

Relatório Científico do Projeto Temático Métodos de Aproximação para Computação Visual

Coordenador: Jorge Stolfi

Processo: 2007/52015-0

Período do relatório: jun/2008 a mar/2009

Resumo

No período coberto por este relatório, os pesquisadores do projeto progrediram em várias das linhas previstas originalmente, e iniciaram novas linhas relacionadas com o tema do projeto. Em fevereiro de 2009 o Prof. Hélio Pedrini, do IC-UNICAMP, aderiu ao projeto na qualidade de Colaborador. Suas atividades de pesquisa estão descritas nas seções 1.2, 1.6, e 6.1.

As publicações dos membros do projeto, relacionadas ao mesmo, são citadas nas seções pertinentes deste relatório. [30] [29] [33] [52] [56] [64] [31] [79] [65] [62] [32] [21] [15] [71] [2] [84] [82] [66] [38] [78] [85] [35] [22] [83] [36] [37] [1] [23] [24] [34] [10] [11] [12] [13] [8] [9] [43] [41] [42] [57] [4] [28] [7] [27] [26] [48] [58] [46] [55] [68] [53] [72] [51] [3] [49] [50] [45] [73] [81] [69] [59] [40] [70] [75] [80] [47] [76] [25] [14] [63] [77] [20] [5] [19] [44] [39] [54] [74]

Deve-se notar porém que os membros do projeto tiveram várias outras publicações no período. [31]

Sumário

1	Métodos multi-escala	1
1.1	Bases para representação multi-escala de imagens e vídeos	1
1.2	Representação multi-escala de malhas triangulares	1
1.3	Morfologia matemática multi-escala de imagens	1
1.4	Registro multi-escala de imagens	2
1.5	Recuperação de imagens por comparação multi-escala	2
1.6	Compressão eficiente de vídeos de segurança	3
2	Métodos de aproximação na esfera e outras variedades	3
2.1	Aproximação com splines e bases radiais na esfera	3
2.2	Splines em malhas circulares	4
2.3	Geometria computacional em espaços não euclidianos	4
3	Análise fractal multi-escala	4
3.1	Análise de forma baseada na dimensão fractal	4
3.2	Análise de imagens para diagnósticos e prognósticos	5
4	Métodos de aproximação não-linear	5
4.1	Suavização geométrica de curvas	5
4.2	Determinação de contornos suaves para imagens binárias	5
4.3	Segmentação de vídeos por movimento de câmera	6
4.4	Métodos fotométricos para visão 3D	6
4.5	Rastreamento de objetos deformáveis	8
5	Métodos intervalares	8
5.1	Aplicação de aritmética afim em computação visual	8
5.2	Comparação garantida de imagens em escala reduzida	8
6	Aproximação de problemas contínuos por modelos discretos	9
6.1	Segmentação de imagens e vídeos	9
6.2	Determinação de correspondências aproximadas em imagens	9
6.3	Algoritmos heurísticos para o Problema da Galeria de Arte	9

1 Métodos multi-escala

1.1 Bases para representação multi-escala de imagens e vídeos

Pesquisadores envolvidos: A. Gomide, J. Stolfi, S. Gomes, M. Domingues, L. Velho.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver representações inovadoras de imagens e vídeos segundo a técnica multi-escala. Com vistas a esse objetivo, continuamos desenvolvendo as estruturas de dados e algoritmos para representação de malhas diádicas [6].

Neste período realizamos estudos teóricos, em que se implementam os formalismos matemáticos e algoritmos para analisar sinais espaço-temporais [21].

Realizamos também estudos teóricos, numéricos e computacionais para o desenvolvimento de formalismo multiescala moderno para resolver simulações numéricas utilizando EDP evolutivas com singularidades isoladas [30, 29, 33, 52]. Aplicamos essas técnicas a problemas de sinais espaciais [56, 79, 65, 62, 32]. Os resultados destas pesquisas auxiliam a um melhor conhecimento do ambiente que envolve o planeta, ao domínio de tecnologias sofisticadas e à formação de recursos humanos de excelência.

Neste sub-projeto enquadra-se também o trabalho de Doutorado do aluno Douglas Azevedo Castro, do IMECC-UNICAMP, que está sendo orientado por S. Gomes. Dentro desse trabalho, estamos desenvolvendo um integrador genérico para equações diferenciais parciais usando malhas diádicas adaptáveis.

1.2 Representação multi-escala de malhas triangulares

Pesquisadores envolvidos: M. Andrade, A. Gomide, J. Stolfi, H. Pedrini.

O tema original deste sub-projeto era o uso de técnicas de simplificação multi-escala da malhas para resolver problemas de visibilidade em terrenos. Porém, essas atividades ainda não foram iniciadas. Por outro lado, a inclusão do Prof. Hélio Pedrini no Temático, em fev/2009, nos levou a ampliar o escopo deste sub-projeto. Estamos presentemente estudando técnicas para simplificação e refinamento de malhas poligonais. Já definimos um grande conjunto de métricas para geração das malhas, e estamos tentando usá-las na visualização de malhas em tempo real.

1.3 Morfologia matemática multi-escala de imagens

Pesquisadores envolvidos: N. Leite.

O objetivo deste sub-projeto era identificar métodos eficientes de simplificação da “topografia” de uma imagem através de um processo de transformação multi-escala, no contexto das teorias do espaço-escala não-linear e morfologia matemática (MM) [?].

Estas transformações podem ser utilizadas em diversas aplicações de processamento de imagens, tais como binarização e segmentação, para melhorar a qualidade dos resultados obtidos. Elas efetuam uma simplificação controlada do sinal original, baseada na teoria de morfologia matemática e possuem a forma de um operador do tipo *toggle*.

Inicialmente, definimos novas operações com propriedades do tipo espaço-escala, através das quais pode-se obter uma simplificação topológica da imagem em que máximos e mínimos interagem ao mesmo tempo, uma vantagem em relação a outros métodos que tratam esses

dois tipos de extremos separadamente. A análise de diferentes níveis de representação do sinal conduz a inúmeras vantagens, possibilitando lidar adequadamente com sua natureza multi-escala, e permitindo a extração de características específicas que se tornam explícitas a cada escala.

A partir de variações na formulação e no modo de aplicação do operador proposto, foi possível definir uma nova operação de *limiarização adaptativa multi-escala* e um método morfológico de filtragem e segmentação. Foram realizados diversos experimentos que comprovam o interesse das abordagens propostas. Parte dos resultados aqui obtidos foi aplicada em trabalhos de doutorado e mestrado financiados pela FAPESP, em particular nas atividades de pesquisa envolvendo simplificações topológicas de imagens e problemas de rastreamento de componentes conexas em vídeos de esporte.

1.4 Registro multi-escala de imagens

Pesquisadores envolvidos: A. Falcão, A. Gomide, J. Stolfi, L. Velho, N. Leite.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver métodos robustos e eficientes para *registro* (alinhamento) de duas ou mais imagens afetadas por deformações arbitrárias.

As atividades deste sub-projeto estão sendo conduzidas como parte do projeto do aluno Rodrigo Minetto (Doutorado, orientado por N. Leite e co-orientado por J. Stolfi). No período em questão, implementamos o algoritmo multi-escala de Kanade, Lucas e Tomasi (KLT) para localização eficiente de características semelhantes em duas imagens. Nessa ocasião, fizemos um estudo aprofundado do algoritmo mono-escala de Lucas e Kanade (LK), que é o passo principal do algoritmo KLT. Substituindo o método de gradiente conjugado, usado em muitas implementações do LK, por uma combinação dos métodos de Newton-Raphson e de descida pelo gradiente, conseguimos ampliar o raio de convergência do algoritmo LK, de ≈ 2 pixels para ≈ 4 pixels. Esta melhoria também tornou o algoritmo KLT mais robusto e eficiente. Estes resultados foram apresentados em congresso nacional [?].

O algoritmo KLT será uma ferramenta básica para nossas futuras pesquisas em alinhamento de imagens. Por definição, o algoritmo KLT já encontra o alinhamento translacional ótimo de duas imagens. para alinhamentos com mais graus de liberdade (rotação, cisalhamento, mudança de escala, perspectiva, morphing, etc.) pode-se aplicar o KLT a uma coleção de janelas pequenas distribuídas sobre as duas imagens, e ajustar o modelo apropriado de transformação aos pares de correspondências assim obtidas.

O tema da tese do Minetto é na verdade a segmentação, rastreamento, e determinação da pose de objetos rígidos móveis em vídeos. Embora esse tema extrapole os objetivos iniciais do sub-projeto, como definidos acima, ele ainda está dentro do escopo geral do Temático, pois em todas as suas etapas são usados métodos inovadores de aproximação (por exemplo, a aproximação da transformação de perspectiva global da câmera por transformações afins localizadas.)

1.5 Recuperação de imagens por comparação multi-escala

Pesquisadores envolvidos: J. Stolfi, H. Leitão.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver métodos para busca de imagens por conteúdo

usando técnicas multi-escala. As atividades deste sub-projeto estão sendo atualmente executadas como parte do projeto de Mestado do aluno Carlos Zampieri, orientado por J. Stolfi.

Neste período desenvolvemos um protótipo do programa para busca de imagens por conteúdo multi-escala, usando como critério de comparação a distância euclidiana $\text{dist}(A, B) = \sqrt{\sum_p (A[p] - B[p])^2}$. Inicialmente usamos um estimador de distância baseado em aritmética intervalar (seção 5.2).

Para testar este método, obtivemos dois bancos de imagens, cada um com cerca de 1000 imagens de natureza bastante variada. A figura ?? mostra algumas imagens aleatórias dos bancos e o resultado de buscas nos mesmos. Nas duas bases, a busca multi-escala permitiu economizar entre 80 e 90% do custo computacional, em relação à busca exaustiva na escala original. Vale notar que, embora o método use aproximações para acelerar a busca, o resultado final é sempre exato — isto é, a imagem encontrada é realmente a imagem do banco mais próxima à imagem de busca. Estes resultados estão sendo descritos em artigo para apresentação em congresso.

Em vista destes resultados promissores, no período seguinte pretendemos continuar explorando esta abordagem, acrescentando ao protótipo outras funções de distância e outros métodos para redução de escala. Em particular, planejamos testar estimadores probabilísticos que utilizam a média e variância regional, em vez da junção intervalar, para guiar a busca. Esperamos que as técnicas de inferência estatística também possam ser utilizadas na versão intervalar, para aumentar ainda mais a velocidade da busca sem sacrificar a exatidão do resultado.

1.6 Compressão eficiente de vídeos de segurança

Pesquisadores envolvidos: H. Pedrini.

Este é um novo sub-projeto do temático, cujo objetivo é o desenvolvimento de métodos de compressão de vídeo e recuperação da localização de objetos móveis. Desenvolvemos e implementamos recentemente algoritmos desse tipo para a área de vigilância. Redundâncias espaciais e temporais das cenas capturadas a partir de câmeras estáticas são exploradas para alcançar altas taxas de compressão.

2 Métodos de aproximação na esfera e outras variedades

2.1 Aproximação com splines e bases radiais na esfera

Pesquisadores envolvidos: M. Andrade, A. Gomide, S. Gomes, A. Montenegro, J. Stolfi.

O tema deste sub-projeto era continuar o desenvolvimento de técnicas de aproximação variadas (harmônicos esféricos, bases radiais, ou splines) para funções definidas sobre uma esfera unitária n -dimensional \mathbb{S}^n . No período do relatório, consideramos especificamente a modelagem do fluxo de luz em uma cena tridimensional, para fins do sub-projeto de estéreo fotométrico (seção 4.4).

O fluxo de luz em um ponto do espaço pode ser idealizado como uma função real $\Phi(u)$ definida em \mathbb{S}^2 que dá a energia dos fótons que passam perto desse ponto com direções próximas a u , por unidade de tempo. Em estéreo fotométrico, o fluxo Φ é geralmente desconhecido; que pode ser observado é a *função de tonalização* $\Lambda(u)$, que é a cor aparente de uma superfície com normal u exposta ao fluxo Φ . Ou seja seja, $\Lambda(u)$ é a cor aparente do gabarito no ponto do mesmo onde a normal é u .

A grosso modo, a função $\Lambda(u)$ é conhecida apenas no hemisfério do gabarito que é visível a partir da câmera. Por essa razão, estamos por enquanto tratando a tonalização Λ como função de duas variáveis (u_x, u_y) , ou seja, como uma função definida no disco unitário \mathbb{B}^2 . Veja a figura ???. Entretanto, quando a câmera está a uma distância finita da cena, a imagem de um gabarito esférico não é um círculo mas sim uma elipse; e a parte visível do mesmo varia conforme sua posição na imagem. Estes detalhes terão que ser levados em conta para conseguirmos estéreo fotométrico de precisão em situações realistas; por exemplo, para acomodar variação espacial na iluminação, ou para deduzir a posição de fontes de luz que estão fora do campo da imagem.

Como um primeiro passo neste sentido, desenvolvemos um algoritmo para ajustar uma elipse à linha de silueta (contorno da projeção) de um gabarito esférico em uma imagem. O algoritmo usa a técnica de multi-escala para obter rapidamente resultados de alta precisão (fração de pixel) mesmo a partir de posicionamentos iniciais bastante grosseiros. Veja a figura ??. A partir dos dados dessa elipse podemos compensar os efeitos de perspectiva e calcular a normal exata de cada ponto visível do gabarito.

O próximo passo é ajustar um modelo matemático, por exemplo uma série de harmônicos esféricos, à função Λ observada na imagem do gabarito. Esta aproximação permitirá eliminar boa parte do ruído (erros de quantização e defeitos de acabamento) que contaminam a imagem; especialmente nos pixels próximos à borda do gabarito, onde o ruído tende a ser maior.

2.2 Splines em malhas circulares

Pesquisadores envolvidos: M. Andrade, A. Gomide, J. Stolfi.

Este sub-projeto ainda não foi iniciado.

2.3 Geometria computacional em espaços não euclidianos

Pesquisadores envolvidos: P. Rezende.

Não houve nenhuma atividade neste sub-projeto.

3 Análise fractal multi-escala

3.1 Análise de forma baseada na dimensão fractal

Pesquisadores envolvidos: R. Torres, A. Falcão.

Não houve nenhuma atividade neste sub-projeto.

3.2 Análise de imagens para diagnósticos e prognósticos

Pesquisadores envolvidos: R. Adam, K. Metze, N. Leite, R. Torres, A. Falcão.

O objetivo deste sub-projeto era a análise de imagens histopatológicas e citológicas a fim de extrair informações relevantes para diagnósticos e prognósticos.

As atividades deste sub-projeto foram centradas principalmente na Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP, com alunos e pesquisadores orientados por K. Metze. No período considerado, desenvolvemos e aplicamos várias técnicas inovadoras, descritas em dezenas de publicações [1].

Atualmente estamos pesquisando o poder diagnóstico e prognóstico da análise de imagens da cromatina. A aluna de Doutorado Maria Luiza de Castro Valladão está estudando o uso da textura da cromatina como fator preditivo em TVT, pela análise comparativa da cromatina antes e depois do tratamento. O aluno de Doutorado Valcenir Bedin (orientado por K. Metze em colaboração com G. Landmann) está investigando seu uso como fator prognóstico em melanoma maligno. A pesquisadora Rita de Cassia Ferreira (orientada por K. Metze com a colaboração de L. S. Ward) está investigando a análise da cromatina como fator prognóstico em carcinoma papilífero da tiróide. A aluna de Mestrado Joyce V. Rico (orientada por I. Lorand-Metze)★[Qual a ligação com o temático?] está trabalhando na caracterização da cromatina de blastos “indeterminados” em pacientes com síndrome mielodisplásico.

A aluna de Doutorado Lilian Elston está investigando também o uso da análise sintática da morfologia de mastocitoma cutâneo canino como fator prognóstico.

4 Métodos de aproximação não-linear

4.1 Suavização geométrica de curvas

Pesquisadores envolvidos: H. Leitão, J. Stolfi.

As atividades deste projeto ainda não foram iniciadas.

4.2 Determinação de contornos suaves para imagens binárias

Pesquisadores envolvidos: J. Stolfi.

O tema deste sub-projeto era construir curvas ou superfícies separadoras (*envoltórias*) suaves para dois conjuntos finitos X e Y de pontos no plano ou no espaço. No período em questão, as atividades deste sub-projeto foram desenvolvidas principalmente como projeto de tese de Doutorado da aluna Ana Paula Malheiro, orientada por J. Stolfi.

Consideramos em particular o caso em que os conjuntos X e Y formam uma partição dos vértices de uma malha regular com células quadradas. Para modelar as envoltórias, escolhemos o espaço \mathcal{P}_c^g dos splines polinomiais implícitos (em vez de paramétricos) definidos sobre essa malha, com continuidade formal de ordem 1. Para escolher dentre todas as envoltórias desse tipo que separam X de Y , usamos uma função quadrática Q (*energia* ou *feiura*) tal que Q é zero quando todos os retalhos da envoltória pertencem à mesma variedade quadrática implícita (curva cônica ou superfície quádrlica). A determinação da envoltória fica portanto reduzida a um problema de minimização quadrática com restrições lineares.

Neste período investigamos vários sub-espacos dos splines polinomiais implícitos, determinando o número e a natureza dos graus de liberdade dos mesmos. Concluimos, por exemplo, que os splines bilineares ($\mathcal{P}_1^{1,1}$) não possuem liberdade suficiente; enquanto que splines de grau total 2 (\mathcal{P}_1^2) são suficientes, mas não admitem uma base de elementos finitos, nem mesmo quando restritos a uma fileira quase-unidimensional de células. Por outro lado, splines tensoriais de grau 2 ($\mathcal{P}_1^{2,2}$) possuem um número excessivo de graus de liberdade. Por enquanto nossa escolha continua sendo \mathcal{P}_1^2 .

No decorrer desses testes, implementamos um programa genérico para determinar a envoltória ótima no plano, para uma dada partição X, Y . As partes principais do programa, que fazem a otimização quadrática, são essencialmente genéricas quanto à dimensão do espaço e à natureza e grau dos splines \mathcal{P}_c^g . O programa também permite escolher o modelo aritmético a usar durante a otimização, quer números em ponto flutuante de 64 bits (aproximados) ou números racionais 64+64 bits (exatos). A aritmética de ponto flutuante é muito mais rápida, e admite malhas muito maiores antes de falhar por *overflow*; mas pode produzir um resultados muito incorretos.

A dificuldade destes problemas cresce rapidamente em função do número de variáveis. No plano, com o espaço \mathcal{P}_1^2 , cada célula da fronteira X – Y acrescenta mais 6 variáveis (coeficientes) ao problema, mas apenas um grau de liberdade à solução. Uma maneira de amenizar este problema é usar uma base de elementos finitos para o espaço \mathcal{P}_1^2 ; dessa forma, o número de variáveis (coeficientes da base) será igual ao número de liberdades.

Motivados por essa consideração, estamos trabalhando em um algoritmo para determinar automaticamente a base de elementos finitos de suporte total mínimo para um espaço de splines arbitrários. Embora o algoritmo seja exponencial no pior caso, acreditamos que ele será razoavelmente eficiente se o espaço admitir uma base de elementos finitos com suporte $O(1)$. (Este algoritmo, obviamente, terá muitas outras aplicações além da descrita acima.)

4.3 Segmentação de vídeos por movimento de câmera

Pesquisadores envolvidos: N. Leite, J. Stolfi.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver um algoritmo robusto para detecção de movimentos de câmera em vídeos. Este objetivo era o projeto de Mestrado do aluno Rodrigo Minetto, orientado por N. Leite e co-orientado por J. Stolfi. Os objetivos foram alcançados com a obtenção do Mestrado pelo aluno em 17/08/2007 [67].

O Rodrigo é atualmente aluno de Doutorado do IC-UNICAMP. Seu projeto de tese, que pode ser considerado uma generalização do problema acima, está contribuindo principalmente para outro sub-projeto deste mesmo temático (seção 1.4).

4.4 Métodos fotométricos para visão 3D

Pesquisadores envolvidos: A. Gomide, H. Leitão, J. Stolfi, A. Montenegro, L. Velho.

Neste sub-projeto as atividades foram centradas nos temas de projeto dos alunos Rafael Saracchini, de Danilo Pereira, e de Altobelli Mantuan (Iniciação Científica, H. Leitão).

Estéreo fotométrico. A tese do aluno Rafael Saracchini (Doutorado, orientado por J. Stolfi) versa sobre estereo fotométrico (EF), onde o objetivo é determinar a direção normal (ou in-

clinação) em cada ponto da superfície de um arranjo de objetos (a *cena*), a partir de $m \geq 3$ fotos do mesmo obtidas com iluminações diferentes. Consideramos especificamente a variante do problema conhecida como *EF por exemplos*, onde o sombreamento de cada foto é comparado ao de um objeto de referência (*gabarito*) de forma e cor conhecidas. Nesta versão, a parte demorada do cálculo é determinar o ponto do gabarito que tem a mesma resposta à luz que um ponto dado da cena. Este é um caso particular do *problema de ponto mais próximo* em m dimensões. No decorrer deste ano, desenvolvemos um método extremamente rápido para acelerar este cálculo, usando uma grade bidimensional de “baldes” adequadamente posicionada no \mathbb{R}^m . Esta solução, que acelera o cálculo por um fator de 100 ou mais, foi apresentada no congresso nacional SIBGRAPI em 2007 [17], e submetida a um periódico internacional.

Ainda neste tema, consideramos em seguida o problema do EF na presença de iluminação não-uniforme da cena (em particular, sombras projetadas e iluminação indireta vinda de outros objetos da cena) ou reflexos acentuados em superfícies polidas. Conseguimos encontrar uma formulação baseada na análise bayesiana que automaticamente deconsidera as imagens da cena onde o ponto analisado está afetado por tais anomalias, e leva em conta apenas as imagens onde a cor do ponto é mais consistente com a do gabarito.

Em princípio, essa análise bayesiana exigiria a integração de uma distribuição de probabilidade complicada, geralmente com m picos estreitos. Nós conseguimos acelerar bastante este cálculo, substituindo essa distribuição por uma aproximação constante-por-partes. Veja figura ?? Este resultado foi apresentado no SIBGRAPI de 2008 [18].

Infelizmente, a técnica de aceleração por grade de baldes, descrita anteriormente, não funciona nos pontos onde há anomalias de iluminação. Em tais casos, o cálculo da normal é bastante demorado. Estamos investigando métodos tipo RANSAC para contornar esta dificuldade.

Outra investigação que empreendemos dentro desta área foi a aplicação de técnicas de EF para captura da geometria 3D da face humana, usando uma *webcam* como câmera e o próprio monitor de um PC como fonte de luz variável. Embora existam outras técnicas mais confiáveis e precisas para este fim, como *scanners* 3D a laser e luz estruturada, a abordagem que consideramos seria imbatível em termos de custo e conveniência. A figura ?? mostra algumas fotos de um rosto obtidas dessa forma, e a geometria 3D desse rosto calculada com nossos algoritmos.

Radiosidade por elementos finitos. A dissertação de Mestrado de Danilo Pereira (Mestrado, orientado por A. Gomide) versou sobre a síntese de imagens realistas de uma cena virtual levando em conta efeitos de *radiosidade* — isto é, a iluminação indireta devida a fótons que interagem duas ou mais vezes com a superfície da cena.

Para este fim é necessário discretizar de alguma forma a função $E(p)$ que define a intensidade da luz emitida espontaneamente em cada ponto p da cena, e a função $L(p)$ que define a intensidade da luz total (emitida mais espalhada) nesse ponto. Os primeiros trabalhos com radiosidade dividiam a cena em inúmeros elementos de relevo, cada qual modelado como um polígono plano, sendo E e L constantes sobre cada elemento. Esta solução deixava muito a desejar, pois as descontinuidades entre elementos eram muito perceptíveis, exigindo elementos menores que um pixel e portanto um número muito grande de elementos.

Uma solução recentemente encontrada para esta dificuldade foi aproximar E e L por meio de elementos finitos com derivadas contínuas até primeira ordem [?]. O projeto do Danillo foi comparar três tipos de bases de elementos finitos para este fim: (1) uma base radial com perfil pseudo-gaussiano, (2) uma versão da mesma normalizada de modo a ser uma partição da unidade; e (3) uma base radial normalizada interpoladora (base de Shepard). As imagens obtidas foram avaliadas tanto visualmente (veja a figura ?? quanto numericamente, contra uma solução “exata” obtida por integração direta da equação de Kajiya [?]. O aluno defendeu o Mestrado em ??/03/2009 e os resultados serão submetidos a congresso nacional.

Determinação de linhas de fratura. O projeto de Altobelli Mantuan (Iniciação Científica, orientado por H. Leitão) é a aplicação as técnicas de estéreo fotométrico descritas acima para a determinação de linhas e superfícies de fratura em imagens de fragmentos de cerâmica. Esta é uma etapa necessária para a reconstrução automática virtual de objetos fragmentados, um projeto de longo prazo que se iniciou com a tese de Doutorado de H. Leitão [16, 60, 61].

A entrada do detector de fraturas é o mapa de normais calculado pelos softwares desenvolvidos pelo Rafael. Fraturas em objetos cerâmicos podem ser reconhecidas pela sua textura extremamente rugosa e irregular (na verdade, fractal), que contrasta com a relativa suavidade das superfícies originais dos objetos — quer moldados à mão, quer torneados; e pela mudança brusca da direção normal ao longo de suas bordas.

4.5 Rastreamento de objetos deformáveis

Pesquisadores envolvidos: S. Goldenstein, L. Velho.

Não houve nenhuma atividade neste sub-projeto.

5 Métodos intervalares

5.1 Aplicação de aritmética afim em computação visual

Pesquisadores envolvidos: L. Figueiredo, J. Stolfi.

Este sub-projeto ainda não foi iniciado.

5.2 Comparação garantida de imagens em escala reduzida

Pesquisadores envolvidos: L. Figueiredo, J. Stolfi.

O objetivo deste sub-projeto era desenvolver estimadores rápidos mas garantidos para a distância entre duas imagens, usando técnicas de computação auto-validada.

Este sub-projeto está sendo executado em conjunto com o sub-projeto de busca de imagens por conteúdo usando técnicas multi-escala (seção 1.5); especificamente, como parte do projeto de Mestrado do aluno Carlos Zampieri, orientado por J. Stolfi.

Neste período desenvolvemos estimadores intervalares para a distância euclidiana de imagens, $\text{dist}(A, B) = \sqrt{\sum_p (A[p] - B[p])^2}$. Para tanto, supomos que cada pixel p da imagem

é um intervalo que contém as cores de todos os pixels correspondentes a p na imagem original. O cálculo de $\text{dist}(A, B)$ com aritmética intervalar fornece então um intervalo que garantidamente contém a distância das imagens originais (na escala mais detalhada).

Recentemente estendemos este estimador para comparar imagens de objetos com contorno irregular, com tratamento correto dos pixels do fundo. No futuro próximo pretendemos desenvolver estimadores eficazes e eficientes para outras funções de distância mais sofisticadas, como as distâncias de Hausdorff, de Monge, de *morphing* elástico, de entropia, etc..

6 Aproximação de problemas contínuos por modelos discretos

6.1 Segmentação de imagens e vídeos

Pesquisadores envolvidos: N. Leite, A. Falcão, H. Pedrini.

Não houve nenhuma atividade neste sub-projeto.

★

[**Ajeitar este parágrafo.**] Temas de pesquisa sob investigação relacionados à segmentação de imagens incluem a proposição e implementação de novas técnicas para associar a dependência espacial modelada por campos aleatórios de Markov em imagens monocromáticas e coloridas. A estimação de parâmetros de distribuição de probabilidade responsáveis por gerar determinado conjunto de amostras permite a caracterização das classes presentes nas imagens. Outra abordagem envolve o uso de transformadas wavelets para extração de descritores texturais em imagens médicas e de sensoriamento remoto, de modo a facilitar as etapas de segmentação e classificação das imagens.

6.2 Determinação de correspondências aproximadas em imagens

Pesquisadores envolvidos: S. Goldenstein, L. Velho.

Não houve nenhuma atividade neste sub-projeto.

6.3 Algoritmos heurísticos para o Problema da Galeria de Arte

Pesquisadores envolvidos: C. Souza, P. Rezende.

O tema deste sub-projeto era o *Problema da Galeria de Arte*, que consiste em determinar o número mínimo de sentinelas suficiente para guardar uma galeria de arte na forma de um polígono simples de n lados.

No período do relatórios, desenvolvemos um algoritmo exato que iterativamente computa soluções ótimas para instâncias sucessivamente refinadas do Problema de Cobertura de Conjuntos correspondentes a discretizações do polígono [10, 11, 12, 8]. Mostramos que esse procedimento converge para uma solução exata e verificamos na prática que o número de iterações é pequeno mesmo para polígonos de milhares de vértices. Observando que esse número é fortemente dependente da discretização inicial, realizamos extensiva investigação empírica com seis discretizações distintas e uma grande gama de classes de polígonos. Como

resultado, melhoramos significativamente o desempenho do algoritmo de modo a podermos resolver instâncias dez vezes maiores do que as apresentadas anteriormente na literatura, ao mesmo tempo em que mantemos baixo (algumas dezenas de segundos) o tempo de execução..

Neste período também geramos a única massa de dados publicamente disponível para o problema de Galeria de Arte de que temos conhecimento [13] e preparamos um vídeo técnico sobre o algoritmo [9]. Um artigo completo está em preparação para ser submetido em breve ao periódico *Algorithmica*.

Referências

- [1] Randall L. Adam, Neucimar J. Leite, and Konradin Metze. Fourierdetect. Software em fase de registro no INPI, Protocolo 018080046390, 2008.
- [2] Randall L. Adam, Neucimar J. Leite, and Konradin Metze. Image preprocessing improves Fourier-based texture analysis of nuclear chromatin. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology*, 30:175–184, 2008.
- [3] Costa AF, Demasi AP, Bonfitto VL, Bonfitto JF, Furuse C, Araújo VC, Metze K, and Altemani A. Angiogenesis in salivary carcinomas with and without myoepithelial differentiation. *Virchows Arch*, 453(4):359–67, October 2008.
- [4] H. Bockhorn, J.A. Denev, M. O. Domingues, C. Falconi, M. Farge, J. Frolcich, S. M. Gomes, B. Kadocha, I. Molina, O. Roussel, and K. Schneider. Numerical simulation of turbulent flows in complex geometries using the coherent vortex simulation approach based on orthonormal wavelet decomposition. Technical report, 2008. submitted.
- [5] J.W. Bruno Filho, H. Pedrini, and D.D. da Costa. Editor e simulador para auxílio à programação de máquinas-ferramentas. In *V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação (COBEF'2009)*, Belo Horizonte-MG, Brasil, April 2009. to appear.
- [6] Cláudio G. S. Cardoso, Maria Cristina C. Cunha, Anamaria Gomide, Denis J. Schiozer, and Jorge Stolfi. Finite elements on dyadic grids with applications. *Mathematics and Computers in Simulation*, 73(1–4):87–104, November 2006. doi:10.1016/j.matcom.2006.06.024.
- [7] D. A. Castro, A. S. Oliveira, S. M. Gomes, A. Gomide, and J. Stolfi. Análise de multirresolução em malhas diádicas. Technical report, 2008.
- [8] M. C. Couto, P. J. de Rezende, and C. C. de Souza. An ip solution to the art gallery problem. In *Proc. of the 25th Annual ACM Symposium on Computational Geometry*, June 2009.
- [9] M. C. Couto, P. J. de Rezende, and C. C. de Souza. An ip solution to the art gallery problem. Vídeo publicado no 18th Annual Video/Multimedia Review of Computational Geometry, June 2009. 25th Annual ACM Symposium on Computational Geometry.
- [10] M. C. Couto, C. C. de Souza, and P. J. de Rezende. An exact and efficient algorithm for the orthogonal art gallery problem. In *Proc. of the XX Brazilian Symp. on Comp. Graphics and Image Processing*, pages 87–94. IEEE Computer Society, 2007.
- [11] M. C. Couto, C. C. de Souza, and P. J. de Rezende. Experimental evaluation of an exact algorithm for the orthogonal art gallery problem. In *WEA*, volume 5038 of *LNCS*, pages 101–113. Springer, 2008.
- [12] M. C. Couto, C. C. de Souza, and P. J. de Rezende. Strategies for optimal placement of surveillance cameras in art galleries. In *GraphiCon 2008: XI International Conference on Computer Graphics & Vision*, Moscow, Russia, 2008. to appear.

- [13] M. C. Couto, C. C. de Souza, and P. J. de Rezende. Instances for the art gallery problem., 2009. www.ic.unicamp.br/~cid/Problem-instances/Art-Gallery/.
- [14] D.D. da Costa, H. Pedrini, and O. Bazan. Direct milling of polymethylmethacrylate for cranioplasty applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009. to appear.
- [15] Valdeci Donizette Juliar da França. Avaliação de uma metodologia de previsão de nevoeiro e visibilidade horizontal. Master’s thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.
- [16] Helena Cristina da Gama Leitão. *Reconstrução Automática de Objetos Fragmentados*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, November 1999. (In Portuguese).
- [17] Helena Cristina da Gama Leitão, Rafael Saracchini, and Jorge Stolfi. A bucket grid structure to speed up table lookup in gauge-based photometric stereo. In *Proceedings of the 20th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI 2007)*, pages 221–227. IEEE Computer Society Press, October 2007.
- [18] Helena Cristina da Gama Leitão, Rafael Saracchini, and Jorge Stolfi. Matching photometric observation vectors with shadows and variable albedo. In *Proceedings of the 21th Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing (SIBGRAPI 2008)*, pages 179–186. IEEE Computer Society Press, October 2008.
- [19] R.D. da Silva, R. Minetto, W.R. Schwartz, and H. Pedrini. Satellite image segmentation using wavelet transforms based on color and texture features. In *4th International Symposium on Visual Computing (ISVC’2008)*, pages 113–122, Las Vegas, NV, Estados Unidos, December 2008. Lecture Notes in Computer Science, ISBN 978-3-540-89645-6, vol. 5359.
- [20] R.D. da Silva, W.R. Schwartz, and H. Pedrini. Avaliação da invariância à rotação de descritores texturais extraídos por transformadas wavelets. In *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR’2009)*, Natal-RN, Brasil, April 2009. to appear.
- [21] Flávia Costa Gomes de Mendonça. Esquemas de adaptabilidade temporal no contexto wavelet. Master’s thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008.
- [22] Rafael H. C. de Souza and Neucimar J. Leite. A tracking framework for laboratory experiments. In *Proc. 16th European Signal Processing Conference*, 2008.
- [23] Rafael Henrique Castanheira de Souza. Rastreamento de animais por imagens de vídeo em experimentos de laboratório. Master’s thesis, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- [24] Fabio Augusto Salve Dias. Generalização do ritmo visual e problemas de rastreamento de imagens desportivas. Master’s thesis, Instituto de Computação, Universidade Estadual de Campinas, 2009.

- [25] Gustavo Ligeri Pereira do Prado. Estudo da textura nuclear em ratos Wistar após intoxicação por chumbo. Master's thesis, Curso de Fisiopatologia Médica, UNICAMP, July 2008.
- [26] M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide, A. S. Oliveira, J. R. Pereira, and P. Pinho. Implementation of absorbing boundary conditions in an adaptive wavelet code for electromagnetic wave propagation in inhomogeneous media. Technical report, 2008.
- [27] M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide, A. S. Oliveira, J. R. Pereira, and P. Pinho. Runge-kutta methods with time step control and adaptive grid refinement for maxwell's equations. Technical report, 2008.
- [28] M. O. Domingues, P. J. S. Ferreira, S. M. Gomes, A. Gomide, J. R. Pereira, and P. Pinho. Grid structure impact in sparse point representation of derivatives. Technical report, 2008. submitted.
- [29] Margarete O. Domingues, Sonia M. Gomes, Olivier Roussel, and Kai Schneider. An adaptive multiresolution scheme with local time stepping for evolutionary pdes. *Journal of Computational Physics*, 227(8):3758–3780, April 2008.
- [30] Margarete O. Domingues, Sonia M. Gomes, Olivier Roussel, and Kai Schneider. Space-time adaptive multiresolution methods for hyperbolic conservation laws: Applications to compressible euler equations. *Applied Numerical Mathematics*, 2009.
- [31] Margarete O. Domingues, Odim Mendes Jr., Marize C. Simões, and Varlei E. Menconi. Introdução a softwares científicos de livre distribuição com aplicações a ciências e tecnologias espaciais. Technical Report 14789, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008. INPE-14789-PUD/186.
- [32] Margarete O. Domingues, Flávia C. G. Mendonça, and Ebert E. N. Macau. Avaliação de métodos adaptativos espaciais e temporais associados a técnica de controle pi na equação de burgers. In *CNMAC 2008 XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, CNMAC, Belém, Pará, September 2008. SBMAC, SBMAC. CD-ROM (Abstract).
- [33] Margarete O. Domingues, Olivier Roussel, and Kai Schneider. An adaptive multiresolution method for parabolic pdes with time-step control. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 2009. PRE-PRINT.
- [34] Leyza B. Dorini. *Transformações de Imagens baseadas em Morfologia Matemática*. PhD thesis, IC-UNICAMP, 2009.
- [35] Leyza B. Dorini and Neucimar J. Leite. A general self-dual adaptative filtering toggle operator. In *Proc. of SIBGRAPI 2008 - XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pages 189–195. IEEE Computer Society, 2008.

- [36] Leyza B. Dorini and Neucimar J. Leite. Multiscale image representation using scale-space theory. In *Anais do XXXI CNMAC - Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, pages 1–8, 2008.
- [37] Leyza B. Dorini and Neucimar J. Leite. Multiscale morphological image simplification. In *13th Iberoamerican Congress on Pattern Recognition: Progress in Pattern Recognition, Image Analysis and Applications*, volume 5197 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 413–420. Springer-Verlag, 2008.
- [38] Leyza B. Dorini and Neucimar J. Leite. A multiscale operator for document image binarization. In *Proc. VISIGRAPP 2009 - Intl Joint Conference on Computer Vision and Computer Graphics Theory and Applications*, pages 34–39, 2009.
- [39] M.C. dos Santos and H. Pedrini. Renderização de cenas tridimensionais interativas em computadores de baixo desempenho. In *V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada (WRVA'2008)*, Bauru-SP, Brasil, November 2008.
- [40] Almeida EM, Caraça RA, Adam RL, Souza EM, Metze K, and Cintra ML. Photodamage in feline skin: clinical and histomorphometric analysis. *Vet Pathol*, 45(3):327–35, May 2008.
- [41] A. M. Farias, P. R. B. Devloo, and S. M. Gomes. Estimativa a posteriori do erro em termos de quantidades de interesse. In *Anais do XXIX CILAMCE*, 2008.
- [42] T. L. Forti, P. R. B. Devloo, and S. M. Gomes. Emprego de funções de base singulares em malhas de galerkin descontínuo. In *Anais do XXIX CILAMCE*, 2008.
- [43] J. Gonçalves, P. R. B. Devloo, S. M. Gomes, and I. Mozolevski. Estimativas de erro em quantidades de interesse para soluções obtidas pelo método de galerkin descontínuo. In *Anais do CNMAC*, 2008.
- [44] H.C. Ibanez, M.V.C. Ibanez, H. Pedrini, O.A.B. Licht, and B.C. Figueiredo. Sistema de web mapping para geologia médica. In *XI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde (CBIS'2008)*, Campos do Jordão-SP, Brasil, November/December 2008.
- [45] Kayser K, Görtler J, Metze K, Goldmann T, Vollmer E, Mireskandari M, Kosjerina Z, and Kayser G. How to measure image quality in tissue-based diagnosis (diagnostic surgical pathology). *Diagn Pathol*, 15 Suppl 1:S11(3), July 2008.
- [46] Kayser K, Hoshang SA, Metze K, Goldmann T, Vollmer E, Radziszowski D, Kosjerina Z, Mireskandari M, and Kayser G. Texture- and object-related automated information analysis in histological still images of various organs. *Anal Quant Cytol Histol*, 30(6):323–35, December 2008.
- [47] Metze K. Dichotomization of continuous data—a pitfall in prognostic factor studies. *Pathol Res Pract*, 204(3):213–4, 2008.

- [48] Metze K. The association between overall survival and the total number of dissected lymph nodes: An artifact caused by the surgical pathologist? *Ann Surg*, March 2009. Epub ahead of print.
- [49] Metze K. Lymph node yield as a prognostic factor in cancer studies—due to undersampling of tumor-free lymph nodes at higher n stages? *Ann Surg Oncol*, 16(4):1080–2, April 2009. Author’s reply on p. 1083.
- [50] Metze K, Ferreira RC, Adam RL, Leite NJ, Ward LS, and de Matos PS. Chromatin texture is size dependent in follicular adenomas but not in hyperplastic nodules of the thyroid. *World J Surg*, 32(12):2744–6, December 2008.
- [51] Metze K and Adam RL. Is there a reliable minimum number of lymph nodes for t1 and t2 colon cancer? *Dig Dis Sci*, 54(4):914–5, April 2009. Author’s reply on p. 916.
- [52] Benjamin Kadoch, Margarete O. Domingues, Ingmar Broemstrup, Lionel Larcheveque, Kai Schneider, and Marie Farge. Coherent vortex extraction in 3d homogenous isotropic turbulence:influence of reynolds number and geometrical statistics. *Brazilian Journal of Physics*, 2009.
- [53] Scarpelli KC, Valladão ML, and Metze K. Predictive factors for the regression of canine transmissible venereal tumor during vincristine therapy. *Vet J*, December 2008. Epub ahead of print.
- [54] M. Kera, F.L.S. Nunes, and H. Pedrini. Detecção de colisão de objetos em ambientes virtuais para treinamento médico utilizando jogl. In *V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada (WRVA’2008)*, Bauru-SP, Brasil, November 2008.
- [55] Elston L, Sueiro FA, Cavalcanti J, and Metze K. The importance of the mitotic index as a prognostic factor for canine cutaneous mast cell tumors - a validation study. *Vet Pathol*, January 2009. Epub ahead of print.
- [56] Alejandro Lara, Andrea I. Borgazzi, Odim Mendes Jr., Reinaldo R. Rosa, and Margarete O. Domingues. Short-period fluctuations in coronal mass ejection activity during solar cycle 23. *Solar Physics*, 248:155–166, 2008.
- [57] E. Larsson and S. M. Gomes. A least squares multi-level rbf method with applications in finance. Technical report, 2008.
- [58] Elston LB, Sueiro FA, Cavalcanti JN, and Metze K. The importance of the mitotic index as a prognostic factor for survival of canine cutaneous mast cell tumors: a validation study. *Vet Pathol*, 46(2):362–4, March 2009.
- [59] Rocha LB, Adam RL, Leite NJ, Metze K, and Rossi MA. Shannon’s entropy and fractal dimension provide an objective account of bone tissue organization during calvarial bone regeneration. *Microsc Res Tech*, 71(8):619–25, August 2008.

- [60] Helena C. G. Leitão and Jorge Stolfi. A multiscale method for the reassembly of two-dimensional fragmented objects. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 24(9):1239–1251, September 2002.
- [61] Helena Cristina G. Leitão and Jorge Stolfi. Digital reconstruction of fragmented artifacts. In Xavier Perrot, editor, *Proc. 8th International Cultural Heritage Informatics Meeting (ICHIM 2004)*, volume CD-ROM, pages 1–16, September 2004.
- [62] Eduardo F. P. Luz and Margarete O. Domingues. Representação de funções usando wavelets biortogonais de daubechies e aplicações a dados geofísicos. In *CNMAC 2008 XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, CNMAC, Belém, Brazil, September 2008. SBMAC, SBMAC. CD-ROM (Abstract).
- [63] M.R. Maurer, H. Pedrini, and M.A.F. Randi. Processing and visualization of light microscope images. *International Journal of Image and Graphics*, 2009. to appear.
- [64] Flávia C. G. Mendonça, Margarete O. Domingues, and Ebert E. N. Macau. Controle temporal e adaptabilidade espacial na resolução numérica de uma equação tipo kdv. In *Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications*, 2008.
- [65] Flávia C. G. Mendonça, Margarete O. Domingues, and Ebert E. N. Macau. Controle temporal e adaptabilidade espacial na resolução numérica de uma equação tipo kdv. *Tendências em Matemática Aplicada e Computacional*, 9(2):265–274, 2008. Selected papers from the 7th Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications - DINCON 2008.
- [66] Konradin Metze, Randall L. Adam, W. de S. Filho, Irene Lorand-Metze, and Neucimar J. Leite. Aplicação de ferramentas matemáticas em análises de imagens histológicas e citológicas, 2008.
- [67] Rodrigo Minetto. Detecção robusta de movimento de câmera em vídeos por análise de fluxo óptico ponderado. Master’s thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, August 2007. Advisor: Neucimar Jerônimo Leite; Co-Advisor: Jorge Stolfi (In Portuguese).
- [68] Rybka MO, Cintra ML, de Souza EM, and Metze K. Density of dendritic cells around basal cell carcinomas is related to tumor size, anatomical site and stromal characteristics, and might be responsible for the response to topical therapy. *Int J Dermatol*, 47(12):1240–4, December 2008.
- [69] Mello MR, Metze K, Adam RL, Pereira FG, Magalhães MG, Machado CG, and Lorand-Metze I. Phenotypic subtypes of acute lymphoblastic leukemia associated with different nuclear chromatin texture. *Anal Quant Cytol Histol*, 30(2):92–8, April 2008.
- [70] Delamain MT, Marques JF Jr, de Souza CA, Lorand-Metze I, and Metze K. An algorithm based on peripheral cd34+ cells and hemoglobin concentration provides a better optimization of apheresis than the application of a fixed cd34 threshold. *Transfusion*, 48(6):1133–7, June 2008.

- [71] Marcelo A. Oliveira and Neucimar J. Leite. A multiscale directional operator and morphological tools for reconnecting broken ridges in fingerprint images. *Pattern Recognition*, 41:367–377, 2008.
- [72] De Marchi Triglia R, Metze K, Zeferino LC, and Lucci De Angelo Andrade LA. Hpv in situ hybridization signal patterns as a marker for cervical intraepithelial neoplasia progression. *Gynecol Oncol*, 112(1):114–8, January 2009.
- [73] Adam RL, Leite NJ, and Metze K. Image preprocessing improves fourier-based texture analysis of nuclear chromatin. *Anal Quant Cytol Histol*, 30(3):175–84, June 2008.
- [74] D.R. Sans and H. Pedrini. Inserção e recuperação de marcas d’Água em imagens pela transformada wavelet. In *IV Workshop de Visão Computacional (WVC’2008)*, Bauru-SP, Brasil, November 2008.
- [75] Calonego SB, Barjas-Castro Mde L, Metze K, Pereira FG, and Lorand-Metze I. The influence of storage and leukocyte depletion on the antigen densities of fy1, fy2, mns3 and mns4 measured by flow cytometry. *Transfus Apher Sci*, 38(2):101–7, April 2008.
- [76] Karime Cury Scarpelli. Análise da estrutura sintática com fator preditivo em tvtc em terapia com vincristina. Master’s thesis, Curso de Ciências Médicas, UNICAMP, August 2008.
- [77] W.R. Schwartz, H. Pedrini, and L.S. Davis. Video compression and retrieval of moving object location applied to surveillance. In *International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR’2009)*, Halifax, Canadá, July 2009. to appear.
- [78] Nielsen Cassiano Simões and Neucimar J. Leite. Automatic key-frame extraction from broadcast soccer videos. In *Proc. of the VISIGRAPP 2009 - Intl. Joint Conference on Computer Vision and Computer Graphics Theory and Applications*, pages 216–223, 2009.
- [79] Aline C. Soterroni, Margarete O. Domingues, and Fernando M. Ramos. Estimativa do expoente de hurst de séries temporais caóticas por meio da transformada wavelet discreta. In *Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications*, pages 437–442. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2008.
- [80] Marinho VF, Metze K, Sanches FS, Rocha GF, and Gobbi H. Lymph vascular invasion in invasive mammary carcinomas identified by the endothelial lymphatic marker d2-40 is associated with other indicators of poor prognosis. *BMC Cancer*, 29(8):64–64, February 2008.
- [81] Marinho VF, Metze K, Sanches FS, Rocha GF, and Gobbi H. [molecular features of breast cancer predictive of lymph node metastases]. *Rev Assoc Med Bras*, 54(3):203–7, 2008. In Portuguese.
- [82] Javier A. M. Zegarra, Neucimar J. Leite, and Ricardo S. Torres. Wavelet-based fingerprint image retrieval (to appear). *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2008:—, 2008.

- [83] Javier A. M. Zegarra, Neucimar J. Leite, Ricardo S. Torres, and Alexandre X. Falcão. Combining global with local texture information for image retrieval applications. In *Proc. Tenth IEEE International Symposium on Multimedia*, pages 148–153. IEEE Computer Society, 2008.
- [84] Javier A. M. Zegarra, João P. Papa, Neucimar J. Leite, Ricardo S. Torres, and Alexandre X. Falcão. Learning how to extract rotation-invariant and scale-invariant features from texture images. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008:1–15, 2008.
- [85] Javier A. M. Zegarra, João Paulo Papa, Neucimar J. Leite, and Ricardo S. Torres. Novel approaches for exclusive and continuous fingerprint classification. In *Proc. of the 3rd Pacific Rim Symposium on Advances in Image and Video Technology*, volume 5414 of *Lecture Notes In Computer Science*, pages 386–397. Springer-Verlag, 2009.