



Caracterização de tecidos mamários e materiais de interesse radiológico através da espectroscopia de raios X

Characterization of breast tissues and materials of radiological interest through X-ray spectroscopy

Estefanie Carvalho de Farias*, Marcelo Antoniassi†,

RESUMO

O câncer de mama é o segundo tipo de câncer mais frequente em mulheres em todo o mundo, sendo também uma importante causa de óbito entre elas. Este trabalho teve como objetivo estudar através de simulações computacionais a otimização de técnicas de espectroscopia de espalhamento de raios X para caracterização de tecidos mamários e materiais de interesse radiológico. Nas técnicas de espectroscopia de espalhamento, parâmetros como a razão da área dos dois picos de espalhamento Rayleigh e Compton (R/C) e a largura meia altura do pico Compton (LMA) podem dar informações sobre a composição da amostra. Foram estudados 14 materiais e 4 tecidos mamários, dentre eles o carcinoma. Os resultados mostraram que a técnica utilizada neste trabalho foi eficaz para a caracterização de materiais de interesse radiológico e tecidos mamários, sendo os parâmetros R/C e LMA eficazes para a diferenciação dos materiais, complementando-se entre si. Pois o R/C é melhor para menores energias e o LMA para maiores. O presente estudo também pode servir de base para o desenvolvimento de técnicas de imagens que permitam complementar o diagnóstico da doença de câncer de mama.

Palavras-chave: câncer de mama, espectroscopia de raios X, Espalhamento de raios X, simulação de Monte Carlo.

ABSTRACT

Breast cancer is the second most common type of cancer in women worldwide, and is also an important cause of death among them. This work aimed to study, through computer simulations, the optimization of X-ray scattering spectroscopy techniques for the characterization of breast tissues and materials of radiological interest. In scattering spectroscopy techniques, parameters such as the area ratio of the two scattering peaks Rayleigh and Compton (R/C) and the Full width half maximum (FWHM) of the Compton peak (FWHM) can give information about the composition of the sample. Fourteen materials and four types of breast tissues were studied, including carcinoma. The results showed that the technique used in this work was effective for the characterization of materials of radiological interest and breast tissues, with the R/C and FWHM parameters being effective for the differentiation of materials, complementing each other. Because R/C is better for lower energies and FWHM for higher ones. The present study can also serve as a basis for the development of imaging techniques that can complement the diagnosis of breast cancer disease.

Keywords: breast cancer, X-ray spectroscopy, X-ray scattering, Monte Carlo simulation.

* Tecnologia em Radiologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; estefaniefarias@alunos.utfpr.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Paraná, Brasil; Antoniassi@utfpr.edu.br



1 INTRODUÇÃO

O câncer de mama é o mais incidente em mulheres no mundo, com aproximadamente 2,3 milhões de casos novos estimados em 2020, o que representa 24,5% dos casos novos por câncer em mulheres. É também a causa mais frequente de morte por câncer nessa população, com 684.996 óbitos estimados para esse ano (15,5% dos óbitos por câncer em mulheres) (IARC, 2020). O câncer de mama é a primeira causa de morte por câncer na população feminina em todas as regiões do Brasil, exceto na região Norte, onde o câncer do colo do útero ainda ocupa o primeiro lugar. A detecção precoce do câncer de mama é fundamental para o combate a essa doença, possibilitando a utilização de tratamentos menos agressivos, com maiores chances de cura dos pacientes (INCA, 2021).

O estudo de técnicas espectroscópicas de raios X possibilita a sua aplicação na obtenção de informações e caracterização de tecidos mamários (ANTONIASSI; CONCEIÇÃO; POLETTI, 2010) e de materiais de interesse radiológico (DEL LAMA et al., 2015), particularmente aqueles usados para construção de simuladores de tecidos humanos. Além disso, o estudo das mesmas pode servir de base para o desenvolvimento de técnicas de imagens que permitam complementar o diagnóstico da doença (ANTONIASSI; POLETTI; BRUNETTI, 2015).

Uma das técnicas espectroscópicas que podem ser empregadas para este fim são as baseadas na radiação espalhada (HARDING, 1997; HARDING; SCHREIBER, 1999). Este tipo de radiação carrega informações sobre a estrutura eletrônica do material espalhador, que podem ser úteis, por exemplo, para diferenciar tecido normal de alterado, ou ainda, tecidos neoplásicos benignos de malignos (ANTONIASSI; CONCEIÇÃO; POLETTI, 2011; LEWIS et al., 2000). A radiação espalhada é composta de fótons espalhados elasticamente (espalhamento Rayleigh), cuja energia não é alterada no processo de interação com a matéria, e por fótons espalhados inelasticamente (espalhamento Compton), que são aqueles fótons que transferem parte da energia no processo de interação (ANTONIASSI, 2012). Ambos os processos de espalhamento podem ser utilizados para obter informações sobre tecidos biológicos permitindo classificá-los (ANTONIASSI; CONCEIÇÃO; POLETTI, 2010; KIDANE et al., 1999). Esta técnica está baseada no fato de a razão entre as intensidades de espalhamento Rayleigh e Compton ser uma função do número atômico dos elementos presentes na amostra espalhadora, e quando comparada com técnicas convencionais de transmissão, sensíveis ao coeficiente de atenuação linear (μ), é especialmente útil em casos onde as variações de μ são pequenas e as variações de número atômico são mais significativas (DUVAUCHELLE; PEIX; BABOT, 1999).

Ao utilizar os espectros dos espalhamentos Compton e Rayleigh podemos obter informações importantes sobre a composição dos tecidos, particularmente de seu número atômico efetivo. Para obtermos essas informações utilizou-se a razão entre os espalhamentos Rayleigh e Compton (R/C) e a Largura meia altura (LMA) da curva de espalhamento Compton (ANTONIASSI, et al., 2018).

O objetivo deste trabalho foi estudar computacionalmente, pelo método Monte Carlo, a caracterização de tecidos mamários e de materiais de interesse radiológico, com aplicações em simuladores de mama, por meio de técnicas de espectroscopia de raios X.

2 MÉTODO

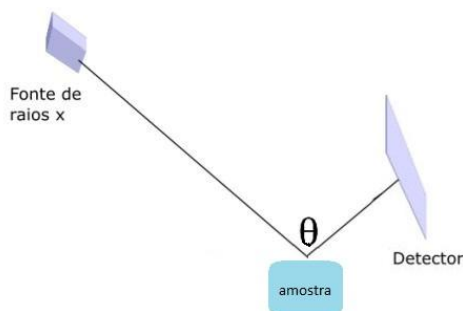


SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um
mundo em transformação

Para se realizar a caracterização dos materiais e tecidos foram feitas simulações de espalhamento e espectroscopia de raio X utilizando o software de simulação computacional por método de Monte Carlo XPMC (GOLOSIO, 2014). O Código X-Ray Monte Carlo foi desenvolvido especialmente para simulação em espectroscopia de raios X e em imagem. A Figura 1 representa o arranjo usado para as simulações de espectroscopia desenvolvidas neste trabalho. Foi utilizado uma fonte irradiando uma região de 4 mm de diâmetro na amostra posicionada a 1 metro da amostra. As amostras consistiam em um cilindro altura de 1 cm e raio de 0,25 cm e eram compostas de 14 materiais diferentes para a comparação, com 4 tipos de tecidos mamários (tecido glandular, adiposo, mama 50/50, *i.e* 50% adiposa 50% glandular e carcinoma). Já o detector ficou à 5 cm da amostra. O ângulo utilizado entre a fonte e o detector foi de 90° em geometria de reflexão. Os estudos foram feitos variando-se a energia do feixe incidente com os valores: 12 keV; 17,45 keV; 20 keV; 25 keV; 30 keV; 35 keV e 40 keV.

Figura 1 – Arranjo para as simulações



Fonte: Autoria própria (2021).

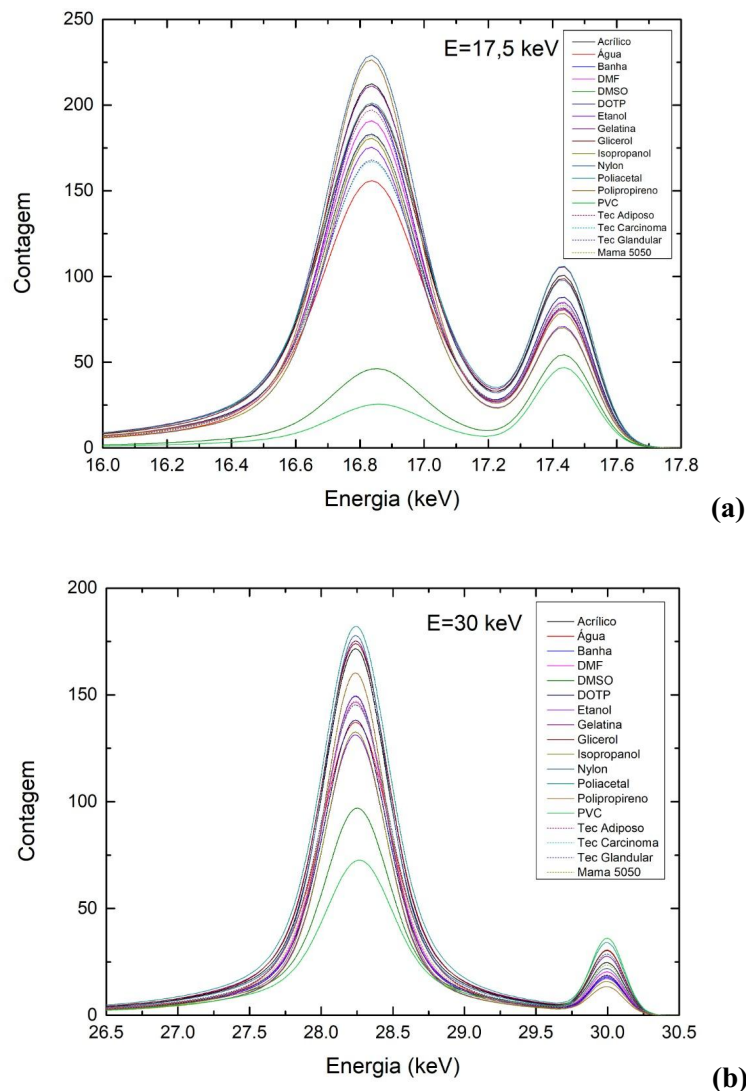
A partir dos espectros obtidos foram feitos ajustes de curvas (gaussianos) para determinação da Largura a meia altura (LMA) e das contagens de espalhamento Rayleigh e Compton (e posterior determinação das Razões R/C entre os espalhamentos Rayleigh e Compton).

3 RESULTADOS

A figura 2 apresenta dois exemplos de espectros obtidos para as energias incidentes de (a) 17,45 keV e (b) 30 keV.



Figura 2 – Exemplo de Espectros para as energias incidentes de (a) 17,45 keV e de (b) 30 keV. DMF: Dimetilformamida, DMSO: Dimetilsulfóxido, DOTP: Dioctil tereftalato, PVC: Policloreto de vinila.



Fonte: Autoria própria (2021).

Pode-se perceber nos gráficos um pico maior e outro menor. O menor representa os fótons espalhados Rayleigh enquanto o pico maior os fótons espalhados Compton. Pode-se ver também que o pico Compton fica em energias menores do que a utilizada nos dois casos. Isso se deve ao espalhamento inelástico, em que há a transferência de energia, portanto os fótons remanescentes que chegam ao detector tem energias mais baixas. Já o espalhamento Rayleigh não tem essa diferença, sendo seu pico na energia utilizada (17,45 e 30 keV), pois este é um espalhamento sem a transferência de energia.

O pico Rayleigh separa-se mais do Compton para energias maiores diminuindo, também, relativamente a ele, em energias maiores. Pode-se observar nos gráficos 2a e 2b, que os materiais podem ser caracterizados (diferenciáveis) pelos seus espectros tanto em energias menores (17,5 keV) quanto em energias maiores (30 keV).

Os materiais que mais se diferenciam dos outros materiais são: Dimetilsulfóxido (DMSO) e Policloreto de vinila (PVC). Esta divergência muito provavelmente causada pela presença de enxofre e cloro em suas

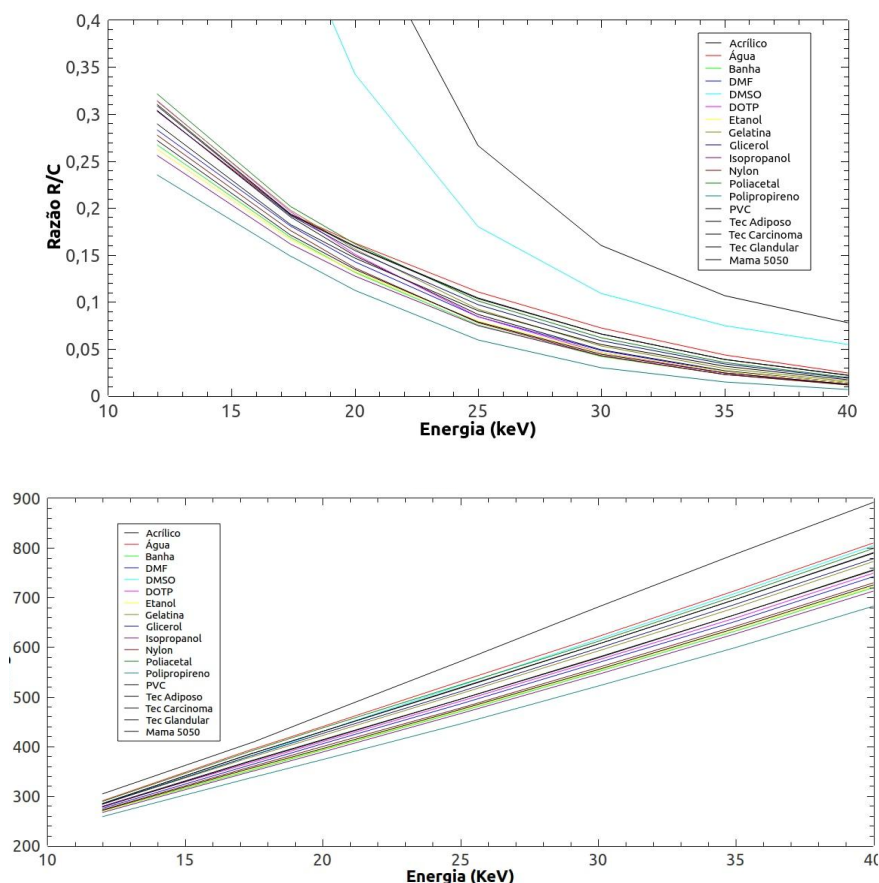


composições, respectivamente (sendo que os demais materiais e tecidos apresentam em geral composição de Hidrogênio, carbono, oxigênio).

A figura 3a apresenta o espectro das razões Rayleigh e Compton (R/C) dos elementos simulados em função da energia incidente.

Há, como nos espectros das figuras apresentadas acima, os materiais DMSO e PVC que se diferenciam de todo o resto. Pode-se ver também que em baixas energias incidentes observa-se a maior diferenciação para a caracterização dos materiais usando as Razões R/C. Por outro lado, na Figura 3b, que apresenta as larguras a meia altura (LMA) em função da energia incidente, pode-se observar-se que a melhor região de caracterização se encontra em maiores energias.

Figura 3 - Espectros de (a) R/C e (b) LMA para os diferentes materiais em função da energia



Fonte: Autoria própria (2021).

Em relação à caracterização e diferenciação dos tecidos observa-se que para a técnica baseada na R/C, quanto menor a energia maior a sensibilidade. Em contrapartida, a técnica baseada na LMA mostrou-se mais sensível com o aumento da energia. Mostrando a complementaridade entre ambas as técnicas, sendo uma mais sensível para energias menores e a outra para energias maiores. Para os materiais geralmente utilizados como simuladores como água, etanol, glicerol, nylon, acrílico, dimetilformamida, polipropileno e poliacetal, ficaram bem próximos aos tecidos mamários estudados em altas e em baixas energias.



4 CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa mostram que as técnicas estudadas possuíram sensibilidade para a caracterização dos materiais estudados em toda faixa de energias incidentes investigadas.

Os resultados das simulações de espectros das razões R/C e LMA tiveram diferenciação para as variações das composições das amostras para os intervalos de energias. Em que se observou que quanto menor a energia maior a diferenciação no quesito R/C, e quando se aumenta a energia temos maior diferenciação para LMA. Então, nas condições vistas neste trabalho as técnicas utilizadas se mostraram complementares e úteis para caracterização das amostras dos tecidos mamários e materiais de interesse radiológico. Também foi eficaz particularmente para a caracterização de elementos utilizados para o desenvolvimento de simuladores de tecidos mamários. Além disso, este estudo pode servir de base para o desenvolvimento de técnicas de imagens que permitam complementar o diagnóstico do câncer de mama.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária pela bolsa de iniciação científica e a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio e estrutura para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANTONIASSI, M.; CONCEIÇÃO, A. L. C.; POLETTI, M. E. **Study of effective atomic number of breast tissues determined using the elastic to inelastic scattering ratio.** *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A*, v. 652, n. 1, p. 739–743, 2011.
- ANTONIASSI, M.; POLETTI, M. E.; BRUNETTI, A. **Tomographic images of breast tissues obtained by Compton scattering: An analytical computational study.** *Radiation Physics and Chemistry*, v. 116, p. 273–277, nov. 2015.
- DEL LAMA, L. S. *et al.* **Effective atomic numbers for materials of medical interest at low photon energy using the Rayleigh to Compton scattering ratio.** *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A*, v. 784, n. 0, p. 597–601, 2015.
- DUVAUCHELLE, P.; PEIX, G.; BABOT, D. **Effective atomic number in the Rayleigh to Compton scattering ratio.** *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B*, v. 155, n. 3, p. 221–228, 1999.
- HARDING, G. **Inelastic photon scattering: Effects and applications in biomedical science and industry.** *Radiation Physics and Chemistry*, v. 50, n. 1, p. 91–111, 1997.
- HARDING, G.; SCHREIBER, B. **Coherent X-ray scatter imaging and its applications in biomedical science and industry.** *Radiation Physics and Chemistry*, v. 56, n. 1–2, p. 229–245, 1999.
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Cancer today.** Lyon: WHO, 2020.
- INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Atlas da mortalidade.** Rio de Janeiro: INCA, 2021. base de dados.
- KIDANE, G. *et al.* **X-ray scatter signatures for normal and neoplastic breast tissues.** *Physics in Medicine and Biology*, v. 44, n. 7, p. 1791–1802, 1999.
- RYAN, E. A.; FARQUHARSON, M. J. **Breast tissue classification using x-ray scattering measurements and multivariate data analysis.** *Physics in Medicine and Biology*, v. 52, n. 22, p. 6679–6696, 2007.