



**CNPEM**



16 de Janeiro de 2018

## Resultados das simulações 2D dos ímãs de referência

Luana Vilela

Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, Campinas, Brazil

Neste relatório são apresentados os resultados das simulações 2D dos ímãs da referência para as medidas magnéticas. Estes ímãs serão compostos por blocos de magnetos permanentes seguindo o arranjo de Halbach. Os três ímãs, um dipolo, um quadrupolo e um sextupolo, serão fabricados pela empresa Stanford Magnets.

## Simulações magnéticas

As simulações magnéticas foram feitas em 2D utilizando o software **MagNet**. Foi utilizado o material **N52** para os blocos de imã permanente e o material **1006 Steel** para a envoltória de aço carbono. Todos os imãs foram simulados com as dimensões mostradas na figura abaixo.

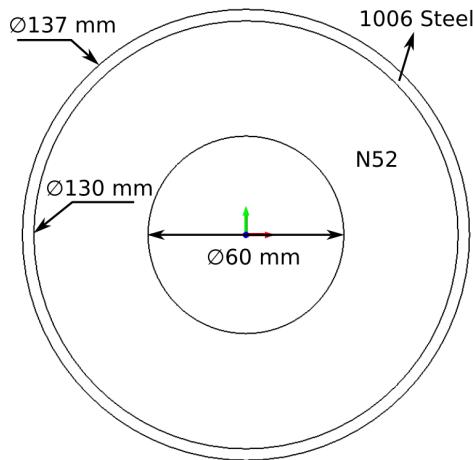


Figure 1: Seção transversal dos ímãs de referência.

## Dipolo

Foram estudados os casos com 8 e 12 blocos de imã permanente. Os resultados são apresentados a seguir.

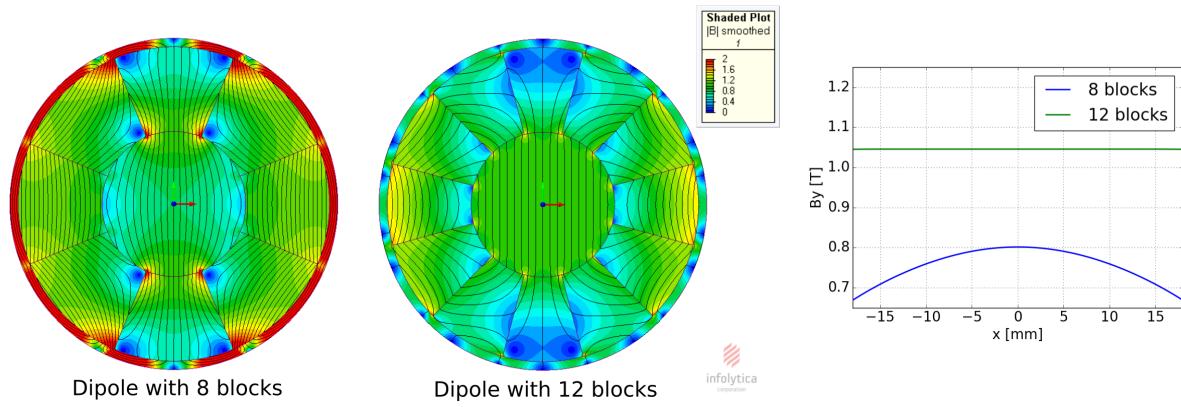
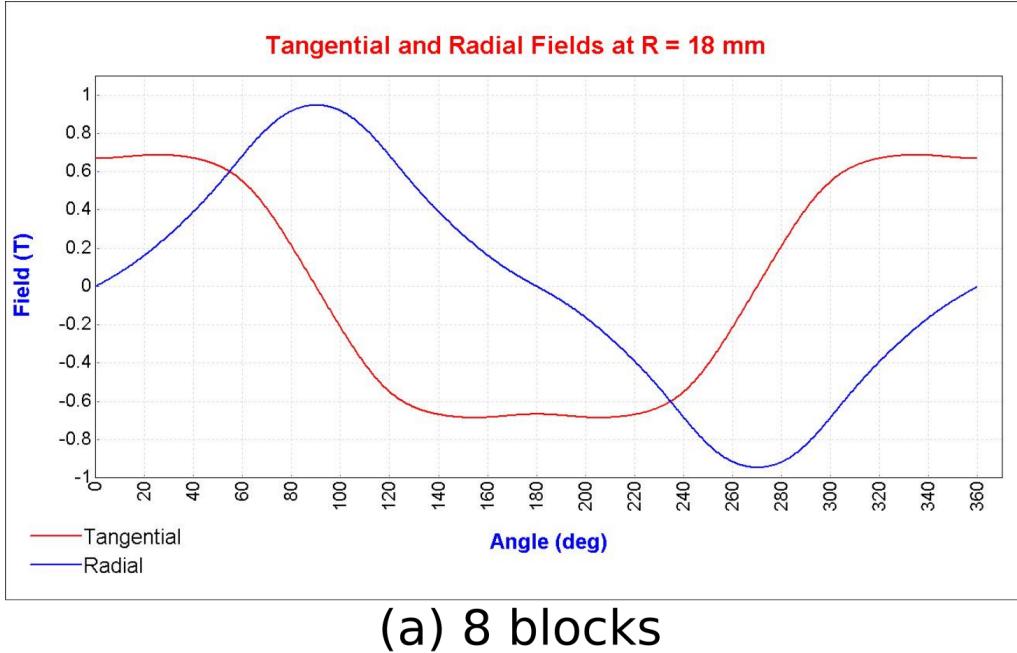


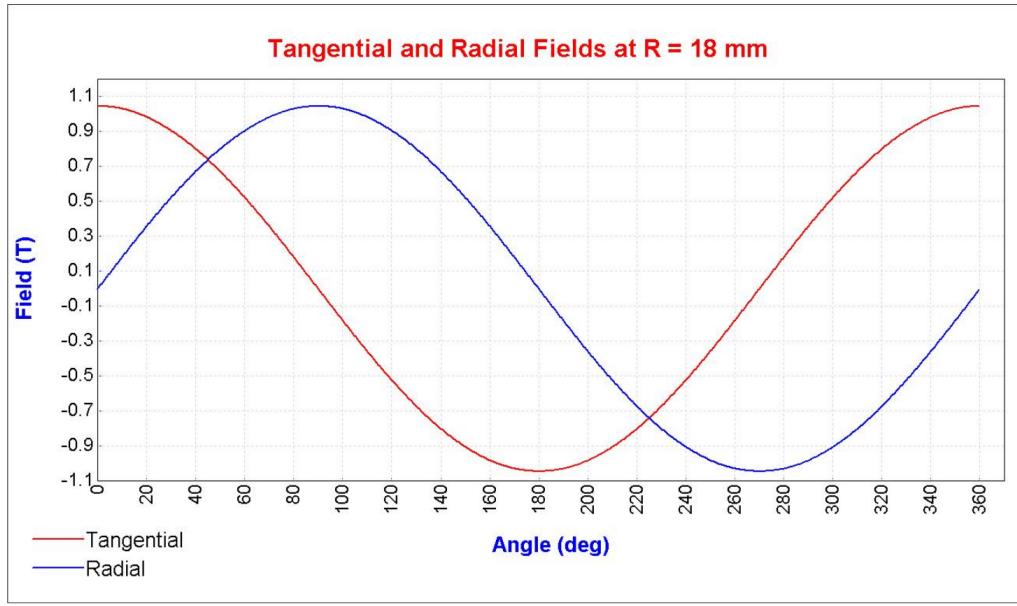
Figure 2: Campo magnético dos dipolos compostos por 8 e 12 blocos de imã permanente.

Table 1: Homogeneidade da componente vertical do campo magnético do dipolo.

nº de blocos	Homogeneidade [%]			
	x=3mm	x=6mm	x=10mm	x=20mm
8	0.48	1.93	5.27	20.52
12	$1 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-6}$	$6 \times 10^{-5}$	0.15



(a) 8 blocks



(b) 12 blocks

Figure 3: Componente tangencial e radial do campo magnético dos dipolos com 8 e 12 blocos para um raio de 18 mm.

Table 2: Amplitude do campo magnético vertical no centro do dipolo.

nº de blocos	By [T]
8	0.801
12	1.045

Table 3: Multipolos normalizados obtidos a partir da transformada de Fourier da componente radial do campo magnético do dipolo para um raio de 18 mm. Os multipolos residuais sistemáticos estão marcados em azul.

n	Normal		Skew	
	8 blocos	12 blocos	8 blocos	12 blocos
0	1.0e+0	1.0e+0	2.2e-5	1.4e-6
1	5.9e-6	-2.2e-9	1.1e-7	8.4e-10
2	-1.7e-1	-2.1e-7	1.9e-5	-4.2e-6
3	9.4e-7	4.7e-9	1.5e-7	-5.0e-9
4	1.3e-2	-2.4e-6	7.8e-6	8.0e-7
5	1.7e-7	-7.7e-9	-6.6e-9	6.7e-9
6	-1.1e-4	7.6e-7	-2.2e-6	9.5e-7
7	-2.4e-8	6.8e-9	-3.4e-8	-6.4e-9
8	-5.1e-3	2.1e-7	7.4e-7	-4.4e-7
9	5.6e-9	-3.0e-9	1.5e-8	9.6e-9
10	8.9e-4	-8.5e-7	-1.2e-7	1.8e-8
11	3.1e-8	9.9e-9	1.3e-8	2.5e-9
12	-7.9e-5	-4.4e-4	-2.6e-7	7.2e-8
13	-3.4e-8	-1.8e-8	1.2e-8	-1.3e-9
14	4.5e-8	3.7e-10	2.3e-8	-2.7e-9

Como pode ser observado a mudança de 8 para 12 blocos no dipolo aumenta a amplitude do campo magnético, reduz a região saturada da camada de aço carbono e amplia consideravelmente a qualidade do campo.

## Quadrupolo

Também foram estudados os efeitos da mudança de 8 para 12 blocos para o quadrupolo. As análises foram feitas para o caso de um quadrupolo skew para manter a compatibilidade com a direção da magnetização dos blocos enviada pelo fabricante.

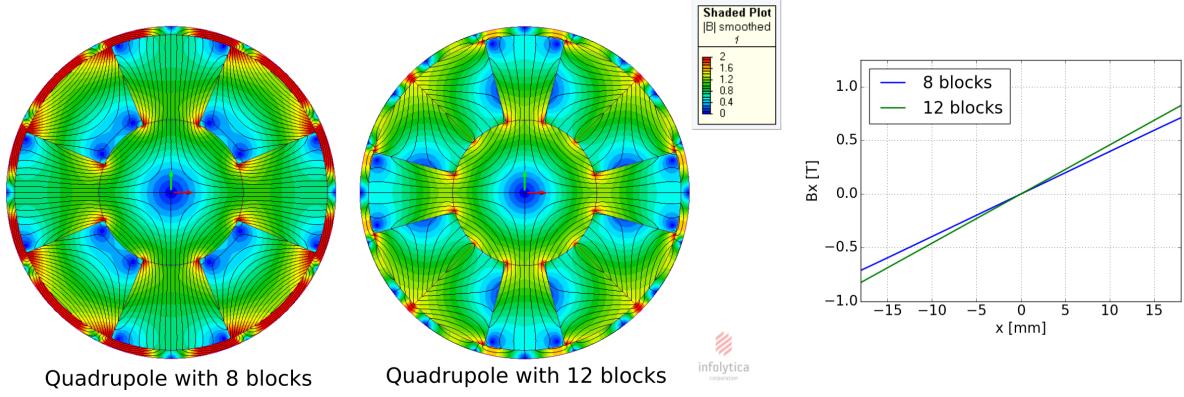


Figure 4: Campo magnético dos quadrupolos compostos por 8 e 12 blocos de imã permanente.

Table 4: Gradiente quadrupolar.

nº de blocos	B' [T/m]
8	39.70
12	45.88

Table 5: Multipolos normalizados obtidos a partir da transformada de Fourier da componente radial do campo magnético do quadrupolo para um raio de 18 mm. Os multipolos residuais sistemáticos estão marcados em azul.

n	Normal		Skew	
	8 blocos	12 blocos	8 blocos	12 blocos
0	8.4e-7	-1.3e-7	1.2e-5	1.7e-7
1	1.7e-6	-2.3e-6	1.0e+0	1.0e+0
2	-1.3e-6	2.0e-8	-7.9e-6	-3.2e-8
3	-2.1e-5	4.0e-6	7.5e-6	4.5e-7
4	2.3e-7	-2.7e-9	5.4e-6	3.8e-9
5	-6.5e-6	-4.8e-7	<b>8.9e-4</b>	<b>2.1e-7</b>
6	-5.5e-8	1.7e-10	-1.8e-6	7.3e-9
7	-1.4e-7	-7.8e-7	-4.2e-7	5.8e-7
8	-4.5e-9	-6.4e-9	3.1e-7	-1.4e-9
9	-2.7e-7	3.2e-7	<b>-4.8e-3</b>	<b>4.7e-6</b>
10	-2.5e-8	-4.1e-9	3.2e-8	-1.5e-8
11	-3.1e-8	1.5e-8	-2.2e-7	-1.5e-7
12	-3.0e-8	7.7e-9	3.6e-8	-5.5e-9
13	2.1e-7	-3.3e-8	<b>-9.9e-8</b>	<b>-4.4e-4</b>
14	-1.5e-8	6.4e-10	1.2e-8	4.3e-9

Assim como no caso do dipolo, o modelo de 12 blocos tem uma região saturada menor que o modelo com 8 blocos. O gradiente quadrupolar é maior com 12 blocos e os multipolos residuais de baixa ordem são menores.

## Sextupolo

Para o sextupolo apenas o modelo com 12 blocos foi analisado. Os resultados são mostrados abaixo.

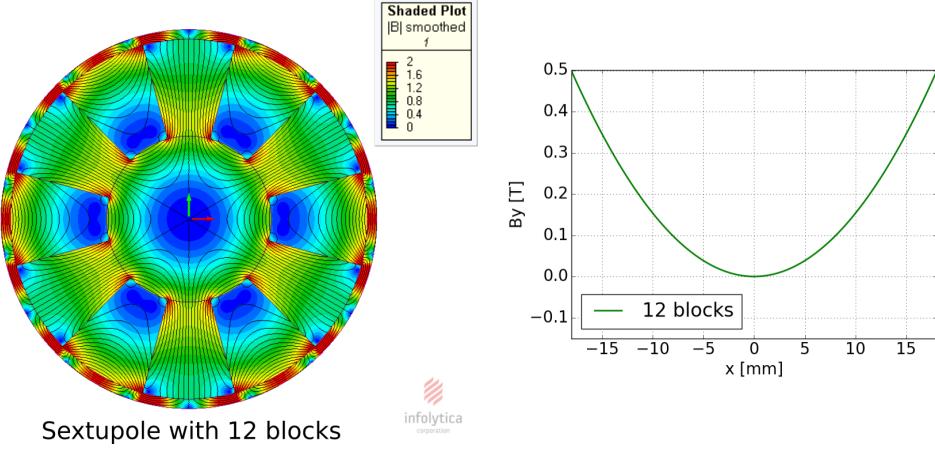


Figure 5: Campo magnético do sextupolo com 12 blocos de ímã permanente.

Table 6: Gradiente sextupolar.

nº de blocos	B'' [T/m <sup>2</sup> ]
12	1539

Table 7: Multipolos normalizados obtidos a partir da transformada de Fourier da componente radial do campo magnético do sextupolo para um raio de 18 mm. Os multipolos residuais sistemáticos estão marcados em azul.

n	Normal	Skew
0	-4.0e-6	7.2e-6
1	2.4e-7	-3.1e-7
2	1.0e+0	3.2e-6
3	-1.1e-7	-2.7e-7
4	8.0e-7	-4.8e-6
5	-2.2e-9	9.2e-9
6	-2.4e-6	4.8e-7
7	-1.2e-9	-1.6e-8
8	<b>-3.3e-5</b>	8.3e-7
9	5.8e-9	-5.3e-9
10	1.9e-7	-2.9e-7
11	-6.9e-9	4.0e-9
12	-1.3e-7	3.0e-8
13	-4.0e-9	-1.4e-8
14	<b>-5.0e-4</b>	6.1e-8

## Anexo

Projeto enviado pela Stanford Magnets.

