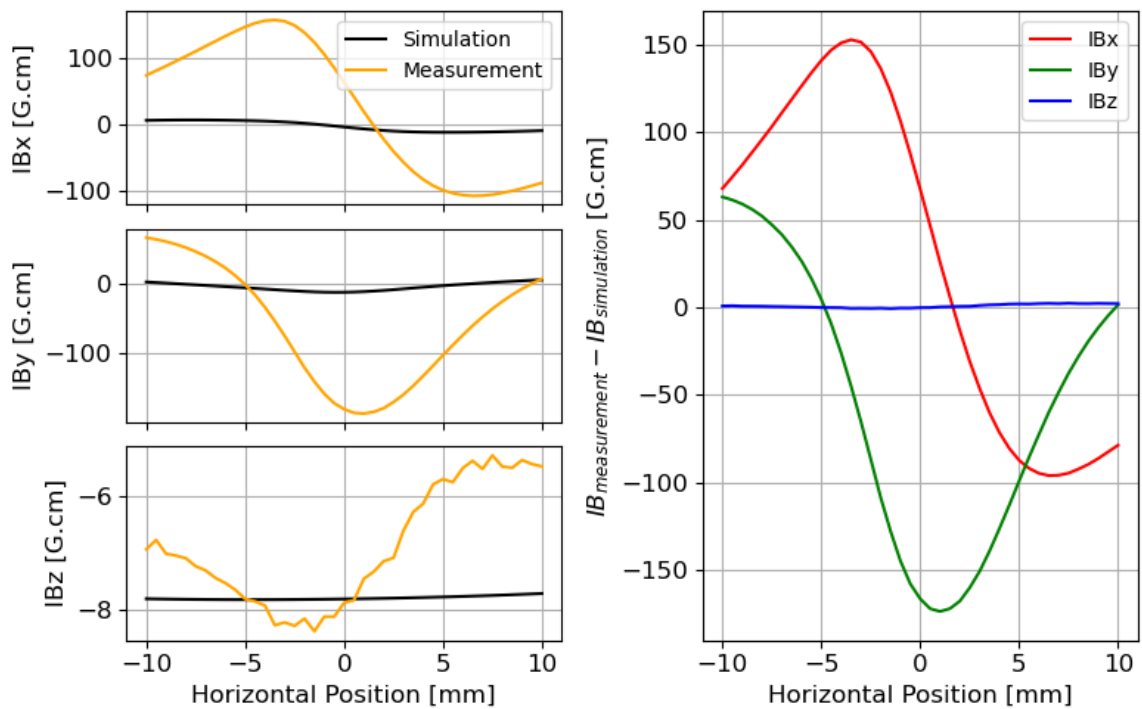


Figura 5 - Comparação entre as integrais de campo medidas e simuladas na posição $y=3.8$ mm para o melhor ordenamento dos blocos.

Devido à essa diferença entre os resultados medidos e simulados foi levantada a hipótese de que algum erro poderia ter ocorrido durante a montagem dos blocos no subcassete. Para checar essa suposição, os blocos foram desmontados e remontados no subcassete seguindo o mesmo

ordenamento. Os resultados das medidas após a remontagem são mostrados nas Figura 6 e Figura 7, onde pode-se notar que o perfil das integrais de campo é bem próximo ao obtido antes da remontagem.

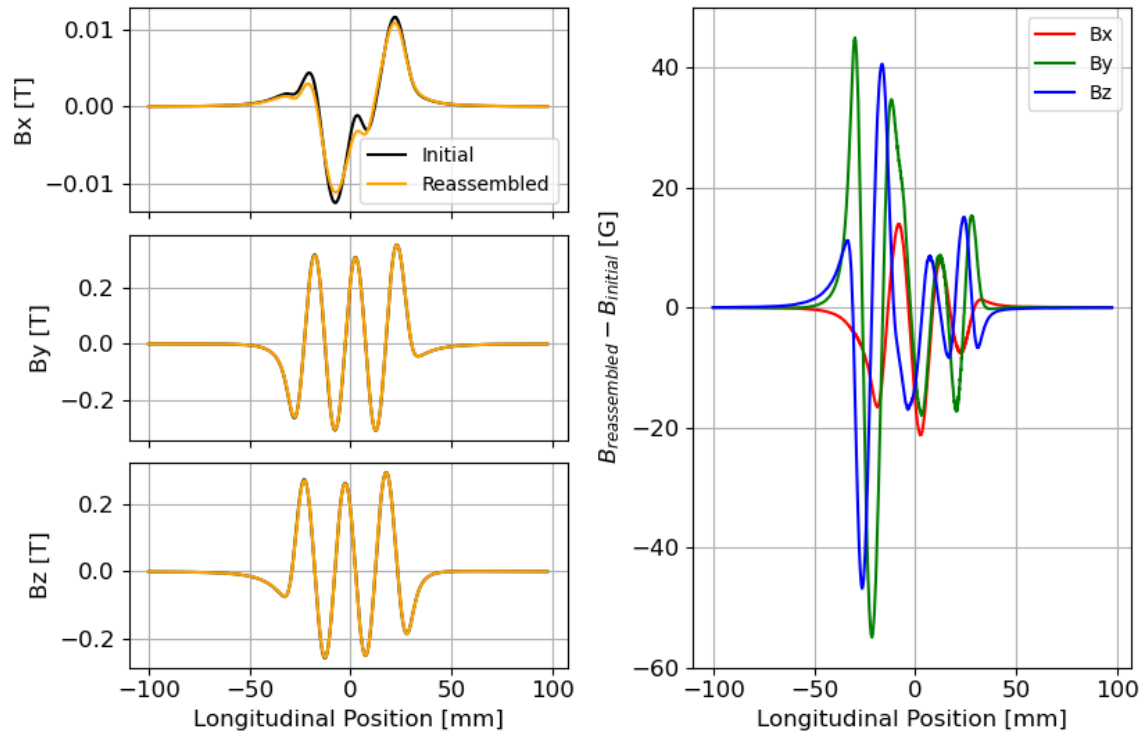


Figura 6 - Diferença no campo magnético do subcassete após remontagem.

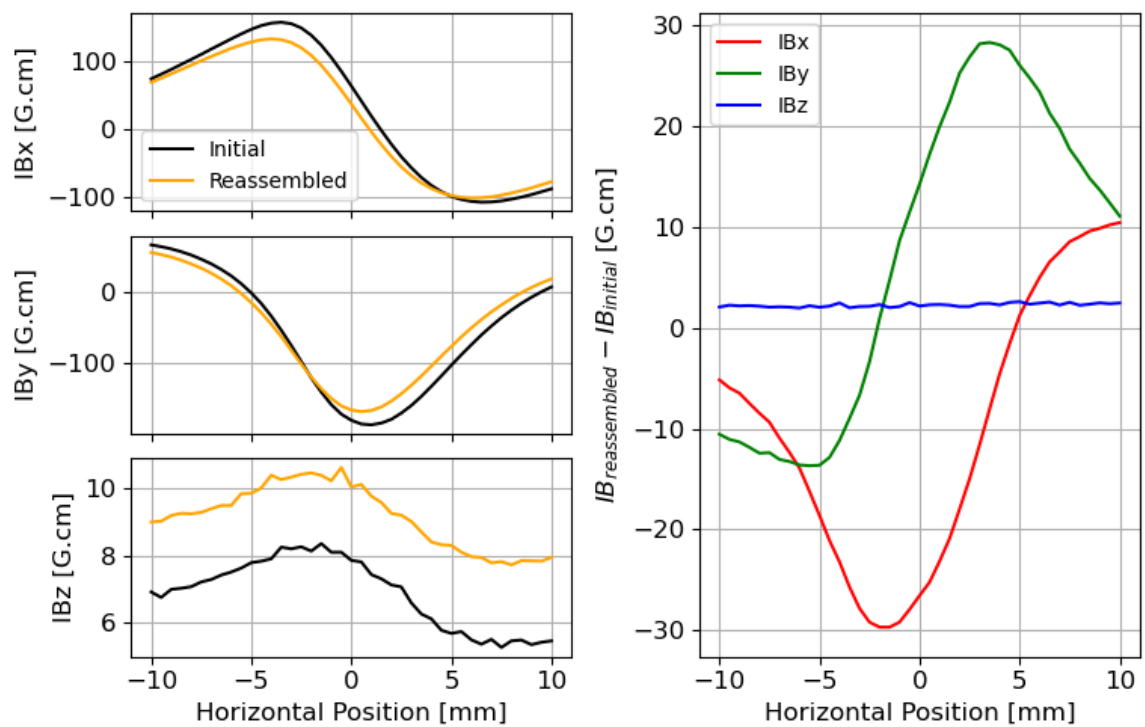


Figura 7 - Diferença nas integrais do campo magnético do subcassete após remontagem.

3.2. Pior Caso

As Figura 8 e Figura 9 apresentam os resultados das medições do subcassete montado no ordenamento que gerou o pior resultado nas simulações magnéticas. A concordância entre os valores medidos e simulados é melhor neste caso, a maior diferença observada entre os valores das integrais de campo foi aproximadamente 90 G.cm.

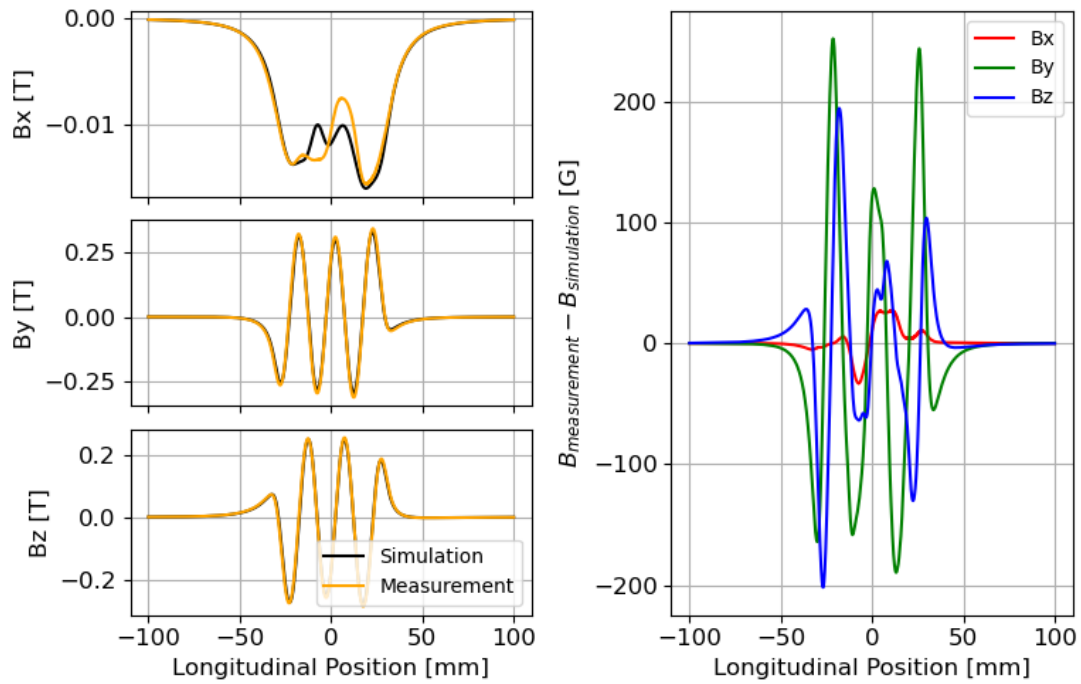


Figura 8 - Comparação entre o campo medido e simulado na posição $x=0$ mm e $y=3.8$ mm para o pior ordenamento dos blocos.

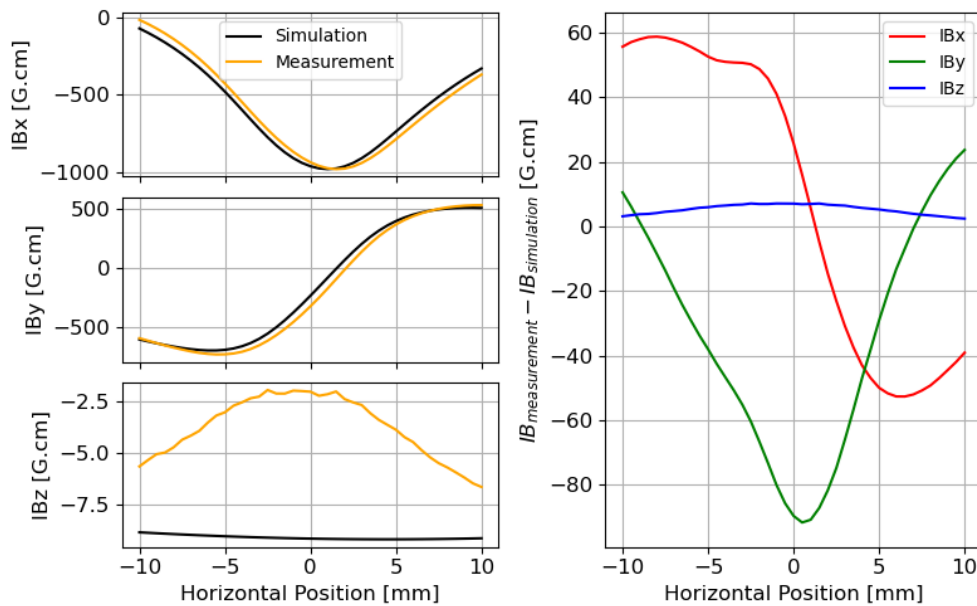


Figura 9 - Comparação entre as integrais de campo medidas e simuladas na posição $y=3.8$ mm para o pior ordenamento dos blocos.

3.3. Comparação entre os ordenamentos

Tabela 3 - Valores das integrais do campo obtidos a partir de medidas com sensores Hall para os dois ordenamentos ($y=3.8$ mm).

| | IBx [G.cm] | | IBy [G.cm] | | IBz [G.cm] | |
|--------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | Simulação | Medida | Simulação | Medida | Simulação | Medida |
| Melhor caso | -2 | 65 | -19 | -179 | -8 | -8 |
| Melhor caso (remontagem) | -2 | 38 | -19 | -165 | -8 | -10 |
| Pior caso | -1023 | -938 | -249 | -321 | -9 | -9 |

4. Fontes de erros

Diversos erros podem ter contribuído para as discrepâncias observadas entre os valores simulados e medidos do campo magnético, alguns deles são listados a seguir.

4.1. Fontes de erros nas medidas com bobinas de Helmholtz

Para medir a magnetização dos blocos com bobinas de Helmholtz é necessário determinar o volume de cada bloco [4]. Esse valor foi estimado a partir de medidas da massa dos blocos, utilizando o valor nominal de 0.0075 g.mm^{-3} para a densidade do material (NdFeB). A incerteza quanto ao valor da densidade gera uma incerteza de igual proporção sobre o valor da amplitude de magnetização. As medidas também dependem do correto posicionamento do bloco no centro das bobinas de Helmholtz e erros de posicionamento podem afetar tanto a amplitude quanto a direção da magnetização medida. Vale mencionar que com esse processo de caracterização é possível obter apenas a magnetização média do bloco, portanto esse método não leva em consideração as não-uniformidades da magnetização. Além disso, durante as medidas realizadas, não foi monitorada a temperatura dos blocos magnéticos e a magnetização remanente depende da temperatura.

4.2. Fontes de erros nas medidas com sensores Hall

Nas medidas com sensores Hall, é necessária uma curva de calibração para converter a tensão aferida pelo sensor em valores de campo magnético. Essa curva de calibração pode conter erros, o principal deles decorre da dependência do sensor e das placas eletrônicas que fazem o processamento do sinal com a temperatura.

Para realizar as comparações com as simulações também foi necessário estimar o posicionamento dos sensores em relação ao subcassete. Essa estimativa foi feita com um nível ótico, considerando a face superior do primeiro bloco como referência. Neste processo foi verificada a existência de erros de posicionamento vertical de até 0.1 mm entre os blocos do subcassete e estes erros não foram considerados nas simulações magnéticas.

5. Possíveis melhorias

Alguns cuidados adicionais e melhorias podem ser implementados para aumentar a acurácia dos resultados aqui apresentados. Um deles é monitorar e ajustar a temperatura ambiente e, consequentemente a temperatura dos blocos magnéticos, durante as medições tanto com as bobinas de Helmholtz quanto com sensores Hall. As curvas de calibração dos sensores Hall também precisam ser refeitas em condições melhores de controle de temperatura. Para o caso de blocos magnéticos com volume muito reduzido, como é o caso dos blocos utilizados nos testes, é importante amplificar o sinal da bobina de Helmholtz para aumentar a precisão e repetibilidade de medida. Os erros de posicionamento dos blocos no subcassete também podem ser minimizados para obter resultados mais próximos aos simulados. Além disso, os métodos de fiducialização utilizados para posicionamento do sensor Hall podem ser melhorados, utilizando por exemplo agulhas magnéticas.

6. Conclusões

Embora os resultados das medidas magnéticas para as integrais de campo apresentem diferenças de até 170 G.cm em relação aos valores simulados, foi possível verificar a importância do processo de otimização do ordenamento dos blocos magnéticos, principalmente no caso da componente horizontal do campo, que apresentou uma redução de aproximadamente 870 G.cm entre o pior e o melhor ordenamento testados.

7. Referências

- [1] Vilela, L., Basilio, R., “Validação da medida da magnetização dos blocos do ondulador Delta usando a bobina de Helmholtz”, 2019, disponível em: https://github.com/lnls-ima/documentation/blob/master/2019-09-20_testes_bobina_helmholtz.pdf
- [2] Vilela, L., “Resultados da caracterização magnética dos blocos do ondulador Delta”, 2019, disponível em: https://github.com/lnls-ima/documentation/blob/master/2019-09-26_medidas_blocos_delta.pdf
- [3] Radia: <http://www.esrf.eu/Accelerators/Groups/InsertionDevices/Software/Radia>
- [4] Trout, S. R., “Use of Helmholtz Coils for Magnetic Measurements”, IEEE Transactions on Magnetism, v. 24, n. 4, p. 2108-2111, 1988.