

Física e contra o

Em que uma gota de tinta em um copo d'água pode contribuir para o combate ao câncer de mama? À primeira vista, soam como temas totalmente desconexos. Mas é possível usar equações físicas associadas ao primeiro fenômeno – como um líquido se difunde em outro – para avaliar mamografias, melhorando o contraste das imagens e até viabilizando a detecção de estruturas suspeitas.

Nas páginas a seguir, discutiremos como física e computação se uniram para aperfeiçoar a análise desse exame médico. E como a sinergia dessas duas ciências pode auxiliar profissionais de saúde na busca por diagnósticos mais precisos para um dos mais preocupantes problemas de saúde pública da atualidade.

André Persechino Américo de Oliveira
Márcio Portes de Albuquerque

*Laboratório de Processamento Digital de Sinais e Imagens,
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (RJ)*

computação câncer de mama

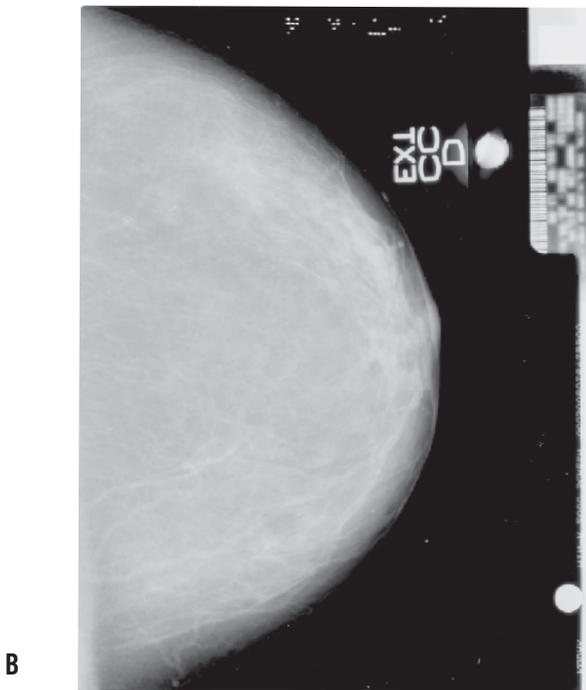
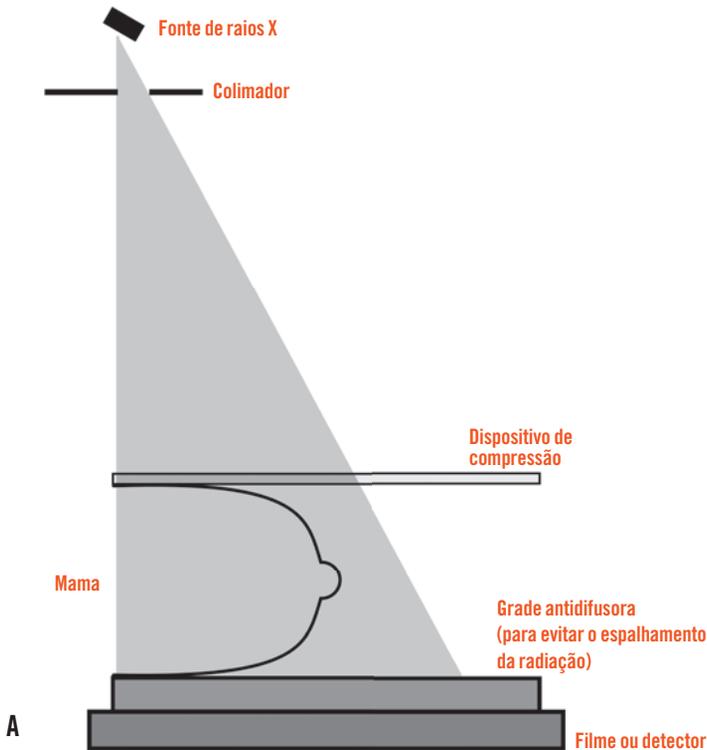
A sinergia de duas ciências na análise de imagens mamográficas

O câncer de mama é um problema sério de saúde pública e há tempos mobiliza governos e sociedade. Estimativas do Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (Inca), no Rio de Janeiro (RJ), apontaram para a ocorrência, em nosso país, de aproximadamente 57 mil novos casos da doença para os anos de 2014/2015. Nos biênios de 2010/2011 e 2012/2013, as estimativas eram, respectivamente, de cerca de 49 e 53 mil novos casos. Nesse cenário, o exame de mamografia desempenha papel fundamental, sendo considerado o meio mais eficaz para diagnóstico precoce do câncer mamário.

FOTO: PRAKARV / DOMINIO PÚBLICO

>>>

Figura 1. Em A, esquema básico da mamografia. Em B, imagem mamográfica real



Mamografia é uma técnica radiológica baseada na interação dos raios X com a matéria, da mesma maneira que radiografias usuais. A figura 1 ilustra de maneira simplificada o exame: um feixe de raios X é colimado – passa por um pequeno orifício – e atinge a mama, que está comprimida. Essa compressão serve basicamente para diminuir a espessura do órgão, facilitando a passagem da radiação, além de proporcionar uma separação de suas estruturas internas.

Tendo a mamografia papel tão importante em prevenção e diagnóstico do câncer de mama, espera-se que as imagens geradas sejam as melhores possíveis, para facilitar as análises especializadas dos profissionais envolvidos. No entanto, a realidade é outra: a imagem resultante é geralmente apresentada com baixo contraste (borrada ou ‘apagada’). Isso ocorre em parte tanto pela fraca interação entre raios X e tecidos da mama quanto por fatores menos sistemáticos, como movimento da paciente durante a exposição e disposição inadequada da mama no aparato.

Esses e outros problemas podem contribuir para degradação da imagem. E há ainda uma dificuldade extra: médicos devem atentar a minúcias, como calcificações (pequenas aglomerações de cálcio) com diâmetros inferiores a 1 mm. A figura 2 ilustra essa dificuldade.

Por causa da importância da mamografia e existência de tantos fatores de degradação da imagem, é natural que se investiguem meios de melhorar os exames, seja por meio de aperfeiçoamentos nos equipamentos, seja por meio de análise e processamento de imagens digitais.

Quanto a esta última alternativa, física e computação têm muito a contribuir. De fato, desde a descoberta dos raios X, pelo físico alemão Wilhelm Röntgen (1845-1923), em 1895, as imagens radiológicas vêm auxiliando os profissionais de saúde no diagnóstico das mais diversas doenças.

Pode-se afirmar seguramente que a física ocupa a vanguarda no desenvolvimento de tecnologias e métodos aplicados ao diagnóstico: tomografia, ressonância magnética, ultras-

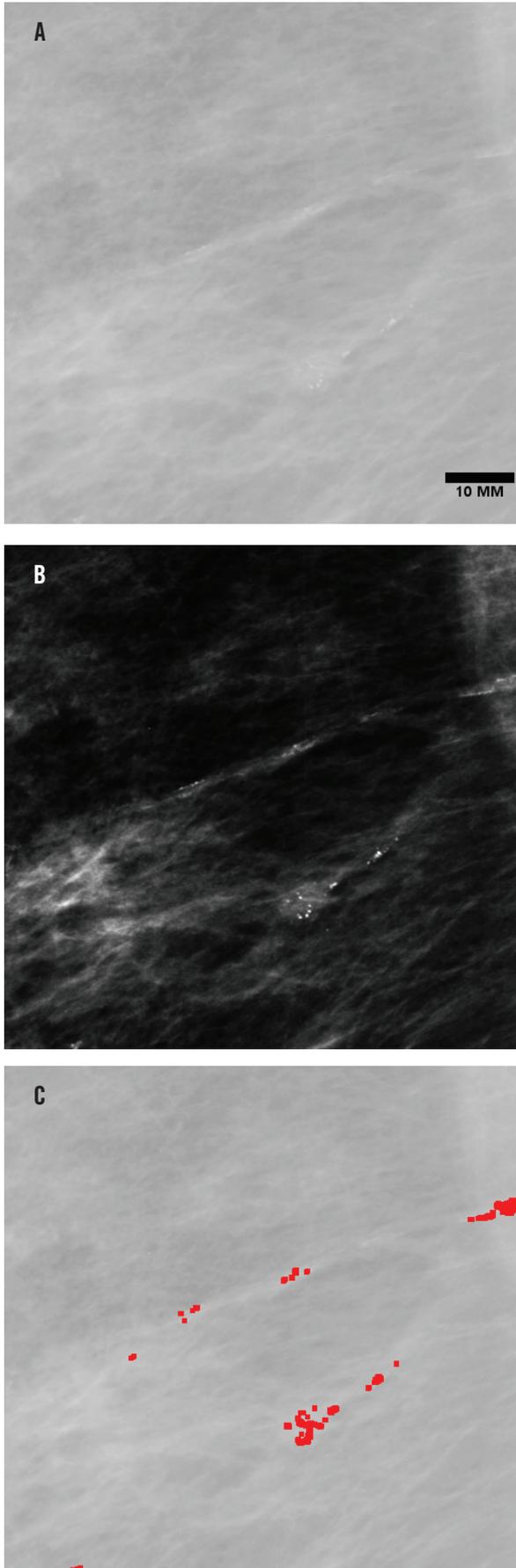


Figura 2. Em A, região da mama contendo calcificações (parte central), em imagem de baixo contraste. Em B, versão alterada de (A), com contraste aumentado, evidenciando agrupamentos de calcificações. Em C, calcificações detectadas são superpostas à imagem original

sonografia e diversas outras modalidades têm suas raízes na física pura ou aplicada.

Hoje, com o aumento das capacidades de computação, é possível não só analisar imagens em alta velocidade, mas também fazer levantamentos complexos, tediosos ou mesmo irrealizáveis manualmente. Nesse sentido, física, computação e matemática contribuem em conjunto para novos desenvolvimentos.

Há, na literatura científica, uma infinidade de propostas para sistemas computacionais dedicados ao realce e à detecção de estruturas suspeitas em mamografia. Eles são concebidos e implementados com base em conceitos, teorias e técnicas muito distintos entre si, abrangendo desde operações matemáticas básicas até sofisticadas aplicações de inteligência artificial.

Não é nossa intenção abordar todas as possibilidades, mas, sim, apresentar o papel de analogias físicas úteis em processamento de imagens. Em particular, mostraremos como o conceito de difusão pode ser aplicado em mamografia.

Imagens ‘dissolvidas’? Embora o nome possa soar estranho, todos já observamos o fenômeno físico da difusão. Por exemplo, ao derramar leite na água, percebe-se que, após algum tempo, obtém-se uma mistura homogênea esbranquiçada. Com gases, a história se repete: se, em um cômodo fechado, abrimos um frasco com determinado gás, depois de um longo período, o ambiente estará preenchido por uma mistura homogênea de ar e do gás liberado. Menos intuitiva é a difusão de cargas elétricas em materiais usados na indústria eletrônica, como o silício, elemento químico usado em *chips* e microprocessadores.

De modo geral, se há diferentes concentra-

>>>

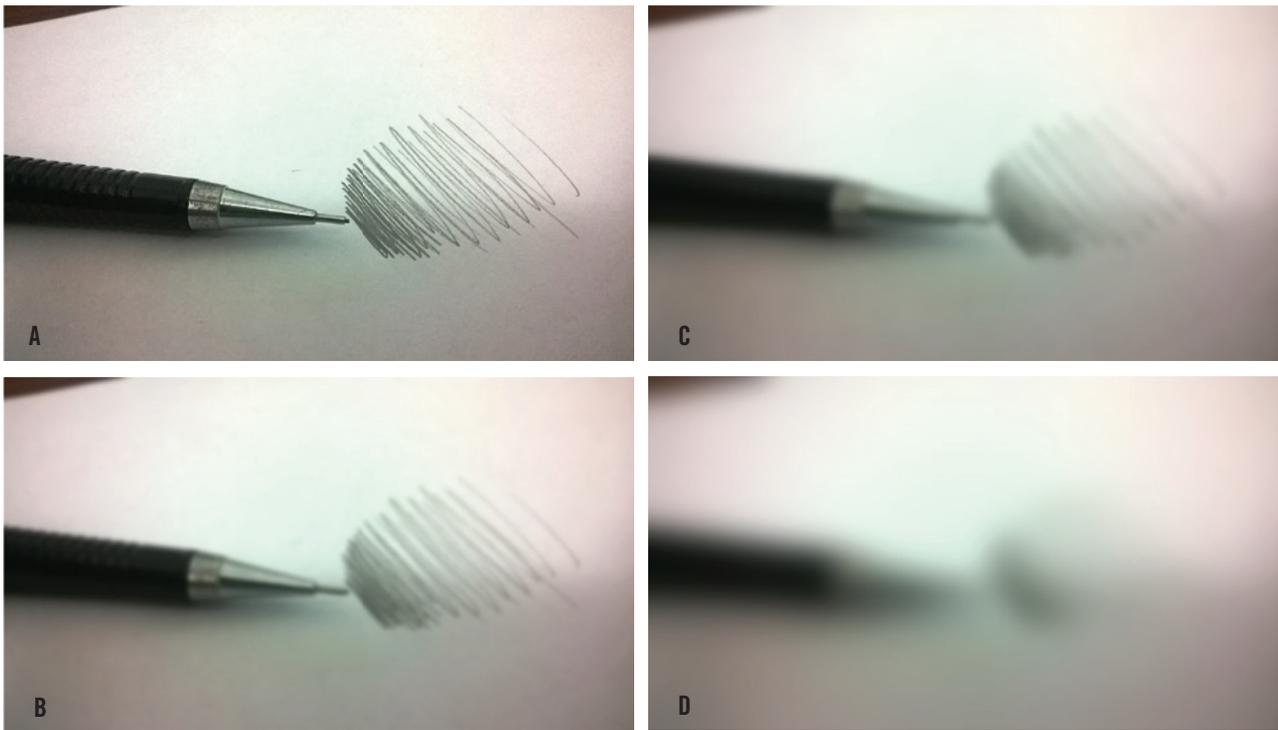


Figura 3. Exemplo de imagem submetida a difusão. Em A, imagem inicial, sem qualquer alteração. Em B, C e D, resultados da difusão em ordem crescente no tempo. Nota-se em D o pouco contraste na imagem

ções de componentes em um ambiente propício, existe uma tendência natural de que estes se misturem, levando o sistema a uma configuração homogênea – lembre-se da gota de leite no copo d’água. O ponto de interesse aqui é que, surpreendentemente, imagens também podem ser difundidas.

Vamos com calma aqui: dissemos que o fenômeno de difusão ocorre sempre que há uma diferença de concentrações no sistema. O ‘destino’ desse sistema é um estado em que nenhum dos constituintes está bem definido, mas há um único componente, completamente homogêneo.

Nesse sentido, a afirmação acima parece descabida – afinal, a difusão é um fenômeno físico, e uma imagem digital é uma representação eletrônica de algo que se quis retratar. Ocorre que podemos interpretar matematicamente a imagem como sendo um sistema físico sujeito a difusão. Para tanto, códigos computacionais devem ser desenvolvidos para simular a difusão, usando a imagem como informação inicial. Isso é possível por meio do uso de certas equações, chamadas diferenciais.

A figura 3 ilustra o conceito de difusão em imagens. Note que o efeito é exatamente aquele que temos discutido até agora: um sistema inicialmente bem-definido ‘evolui’ gradativamente para um estado de maior homogeneidade. Conforme o ‘tempo’ passa, as informações individuais vão se perdendo, dando lugar a uma estrutura uniforme. No caso limite (difusão por um período muito longo), perde-se toda a informação da imagem.

Na figura 3, vemos que é possível submeter uma imagem digital a uma série de operações que representam matematicamente o processo físico de difusão, levando o sinal inicial – cujo contraste é máximo – a um estado de completa homogeneidade, cujo contraste é mínimo.

Volta ao passado? Temos agora em mãos uma ferramenta – aparentemente inútil – para borrar imagens. Mas se se pudéssemos operar esse processo ao contrário? Ou seja, começaríamos com uma imagem de baixo contraste (ou borrada) e a aperfeiçoaríamos segundo



uma espécie de ‘difusão reversa’, melhorando gradativamente o contraste.

Pensando de outro modo: poderíamos voltar no tempo e reverter a difusão de uma imagem? Essa pergunta é uma das mais antigas da área de processamento de imagens e guarda grande importância no campo da matemática aplicada. A resposta é: pode-se operar um sistema em difusão reversa, mas por pouco tempo, até que ele colapse.

O colapso da imagem corresponde à perda de controle sobre o sistema – isto é, há uma completa descaracterização de seu conteúdo inicial. Grosso modo, isso acontece pelo fato de as leis físicas envolvidas – expressas matematicamente, não custa reforçar – não permitirem que se obtenham informações do ‘passado’ do sistema. Usando o exemplo da gota de leite difundida em um copo d’água: não é possível descobrir o formato inicial da gota ao se observar a mistura homogênea.

A ideia descrita acima chama a atenção: submeter uma imagem a uma difusão reversa poderia, hipoteticamente, melhorar o contraste das estruturas nela retratadas. Contudo, a

iminência do colapso inviabiliza essa aplicação na prática. Mais: nem todas as estruturas representadas na imagem estão no mesmo ‘nível’ de difusão: o efeito da difusão reversa sobre partes nítidas da imagem é devastador.

Então, em primeira análise, parece não haver saída: uma imagem borrada está fadada a permanecer borrada. Porém, nem tudo está perdido...

No início da década de 1990, foi proposta, na literatura especializada, uma difusão diferente, denominada não-linear, a qual apresentava as conveniências da difusão usual (direta) e da reversa. Criou-se um modelo de difusão que permitia, dentro de certos limites, operar o sistema segundo uma difusão direta, diminuindo seu contraste, ou segundo uma difusão reversa controlada, realçando certas estruturas da imagem.

Essa nova difusão é expressa por meio de equações ditas não-lineares – daí o nome do fenômeno –, muito mais complexas que as usuais. A figura 4 ilustra a aplicação de diferentes difusões sobre uma dada imagem.

Figura 4. Aplicações das difusões direta (B), reversa (C) e não-linear (D) sobre a imagem de uma folha (A). O colapso da imagem (C) é evidente, diferentemente de (D), em que os principais contornos foram mantidos ou realçados

>>>

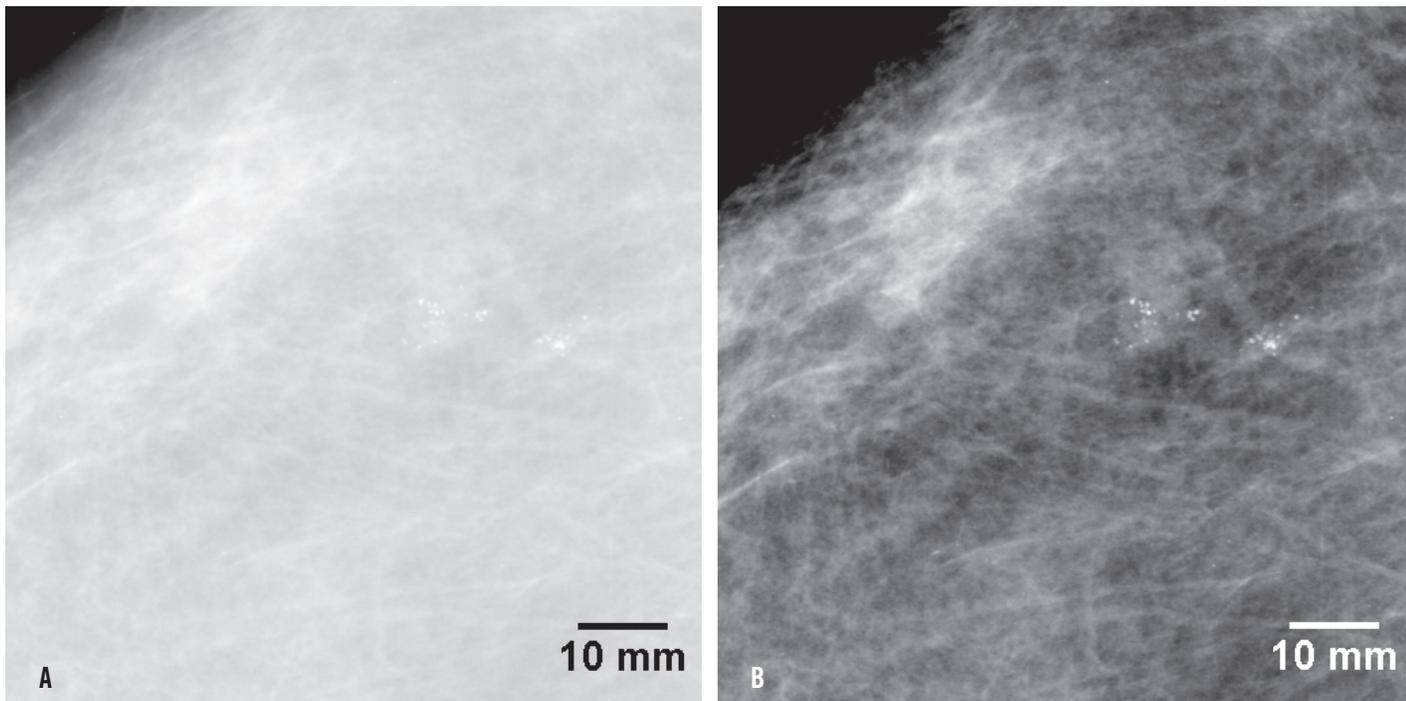


Figura 5. Em A, fragmento de imagem mamográfica contendo (parte central) um agrupamento de calcificações. Em B, versão com contraste aumentado. Em C, resultado da difusão não-linear. Em D, superposição dos achados sobre a imagem inicial. As calcificações são destacadas em verde, e os achados e os erros de detecção em amarelo

Pondo em prática É possível que, a esta altura, o(a) leitor(a) já tenha relacionado a discussão sobre difusão com a problemática da mamografia: como dissemos no início do artigo, uma das principais dificuldades inerentes à análise de imagens mamográficas consiste no baixo contraste delas.

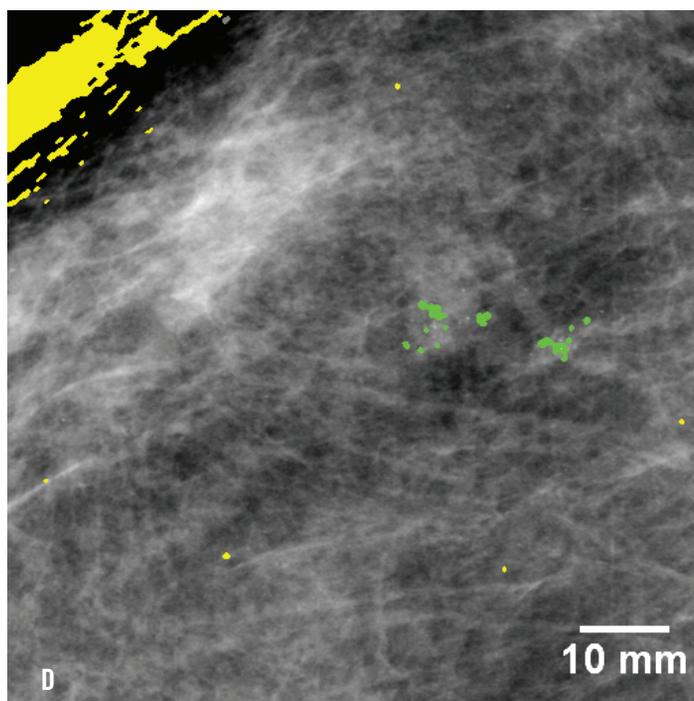
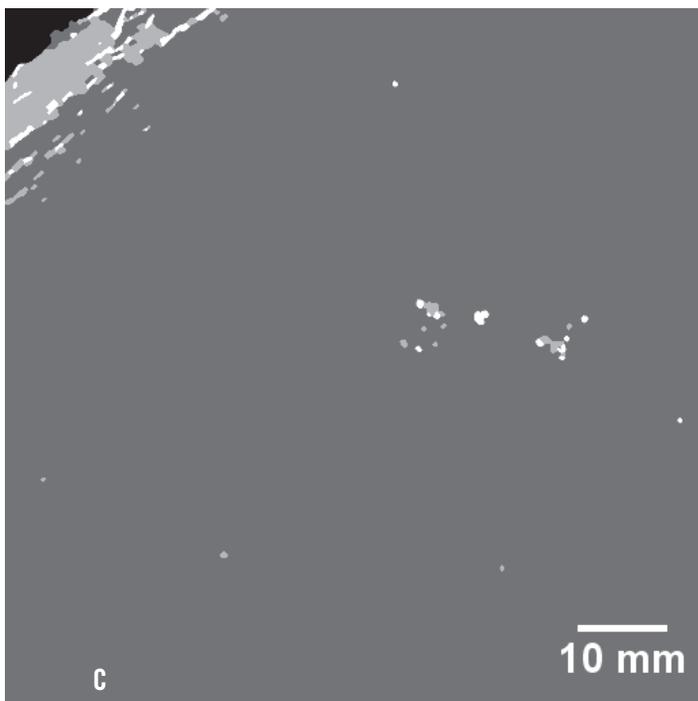
Ora, se encarássemos uma imagem mamográfica como um sistema previamente submetido a difusão, poderíamos submetê-la a uma difusão não-linear, evidenciando as estruturas de interesse e homogeneizando as restantes. Isso é plenamente realizável, mas existe uma dificuldade para determinar

quais estruturas devem ser evidenciadas e quais devem ser homogeneizadas. Lembre-se de que tudo é feito via matemática – logo, é necessário ‘matematizar’ a capacidade de discernir o que pode e o que não pode ser borrado na imagem.

Definir essa capacidade representa um grande empecilho para a aplicação prática da difusão não-linear, pois não há receita pronta: cada imagem tem suas próprias características, e o controle da difusão tende a ser caso a caso, ou seja, particularizado. Isso quer dizer que cada imagem necessita ser testada e, de certa forma, ‘calibrada’ para a aplicação da técnica. Obviamente, não há vantagem alguma nisso.

Os autores deste artigo investigaram, por dois anos, a influência da difusão não-linear em imagens mamográficas. Para isso, desenvolveram todo um sistema computacional auxiliar, que ‘contava’ e ‘classificava’ os achados.

Além do inquestionável efeito visual, constatou-se que o uso da difusão não-linear proporcionava aumentos de até 30% no número



de detecções de estruturas suspeitas (não necessariamente malignas) em imagens mamográficas.

Contudo, o processo não era livre de erros, e objetos irrelevantes também acabavam sendo detectados. A figura 5 ilustra essa ocorrência.

Para onde, agora? Apesar de sua influência positiva nas detecções em imagens mamográficas, ainda existem perguntas a serem respondidas sobre a difusão não-linear: como fazer com que a difusão ‘entenda’ ou ‘enxergue’ melhor a imagem a ser processada? Há uma equação (ou conjunto de equações) que descreva a imagem mamográfica ou, pelo menos, a parte relevante dela? Caso exista, é uma equação de difusão?

Ainda não temos as respostas. Mas já sabemos que imagens mamográficas respondem bem a processamentos baseados em física. Isso alimenta a expectativa de que, talvez, alguma equação física – mesmo daquelas mais simples – guarde a chave para detecções mais eficientes em mamografia.

Esse é um caminho bastante interessante – apesar de sinuoso – a se trilhar, pois apresenta diferentes desdobramentos em física, matemática, computação, entre outras áreas. Nessa caminhada científica pela teoria da informação, toda companhia é bem-vinda.

E o(a) leitor(a), qual caminho acha que deve ser tomado? 

Sugestões para leitura

CALDAS, F. A. A. *et al.* ‘Controle de qualidade e artefatos em mamografia’. *Radiologia Brasileira* v. 38. n. 4. pp. 295-300 (2005). Disponível em: <http://bit.ly/2fb5Jlr>.

MAZZONCINI, P. A. M. ‘Diagnóstico auxiliado por computador na radiologia’. *Radiologia Brasileira* v. 34. n. 5. pp. 285-293 (2001). Disponível em: <http://bit.ly/2eGUv9M>.

PERSECHINO, A.; ALBUQUERQUE, M. P. de. ‘Processamento digital de imagens: conceitos fundamentais’. *Monografias do CBPF* v. 1. n. 4. pp. 1-41 (2015). Disponível em: <http://bit.ly/2fWm0Jy>.

PERSECHINO, A.; APOLINÁRIO JR., J. A.; ALBUQUERQUE, M. P. de. ‘Evidenciação de estruturas em imagens por meio de equação de difusão’. *Notas Técnicas do CBPF* v. 4. n. 2. pp. 14-22 (2014). Disponível em: <http://bit.ly/2fWVfnt>.