



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

APLICAÇÃO DA MTF E FWHM PARA ANÁLISE DE RESOLUÇÃO  
ESPACIAL DE SENSORES DE BIOSUSCEPTOMETRIA AC

ANDRÉ GONÇALVES PRÓSPERO

BOTUCATU  
2012

A decorative graphic in the bottom right corner of the page, consisting of overlapping blue and white geometric shapes with a dotted pattern, resembling a stylized globe or a network structure.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

APLICAÇÃO DA MTF E FWHM PARA ANÁLISE DE RESOLUÇÃO  
ESPACIAL DE SENSORES DE BIOSUSCEPTOMETRIA AC

ANDRÉ GONÇALVES PRÓSPERO

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo de Arruda Miranda

Monografia apresentada ao Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Botucatu, para obtenção do título de Bacharel em Física Médica.

BOTUCATU

2012

## Trabalho de conclusão de curso

Próspero, André Gonçalves.

Aplicação da MTF e FWHM para análise de resolução espacial de sensores de Biossusceptometria AC / André Gonçalves Próspero - Botucatu, 2012

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Física Médica) - Instituto de Biociências de Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2010

Orientador: José Ricardo de Arruda Miranda

Capes: 20903006

1. Biofísica de Processos e Sistemas.

Palavras-chave: Biossusceptometria AC, Função de transferência modulada, Meia largura da banda.

## **Resumo**

*Neste trabalho foi analisada a resolução espacial de sensores de Biossusceptometria AC (BAC) correlacionando dois métodos consagrados em análise de resolução, a Função de Transferência Modulada (do inglês MTF) e a Largura à Meia Altura (FWHM) da Função de Espalhamento Pontual (PSF). A partir da aquisição da PSF do sistema, foi possível quantificar a resolução dos sensores pelos dois métodos. Foram analisados sensores de diferentes diâmetros para a obtenção da correlação entre os dois métodos. Foi variada também a corrente, indiretamente, pela variação de voltagem de excitação. Com estas metodologias foi possível avaliar a resolução de maneira pontual dos sensores, sendo possível otimizar a utilização dos sensores de acordo com a medida a ser realizada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço aos meus pais Alaor Eduardo Próspero e Marben Maria Gonçalves Próspero, que muito amo, e que me criaram e proveram durante toda a vida, tornando possível minha trajetória até aqui. Ao meu irmão Alexandre Gonçalves Próspero, companheiro de muitas histórias de vida. Aos meus avós, todos eles, que desempenharam um grande papel ajudando meus pais em minha criação.

À Sabrina Galetti, minha namorada e companheira, com quem gostaria de passar o resto de meus dias.

Ao Prof. Dr. José Ricardo de Arruda Miranda, orientador e incentivador na área acadêmica, que me proporcionou conhecer essa área profissional e me abriu as portas em seu grupo de pesquisa.

À República Bagudos e todos seus integrantes com quem convivi, entre eles: Fabio Perez, Fernando Bacchim, Guilherme Giacomini, Gustavo Morlin Moretto, Bruno Brenga, Guilherme Martelini, Júlio Batista, Nilo Martin, Marcos Calabresi, Tiago Batista, Fabio Matos, Marcelo Veloso, Eduardo Gonelli, Régis Ayres, Laura Olaia e Laís Dário entre outros que por essa casa passaram há muito tempo atrás.

Ao Matheus Alvarez e Caio César Quini, que muito auxiliaram no desenvolvimento desse trabalho e tiveram paciência para me ensinar e ajudar nesse início da minha vida acadêmica.

A todas as demais pessoas que conheci no Laboratório de Biomagnetismo, como professores (a), mestrandos (a), doutorandos (a), pós-doutorandos (a), e alunos de Iniciação Científica.

Aos amigos de São Carlos, do Rugby Clube Botucatu e do Rugby São Carlos.

A todos que contribuíram para minha formação acadêmica.

# SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	6
RESUMO.....	5
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	9
3. METODOLOGIA.....	9
3.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	9
3.1.1.O SENSOR DE BIOSUSCEPTOMETRIA AC.....	9
3.1.2.FUNÇÃO DE TRANFERÊNCIA MODULADA.....	11
3.1.3. MEIA LARGURA DA BANDA.....	12
3.2. MONTAGEM DO EXPERIMENTO.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5. CONCLUSÃO.....	21
6. REFERÊNCIAS.....	21

# APLICAÇÃO DA MTF E FWHM PARA ANÁLISE DE RESOLUÇÃO ESPACIAL DE SENSORES DE BIOSUSCEPTOMETRIA AC

André Gonçalves Próspero

<sup>1</sup>Dep. Física e Biofísica – Instituto de Biociências de Botucatu – Unesp

\* izeio@yahoo.com.br

## **Resumo**

*Neste trabalho foi analisada a resolução espacial de sensores de Biossusceptometria AC (BAC) correlacionando dois métodos consagrados em análise de resolução, a Função de Transferência Modulada (do inglês MTF) e a Largura à Meia Altura (FWHM) da Função de Espalhamento Pontual (PSF). A partir da aquisição da PSF do sistema, foi possível quantificar a resolução dos sensores pelos dois métodos. Foram analisados sensores de diferentes diâmetros para a obtenção da correlação entre os dois métodos. Foi variada também a corrente, indiretamente, pela variação de voltagem de excitação. Com estas metodologias foi possível avaliar a resolução de maneira pontual dos sensores, sendo possível otimizar a utilização dos sensores de acordo com a medida a ser realizada.*

## 1. Introdução

A Biossusceptometria de corrente alternada (BAC) é uma técnica biomagnética utilizada, principalmente, para estudos relacionados ao trato gastrointestinal. Este sistema é baseado na interação entre um sensor de campo magnético e materiais com alta susceptibilidade magnética, utilizados como marcadores e traçadores magnéticos. Que podem estar fixados ou distribuídos no trato gastrointestinal (TGI). A presença destes materiais próximo do sensor provoca uma variação de fluxo magnético e conseqüente diferença de potencial na saída do sistema gradiométrico. Por ser sensível a variação da posição entre marcador/traçador magnético e sua concentração, este sistema é empregado para monitorar alimento no TGI e também formas farmacêuticas sólidas (FFS) [1-2].

A resolução espacial é de fundamental importância no estudo do comportamento destes sensores, pois ela mede a capacidade do sistema em diferenciar dois pontos, ou dois picos de resposta frente a separação (distância) entre si. Na literatura são encontrados vários métodos de aferição de resolução espacial de sistemas lineares, neste trabalho foram testados dois deles, a Meia Largura da Banda (FWHM) e a Função de Transferência Modulada (MTF). Estas metodologias foram escolhidas por serem correlacionadas no fato de dependerem da Função de Espalhamento Pontual (PSF), já que a PSF é uma função de resposta do sistema a um estímulo pontual, e também por serem amplamente utilizadas em análise de resolução espacial de vários sistemas, inclusive em sistemas de diagnóstico [3-10].

A Meia Largura da Banda (do inglês, FWHM) da PSF é amplamente utilizada em largura espectral de fontes de radiação e resolução de espectrômetros, devido a sua facilidade de aferição (figura 2). Sendo usado também em testes de aferição de resolução espacial em sistemas utilizados em Medicina Nuclear, como a câmara gama [3,4], e em muitos outros sistemas com finalidade de processamento de sinais e imagens. Este método se resume a medir a largura da Função de Espalhamento Pontual na metade de sua altura total e inverter o seu valor [6,7].

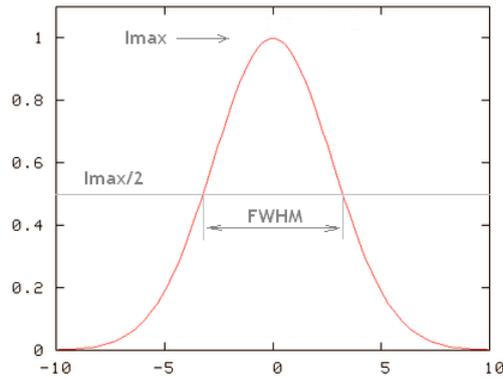


Figura 1. Exemplo da relação entre PSF e FWHM.

Atualmente, com sistemas digitais, um dos métodos mais utilizados na análise da resolução espacial de imagens de sistemas lineares é através da obtenção da Função de Transferência Modulada (MTF) do sistema. A MTF é a Transformada de Fourier da Função de Espalhamento Pontual (PSF). Essa Transformada aplicada retira o sinal da amostragem espacial e apresenta-o em uma amostragem frequencial, provando teoricamente que este método permite uma melhor análise da resolução espacial de sistemas lineares, já que a resolução está intimamente ligada às frequências encontradas no sinal (figura 3) [8,9,10]. Além disto, a MTF é apresentada em função da frequência espacial, o que não mostra também o comportamento geral de resposta de um sistema e, não apenas um valor numérico.

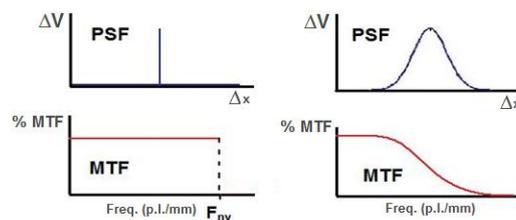


Figura 2- Relações entre a PSF e a MTF em um sistema ideal à esquerda e um sistema real à direita.

Sendo o estudo do sistema BAC relativamente novo, ainda não existem trabalhos que avaliem a sua resolução. Como o sistema produz um sinal linearmente proporcional à concentração e posição de ferrita presente na amostra pode-se aferir a resolução deste sistema a partir da MTF ou da FWHM. Assim será estudado neste trabalho o uso de morfologias matemáticas como método de análise da resolução espacial de sistemas BAC. Procurou-se estabelecer uma correlação entre os dois métodos a fim de evidenciar as diferenças e

peculiaridades de ambos os métodos. Com isto também, avaliar-se-á a resolução em função de alguns importantes parâmetros do sensor BAC.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Principal**

Estudar e diferenciar seis gradiômetros de diferentes diâmetros (3, 4, 5, 6, 7 e 8 cm) quanto à sua resolução espacial, para que se possa otimizar a escolha do gradiômetro, dependendo de suas aplicações, e para que no futuro se estabeleça valores de resolução espacial para cada gradiômetro para um possível controle de qualidade.

### **2.2. Objetivos secundários**

Testar, correlacionar e avaliar os métodos de análise de resolução espacial encontrados na literatura.

Mostrar que diferentes correntes excitantes, em um mesmo gradiômetro (3cm de diâmetro), mantêm a mesma resolução espacial.

Confecção e caracterização de sensores, estudando seu funcionamento e suas peculiaridades.

## **3. Metodologia**

### **3.1. Fundamentos Teóricos**

#### **3.1.1 O sensor de Biossusceptometria AC**

O sistema é regido pelo eletromagnetismo clássico, onde o sensor é construído de uma forma onde se obtém uma geometria específica entre quatro bobinas e trabalha como um transformador duplo de fluxo magnético, no qual o par (excitação/detecção), mais distante do material magnético (ferrita), atua como referência. Quando não há material magnético próximo ao sistema de medida, a resposta é minimizada devido ao sistema gradiométrico de primeira ordem. Ao aproximar o material magnético, ocorre um desbalanceamento no fluxo magnético do sistema gradiométrico e observa-se um aumento no sinal elétrico obtido.

A bobina de excitação é um importante parâmetro de otimização do sensor, visto suas características de físicas (diâmetro, número de voltas, bitola do fio, corrente de excitação, tamanho da bobina) influem no campo magnético gerado pela bobina o qual está casado com

a função de trabalho dos amplificadores de potência empregados, o qual possuem saída de 2  $\Omega$ . Este campo magnético no centro da bobina excitadora é dado pela seguinte equação:

$$B = \frac{i \cdot \mu(N)}{2r} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde,

B = Campo magnético gerado;

i = Corrente aplicada;

$\mu$  = Permeabilidade magnética do material (cobre ou ferrita);

2r = Diâmetro da bobina;

N = Número de voltas de fio.

Porém no sistema de excitação a saída é dada em variação de voltagem, seguindo a equação 2:

$$U = Z \cdot i \quad (\text{eq. 2})$$

Onde,

U = Diferença de potencial (voltagem) observada ou aplicada;

Z = Impedância total do sistema;

i = Corrente resultante.

A impedância “Z” do sistema, que no caso deste experimento não pode ultrapassar 2  $\Omega$ , devido as configurações dos sistemas amplificador, é calculada pela equação 3:

$$Z = \sqrt{(R^2 + (x_L^2 - x_C^2))} \quad (\text{eq. 3})$$

Onde,

Z = impedância total do sistema;

R = Resistência total da bobina;

$x_L$  = Reatância indutiva;

$x_C$  = Reatância capacitiva.

A reatância indutiva e capacitiva são calculadas segundo as equações 4 e 5:

$$x_L = 2\pi \cdot f$$

$$x_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad (\text{eq. 4 e 5})$$

Onde,

f = Frequência;

L = Indutância;

C = Capacitância.

Então a equação do campo magnético, com suas desconsiderações neste caso, pode se resumir na equação 6:

$$B = \frac{U}{Z} \cdot \mu \cdot (N) \quad \text{onde } Z \cong R \quad (\text{eq. 6})$$

Tornam-se evidentes, então, os parâmetros que são passíveis a variações nos experimentos: pode-se alterar o raio da bobina, a corrente via variação da voltagem e o número de voltas, porém este último depende de outros fatores, como bitola do fio e raio médio da bobina, e tem que ser tal que a resistência total não ultrapasse  $2\Omega$  (devido a capacidade do sistema), dificultando variá-lo. Isto é, mudança no N afeta também a resistência e conseqüentemente a impedância. Salienta-se que Z é fortemente dependente da frequência de excitação, neste caso fixada em 10 kHz.

A figura 3 ilustra o arranjo gradiométrico e o princípio de medida.

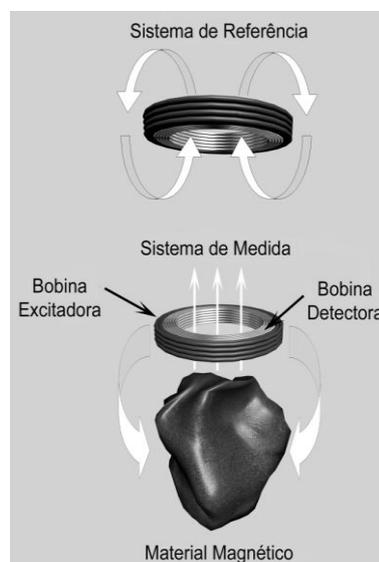


Figura 3- Esquema do sensor BAC.

### 3.1.2 Função de Transferência Modulada

A Função de Transferência Modulada (do inglês MTF) nada mais é que a Transformada de Fourier (FT) da Função de Espalhamento Pontual (PSF).

A FT é uma ferramenta muito importante na área de processamento de sinais e análise de resolução espacial e temporal. Ela decompõe um sinal em suas componentes elementares seno e cosseno. A FT unidimensional no espaço é calculada da seguinte forma:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{-j2\pi\omega x} d\omega \quad (\text{eq. 7})$$

Onde,

$$j = \sqrt{-1};$$

$\omega$  = frequência;

$x$  = coordenadas espaciais.

Porém, quando esse cálculo é feito em sistemas computacionais, na verdade é feita uma aproximação que chamamos de Transformada de Fourier Discreta (DFT), pois se têm valores discretos de “ $x_k$ ”, então ela utiliza um numero finito de pontos no domínio do espaço e define uma representação discreta do sinal no domínio da frequência. A DFT é calculada pelo somatório:

$$f_j = \sum_{k=0}^{n-1} x_k e^{\frac{-2\pi ijk}{n}} \quad j = 0, 1, \dots, n-1. \quad (\text{eq. 8})$$

A função “Fast Fourier Transform” (FFT) amplamente conhecida e aplicada computacionalmente pelos programas MatLab, Mathematica, Math entre outros. Essa função faz uma aproximação discreta (DFT).

Então aplicando a FFT em uma PSF, obtemos a aproximação da amostragem frequencial de um sinal espacial, o que nos permite uma análise refinada da resolução do sinal em bandas de frequência [8,9,10].

### 3.1.3 Meia Largura da Banda

A Meia Largura da Banda (FWHM) é um método muito utilizado em processamento de sinais e imagens com finalidade de aferir resolução espacial.

O sinal geralmente é representado por uma distribuição normal com características gaussianas, em nosso caso uma Função de Espalhamento Pontual (PSF), função essa que representa a resposta do sensor frente a um estímulo pontual e é descrita teoricamente pela equação:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (\text{eq. 9})$$

Onde,

$\sigma$  = desvio padrão da curva;

$\mu$  = média;

Portanto pode-se observar que quanto maior o desvio padrão dessa curva, mais larga ela ficará e, portanto terá um valor mais alto de FWHM o que acarreta em uma resolução ruim. Por esse motivo, a fim de estabelecer valores absolutos de resolução e correlacionar linearmente a MTF com a FWHM, e como o sinal é normalizado, podemos dizer que o valor da resolução espacial do sistema é inversamente proporcional à FWHM:

$$R = \frac{1}{FWHM} \quad (\text{eq. 10})$$

Isto implica em que o valor mais alto de resolução terá uma menor FWHM [6,7,10].

## 3.2 Montagem do experimento

O método de obtenção do sinal foi feito por um sistema contendo o marcador pontual magnético que é movimentado perpendicularmente em relação ao eixo de detecção do gradiômetro, formando a Função de Espalhamento Pontual, como se pode observar na figura 4:

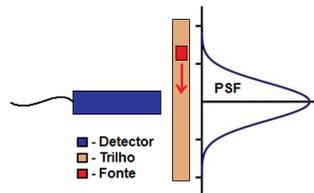


Figura 4- Esquema do experimento.

Para suprir o objetivo principal foram usados 6 sensores com diâmetros diferentes (3, 4, 5, 6, 7 e 8 cm), variando também a distância marcador-detector (0.5 e 1 cm). Nas bobinas de excitação, foi aplicada uma tensão alternada de 0,7V no *lock-in* e uma amplitude de -3dB nos amplificadores, com frequência de 10 kHz. A tensão na saída dos amplificadores foi monitorada e obteve o valor de 20,35V.

A fim de mostrar que a corrente não altera a resolução (objetivos secundários), manteve-se o mesmo gradiômetro, e variou-se a corrente através da tensão amplificada, de 0,5 V até 0,9 V em um passo de 0,05 V no *lock-in*, a tabela 1 contém os valores de tensão na saída do *lock-in* e do amplificador. A aquisição do sinal é feita por *lock-in* (Stanford Research Systems).

**Tabela 1 – Valores de Tensão monitorados (V)**

<b>Saída do Lock-in</b>	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
<b>Saída do Amplificador</b>	14,54	16,0	17,45	18,9	20,35	21,8	23,25	24,7	26,14

O sistema foi posicionado e o marcador percorria 10 cm ao passo de 0,5 cm, e a cada passo foi registrado o valor da variação do fluxo magnético do sistema de detecção.

Com os sinais obtidos e com a PSF definida, processam-se os sinais adquiridos e obtêm-se as MTFs e FWHMs correspondentes dos sistemas. Foram empregados operadores matemáticos contidos no *software* MATLAB, onde se pode aplicar os filtros, interpolarem os dados, aplicar as Transformadas, obter as MTFs e calcular as MTFs (a 30% e 40%) e os FWHMs, de forma que os resultados obtidos fossem comparados entre si visando obter uma relação metodológica.

#### 4. Resultados e Discussão

As PSFs (figuras 5 e 6) de onde foram calculados os valores de FWHMs e obtidas as curvas de MTFs (figuras 7 e 8) são apresentadas abaixo:

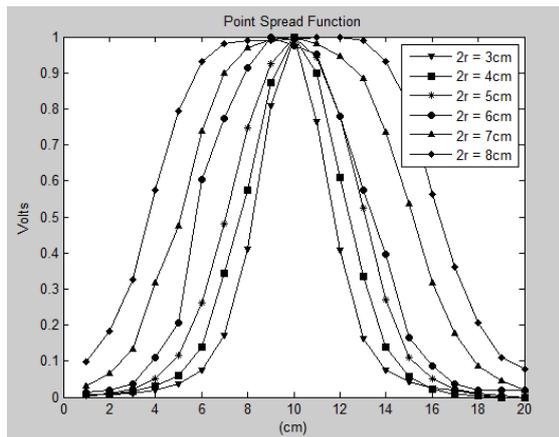


Figura 5- PSFs dos gradiômetros a 0.5 cm de distância marcador-detector.

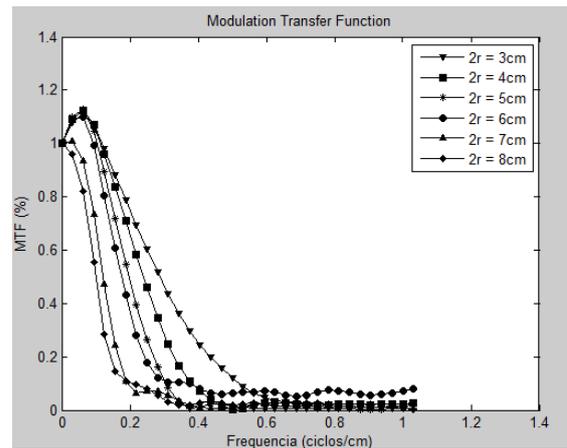


Figura 7- MTFs dos gradiômetros a 0.5 cm de distância marcador-detector.

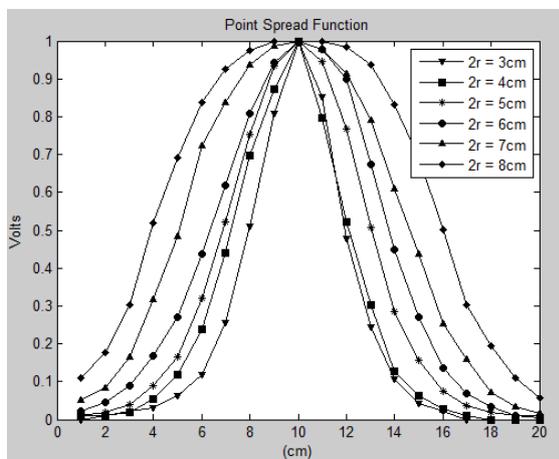


Figura 6- PSFs dos gradiômetros a 1.0 cm de distância marcador-detector.

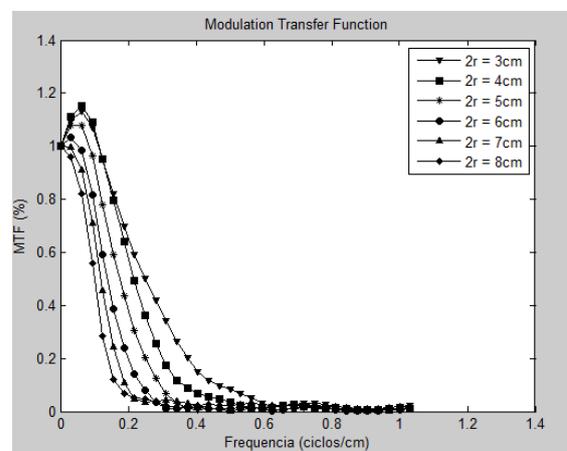


Figura 8- MTFs dos gradiômetros a 1.0 cm de distância marcador-detector.

Nos dois gráficos das PSFs apresentados (Figuras 5 e 6), observa-se que a Meia largura da banda dos sensores de menor diâmetro é menor do que as encontradas nos de maior diâmetro, mostrando assim que os sensores de menor diâmetro possuem maior resolução espacial.

Analisando os gráficos do comportamento das MTFs (Figuras 7 e 8) observamos que a MTF que menos decai com o aumento da frequência ( a que possui maior densidade espectral) é a do sensor de menor diâmetro, enquanto que, a de maior diâmetro decai mais rapidamente, possuindo um espectro mais restrito, isto é, detectando menor gama de frequência.

As tabelas 1 e 2 apresentam os valores das MTFs calculadas a 30% e 40% e os valores de resolução obtidos opor FWHM.

Tabela 1- Valores de 1/FWHM (resolução) e MTF a 0.5 cm de distância marcador-detector.

<b>Diâmetro do Sensor (cm)</b>	<b>1/FWHM (1/cm)</b>	<b>MTF a 30% (ciclos/cm)</b>	<b>MTF a 40% (ciclos/cm)</b>
<b>3</b>	0,285	0,37	0,33
<b>4</b>	0,2123	0,29	0,27
<b>5</b>	0,1669	0,24	0,22
<b>6</b>	0,1305	0,21	0,19
<b>7</b>	0,1006	0,14	0,13
<b>8</b>	0,0823	0,12	0,11

Tabela 2- Valores de 1/FWHM (resolução) e MTF a 1.0 cm de distância marcador-detector.

<b>Diâmetro do Sensor (cm)</b>	<b>1/FWHM (1/cm)</b>	<b>MTF a 30% (ciclos/cm)</b>	<b>MTF a 40% (ciclos/cm)</b>
3	0,2494	0,33	0,29
4	0,2075	0,27	0,24
5	0,1628	0,22	0,19
6	0,1369	0,17	0,15
7	0,106	0,15	0,13
8	0,0851	0,12	0,11

Pelos dados mostrados nas tabelas 1 e 2, pode-se também confirmar a relação entre o diâmetro e a resolução do sensor: a resolução espacial diminui conforme aumentamos o diâmetro do sensor.

A partir destas tabelas, também podemos estabelecer a correlação entre os métodos utilizados. As figuras 9, 10, 11 e 12 apresentam os resultados de correlação entre FWHM e MTF:

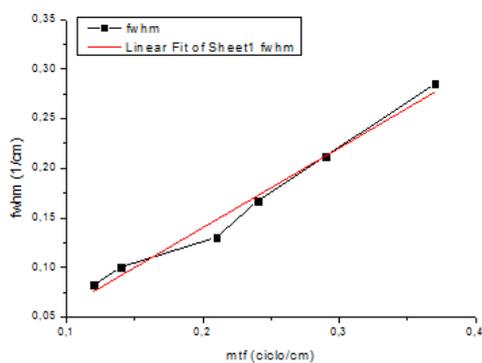


Figura 9- Correlação linear entre os métodos de FWHM e MTF (a 30%) a 0.5 cm de distância marcador-detector.

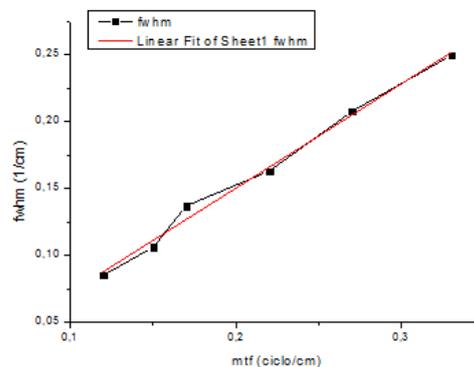


Figura 10 - Correlação linear entre os métodos de FWHM e MTF (a 30%) a 1.0 cm de distância marcador-detector.

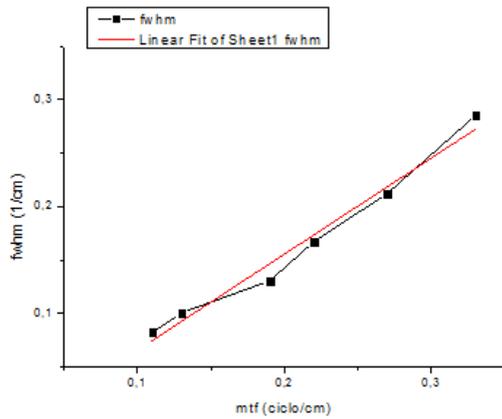


Figura 11 - Correlação linear entre os métodos de FWHM e MTF (a 40%) a 0.5 cm de distância marcador-detector.

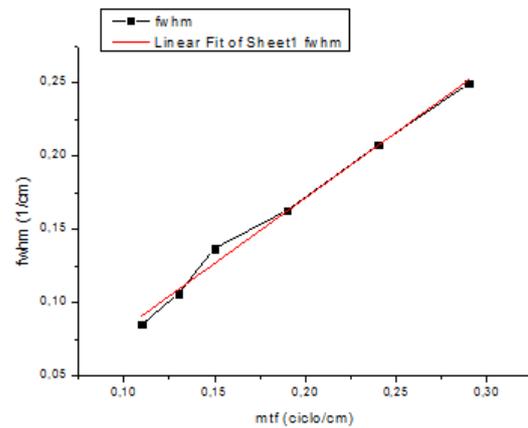


Figura 12 - Correlação linear entre os métodos de FWHM e MTF (a 40%) a 1.0 cm de distância marcador-detector.

A correlação linear é grande em todos os casos, mostrando boa relação entre os métodos de avaliação da resolução. Os resultados poderão ser empregados para estabelecer valores de resolução para cada sensor com a finalidade de se obter padrões de otimização e controle de qualidade deste sistema frente diferentes aplicações. Os valores de R encontrados para correlação entre as medidas de FWHM e MTF foram superiores a 0.9 em todos os casos.

Como dito no item 3.1.1. , o outro parâmetro passível de variação foi a corrente “i” aplicada nas bobinas de excitação. Os gráficos nas figuras 13 e 14 representam a resposta de um sensor de 3,0 cm de diâmetro frente a mudanças na corrente (tensão) de excitação. As figuras 15 e 16 são as curvas de MTFs desta resposta obtida.

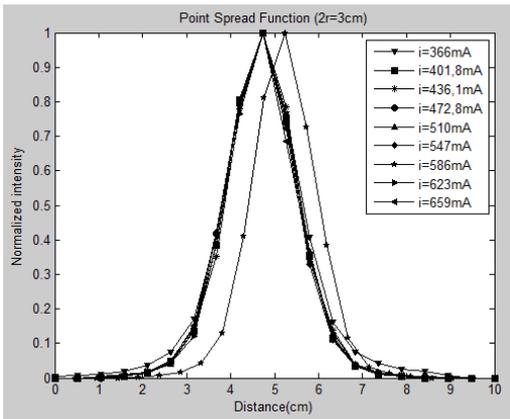


Fig. 13 – PSF com variação de corrente a 0,5 cm de distância marcador-detector.

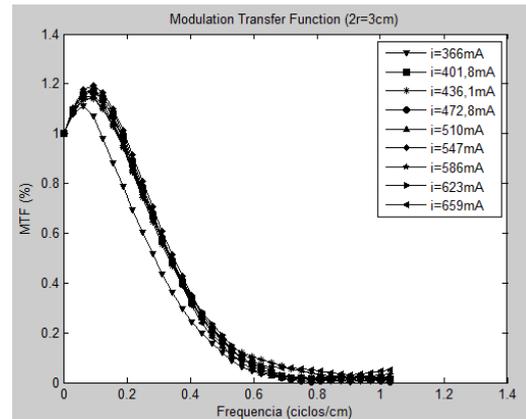


Fig. 15 – MTF com variação de corrente a 0,5 cm de distância marcador-detector.

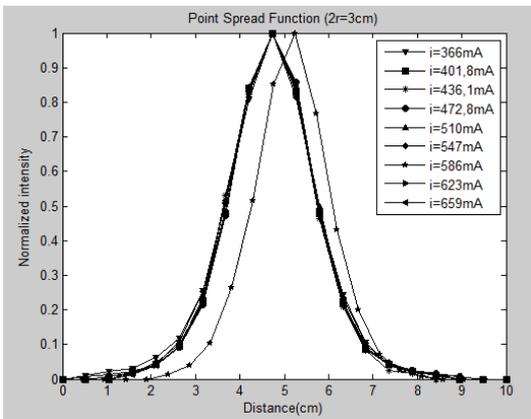


Fig. 14 - PSF com variação de corrente a 1,0 cm de distância marcador-detector.

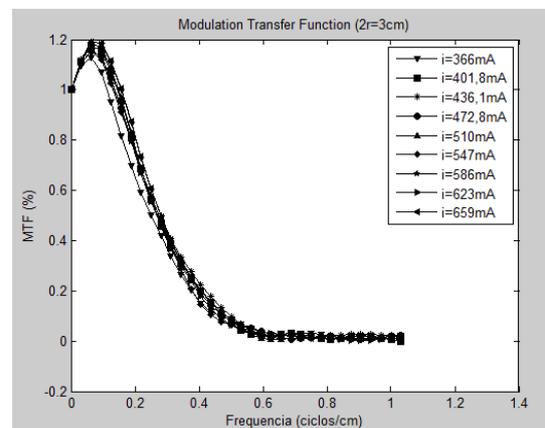


Fig. 16 – MTF com variação de corrente a 1,0cm de distância marcador-detector.

Como previsto, a resolução não é alterada quando se varia a corrente de excitação. Nos gráficos das figuras 13 e 14 vemos que o FWHM se mantém constante, mesmo na curva onde a corrente vale 586 mA, que tem um deslocamento para a direita (provavelmente por algum erro na geometria de montagem do experimento), observa-se a mesma resolução. Nas figuras 15 e 16 também pode-se observar que as resoluções se matem quase que idênticas, impossibilitando diferencia-las quanto a corrente de excitação induzida, salvo a curva que representa a resolução com corrente de excitação de 366 mA, que em ambas as figuras se mostra com uma pior resolução. Isto acontece devido

ao fato de que com baixas correntes o campo fica muito pequeno e o sensor quase não detecta o marcador pontual, podendo causar esse tipo de erros.

Uma vantagem do método de MTF é que a resolução não apenas pode ser avaliada em um único ponto, a MTF contempla um comportamento geral e também espectral, fornecendo a banda de frequência espacial de cada sensor (figura 13 e 14). Além disto, o método de MTF é amplo o suficiente para avaliar sistemas que possuem PSF não gaussianas. Além disto, para sistemas digitais, facilita a comparação da BAc com outros detectores onde apenas são empregados MTF.

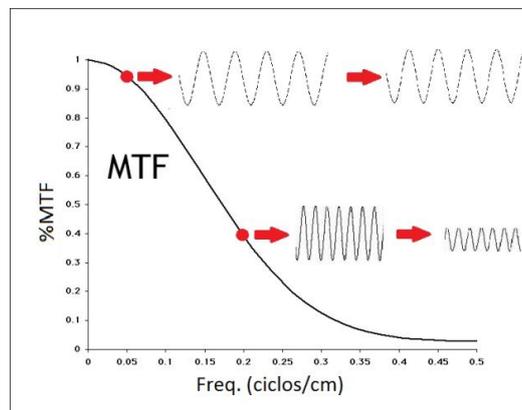


Figura 13- Exemplificação das possibilidades de estudo dos sinais via MTF, em relação ao aumento de frequências no sinal e a resposta obtida.

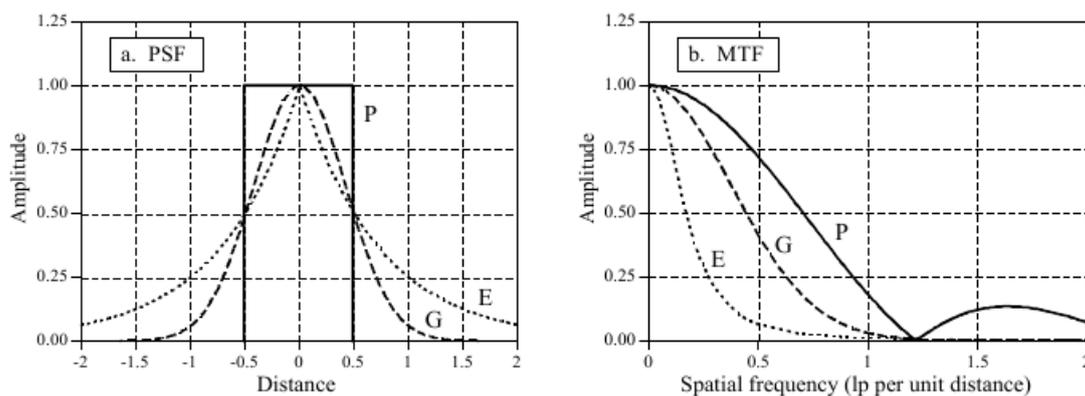


Figura 14- No gráfico à esquerda pode-se observar diferentes formas de onda (pillbox, gaussiana e exponencial) com o mesmo FWHM, portanto por esse método com mesma resolução. Já no gráfico à direita, foram adquiridas as MTFs destas mesmas ondas, porém elas mostram que as resoluções são diferentes perante esse método [10].

A figura 14 mostra como valores similares de FWHM não correspondem a curvas de MTF similares, isso prova que quando for necessária uma análise mais refinada da resolução espacial de sistemas lineares ou uma análise em bandas de frequências, o método mais eficaz seria o estudo da MTF. O método de FWHM pode-se ser usado como uma ferramenta de melhora em imagens. Em alguns sistemas mede-se a FWHM e relaciona seu valor inicial e final com os intervalos de confiança, desconsiderando o resto da curva, o que pode criar um realce ou digitalização do sinal.

## **5. Conclusão**

Para futuras aplicações, podemos diferenciar os sensores BAC quanto ao seu diâmetro, ou seja, para marcadores mais próximos, otimizamos sua resolução diminuindo o diâmetro de cada sistema de detecção, porém quando queremos detectar marcadores posicionados a uma distância maior do sensor, devemos aumentar seu diâmetro, o que causaria uma diminuição na resolução espacial do sistema. Além disto, quando o objetivo é localizar uma região grande, como o estômago, e acompanhar a quantidade de material dentro deste órgão, empregar-se-á gradiômetros de maior área e menor resolução espacial, ganhando em sensibilidade e perdendo em resolução.

Estabelecemos, então, que existe uma alta correlação linear entre os métodos estudados, e assim podemos afirmar que ambos os métodos podem ser usados para a análise de resolução espacial desse sistema, tanto para fins de controle de qualidade, como para fins de escolha do sensor ideal para cada aplicação e para um futuro trabalho no qual poderá ser quantificada a resolução espacial para cada sensor em função de seu diâmetro. A escolha melhor recai sobre o método da MTF pois apresenta maiores vantagens do de FWHM.

Foi observado também que a corrente de excitação induzida não altera os valores de resolução, fazendo com que o diâmetro seja a única variável que afeta a resolução neste caso em questão.

Embora as pesquisas feitas até o presente momento tenham alcançado o resultado esperado e, portanto, atingido os objetivos de projetos anteriores, os produtos finais dos testes realizados ainda podem ser melhorados. Além disso, este trabalho se mostra relevante, uma vez que há, ainda, uma grande quantidade de ferramentas de

morfologia matemática a serem exploradas, e ainda não existem trabalhos que analisam esse tipo de sensor.

## 6. Referências

[1] - Corá LA, Andreis U, Romeiro FG, Américo MF, Oliveira RB, Baffa O, Miranda JRA. Magnetic images of the disintegration process of tablets in the human stomach by ac biosusceptometry. *Phys Med Biol*, 2005, 50(23): 5523-34.

[2] - Miranda J.R.A., de Oliveira R.B. Matsuda N.M. Na AC biosusceptometer to study gastric emptying, *Med. Phys.* 19 (2), Mar/Apr 1992.

[3]- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY- IAEA-TECDOC-602-Quality control of Nuclear Medicine Instruments 1991.

[4]- de Oliveira F. R.- “Uma Contribuição ao Controle de Qualidade de Gamacâmeras”- dissertação- dezembro 2000.

[5]- Nakaya Y. , Kawata Y. - A method for determining the modulation transfer function from thick microwire profiles measured with x-ray microcomputed tomography- American Association of Physicists in Medicine- junho 2012.

[6] - G.Asuni, D.W.Rickey and B.M.C.McCurdy. Investigation of the spatial resolution of an online dose verification device, *Med. Phys.* 39(2) Feb 2012.

[7] – H. Jeon, Hyunduk K. Performance evaluation for pinhole collimators of small gamma camera by MTF and NNPS analysis: Monte Carlo simulation study. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 604 (2009).

[8]– Moy J-P, Signal-to-noise ratio and spatial resolution in x-ray electronic imagers: Is the MTF a relevant parameter?. *Medical Physics*,2000, 27(1): 86-96.

[9] - John Willey & Sons (1988), *Intermediate Physics for Medicine and Biology* - Hobbie,R. H. - Cap. 11 e 12. [10] - E. Samei, M. J. Flynn, D. A. Reimann, “A method for measuring the presampled MTF of digital radiographic systems using an edge test device” *Medical Physics*, **25**, 12p. , (1998).

[10] – Steven W. Smith, The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing, 1997.