

**Relatório Científico do Projeto Temático
Métodos de Aproximação para Computação Visual**

Processo: 2007/52015-0

Período do relatório: jun/2008 a mar/2009

Jorge Stolfi, IC-UNICAMP (SP) - Coordenador

Konradin Metze, FCM-UNICAMP (SP) - Pesq. Principal

Neucimar Jerônimo Leite¹, IC-UNICAMP (SP) - Pesq. Principal

Alexandre Xavier Falcão, IC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaborador

Anamaria Gomide, IC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaboradora

Cid Carvalho de Souza, IC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaborador

Hélio Pedrini², IC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaborador

Margarete Oliveira Domingues, LAC-INPE (SP) - Pesq. Colaboradora

Pedro Jussieu de Rezende, IC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaborador

Randall Luis Adam, HC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaborador

Ricardo da Silva Torres, IC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaborador

Siome Klein Goldenstein, IC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaborador

Sônia Maria Gomes, IMECC-UNICAMP (SP) - Pesq. Colaboradora

Anselmo Antunes Montenegro, IC-UFF (RJ) - Pesq. Colaborador

Helena Cristina da Gama Leitão, IC-UFF (RJ) - Pesq. Colaboradora

Luiz Carlos Pacheco Rodrigues Velho, IMPA (RJ) - Pesq. Colaborador

Luiz Henrique de Figueiredo, IMPA (RJ) - Pesq. Colaborador

Marcus Vinícius Alvim Andrade, DPI-UFV (MG) - Pesq. Colaborador

¹ Afastado para Pós-Doutorado a partir de 03/2009.

² Aderiu ao Temático em 02/2009.

Sumário

1	Resumo	1
2	Métodos multi-escala	3
2.1	Bases para representação multi-escala de imagens e vídeos	3
2.2	Representação multi-escala de malhas triangulares	3
2.3	Morfologia matemática multi-escala de imagens	4
2.4	Registro multi-escala de imagens	4
2.5	Recuperação de imagens por comparação multi-escala	5
3	Aproximação na esfera e outras variedades	6
3.1	Aproximação com splines e bases radiais na esfera	6
4	Análise fractal multi-escala	7
4.1	Análise de forma baseada na dimensão fractal	7
4.2	Análise de imagens para diagnósticos e prognósticos	8
5	Métodos de aproximação não-linear	9
5.1	Determinação de contornos suaves para imagens binárias	9
5.2	Segmentação de vídeos por movimento de câmera	10
5.3	Métodos fotométricos para visão 3D	11
5.4	Rastreamento de objetos deformáveis	12
5.5	Classificação de padrões em imagens	13
5.6	Compressão eficiente de vídeos de segurança	14
6	Métodos intervalares	14
6.1	Comparação garantida de imagens em escala reduzida	14
7	Aproximações discretas de problemas contínuos	15
7.1	Segmentação de imagens e vídeos	15
7.2	Algoritmos heurísticos para o Problema da Galeria de Arte	16
8	Outras atividades de membros do projeto	16
8.1	Atividades de pesquisa e consultorias	16

1 Resumo

Linhas de pesquisa. No período coberto por este relatório, os pesquisadores do projeto progrediram em várias das linhas previstas originalmente:

- Bases para representação multi-escala de imagens e vídeos
- Representação multi-escala de malhas triangulares
- Morfologia matemática multi-escala de imagens
- Registro multi-escala de imagens
- Recuperação de imagens por comparação multi-escala
- Aproximação com splines e bases radiais na esfera
- Análise de forma baseada na dimensão fractal
- Análise de imagens para diagnósticos e prognósticos
- Determinação de contornos suaves para imagens binárias
- Segmentação de vídeos por movimento de câmera
- Métodos fotométricos para visão 3D
- Rastreamento de objetos deformáveis
- Classificação de padrões em imagens
- Compressão eficiente de vídeos de segurança
- Comparação garantida de imagens em escala reduzida
- Segmentação de imagens e vídeos
- Algoritmos heurísticos para o Problema da Galeria de Arte

Algumas das linhas de pesquisa previstas no plano inicial ainda não foram iniciadas:

- Splines em malhas circulares.
- Geometria computacional em espaços não euclidianos.
- Suavização geométrica de curvas.
- Aplicação de aritmética afim em computação visual.
- Determinação de correspondências aproximadas em imagens.

Em compensação, duas novas linhas de pesquisa surgiram por desdobramento das linhas iniciais ou adesão de novos pesquisadores e estudantes:

- Classificação de padrões em imagens.
- Compressão eficiente de vídeos de segurança.

Publicações. As atividades e publicações dos membros do projeto, relacionadas ao mesmo, são citadas nas seções pertinentes deste relatório (2–7). As publicações incluem 33 artigos em periódicos internacionais [2, 6, 9, 11–15, 19, 22, 25, 30, 34, 46, 47, 52, 62, 77, 78, 80, 83, 86, 93, 95, 100, 104, 113, 114, 117, 120, 128–130], 3 artigos em periódicos nacionais [75, 84, 87], 20 trabalhos em anais de congressos internacionais [26, 36, 37, 39, 44, 45, 50, 58, 59, 92, 94, 96, 101–103, 105, 110, 122, 123, 126], 12 trabalhos em congressos nacionais [21, 24, 27, 56, 57, 64, 82, 88, 89, 108, 111, 124], 7 orientações concluídas de Mestrado [48, 51, 53, 55, 65, 107, 121] e 5 de Doutorado [49, 60, 71, 106, 115].

Outras pesquisas dos membros do temático. A título de informação de contexto, na seção 8 mencionamos algumas outras atividades de pesquisa e desenvolvimento dos membros, no período em questão, que não estão diretamente relacionadas com o Temático. Vale notar também que vários membros do Temático exerceram atividades administrativas no período do relatório. Em particular, J. Stolfi, A. Gomide, e R. Torres foram respectivamente Diretor, Diretora Associada, e Coordenador de Graduação do IC-UNICAMP durante praticamente todo esse período.

Alterações na composição da equipe. 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 2.2, 4.1, 5.6, e 7.1.

Em março de 2009, o Prof. Neucimar J. Leite afastou-se para um Pós-Doutorado de um ano na França. Em consequência, estamos solicitando a mudança de *status* do Prof. Neucimar de Pesquisador Principal para Pesquisador Colaborador.

Por outro lado, estamos solicitando que o Prof. Alexandre Falcão, atualmente Pesquisador Colaborador do projeto, passe a ser Pesquisador Principal.

Aquisição de equipamento e material. No decorrer do primeiro ano foram adquiridos equipamentos para os docentes integrantes do projeto, e equipamento de infra-estrutura (servidoras de ciclos, *switch* e impressora) para o Laboratório de Informática Visual, usado pela maioria dos alunos de pós-graduação ligados ao Temático.

2 Métodos multi-escala

2.1 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.

Malhas diádicas adaptativas. Com vistas a esse objetivo, continuamos desenvolvendo as estruturas de dados e algoritmos para representação de malhas diádicas definidas anteriormente por J. Stolfi, A. Gomide e outros [31]. Estas atividades são o tema do 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.

Métodos multi-escala para análise de sinais e EDP. Neste período realizamos estudos teóricos sobre formalismos matemáticos e desenvolvemos algoritmos para analisar sinais espaço-temporais [18, 32, 81, 125]. Estas atividades incluíram a orientação de [48].

Realizamos também estudos teóricos, numéricos e computacionais para o desenvolvimento de formalismo multiescala moderno para resolver simulações numéricas utilizando EDP evolutivas com singularidades isoladas [11, 12, 22, 28, 75]. Aplicamos essas técnicas a problemas de sinais espaciais [21, 80, 82, 87, 88, 124] e propagação de ondas eletromagnéticas em meios heterogêneos [16, 17]. 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.

2.2 Representação multi-escala de malhas triangulares

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

O tema original deste sub-projeto era o uso de técnicas de simplificação multi-escala da malhas para resolver problemas de visibilidade em terrenos.

Decomposição espectral de malhas. Nesse período, S. Goldenstein orientou o trabalho de mestrado de Fernando de Goes, sobre um método matemático para segmentação e esqueletização de malhas de modelos articulados utilizando técnicas de decomposição espectral [46]. Este trabalho incluiu o desenvolvimento de um método para representação e adaptação dinâmica de malhas de modelos deformáveis [47].

Simplificação e refinamento de malhas poligonais. A inclusão do Prof. Hélio Pedrini no Temático, em fev/2009, nos levou a ampliar o escopo este sub-projeto. Ele está presentemente estudando técnicas para simplificação e refinamento de malhas poligonais. Nessa pesquisa já foi identificado um grande conjunto de métricas para geração das malhas, que poderão vir a ser empregadas na visualização de malhas em tempo real.

2.3 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.

Simplificação multiescala da imagem. As atividades nesta linha incluíram o trabalho de Doutorado de Leyza Dorini (orientada por N. Leite, concluída em 2009) [60], que um operador do tipo *toggle* [56–58] com propriedades do tipo espaço-escala para efetuar uma simplificação topológica controlada de imagens, em que máximos e mínimos interagem ao mesmo tempo. Esta 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.

Processamento de impressões digitais. Dentro desta linha de pesquisa se enquadram os trabalhos de N. Leite sobre o uso de técnicas de morfologia matemática para pré-processamento de impressões digitais [100].

Operadores multiescala para binarização de imagens. 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* [59] 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.

2.4 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 arbitrarias.

Algoritmo para correpondência ótica. As atividades deste sub-projeto incluem o trabalho de tese 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 regiões semelhantes em duas imagens. Nessa ocasião, fizemos um estudo aprofundado do algoritmo de alinhamento local mono-escala de Lucas e Kanade (LK), que é o passo principal do algoritmo KLT. As implementações do LK geralmente usam métodos de minimização com convergência lenta (primeira ordem) para

encontrar o alinhamento ótimo. Usando uma combinação dos métodos de Newton-Raphson (NR) e de descida pelo gradiente, conseguimos ampliar o raio de convergência do algoritmo LK, de ≈ 2 pixels para ≈ 4 pixels, preservando a velocidade de convergência (segunda ordem) do método NR. Esta melhoria também tornou o algoritmo KLT mais robusto e eficiente. Estes resultados foram apresentados em congresso nacional [89] e estão sendo escritos para publicação em revista.

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.

Otimização por gradiente multi-escala. Em um contexto mais amplo, onde estamos interessados no ponto ótimo de uma função critério que varia com determinados parâmetros, o método do gradiente descendente pode ser aplicado em múltiplas escalas do espaço de parâmetros. Na verdade, isto nem requer a geração explícita do espaço de parâmetros em várias escalas, o que seria inviável em várias aplicações. O gradiente é calculado em várias escalas de diferenciação da função critério. Em cada escala, o gradiente pode apresentar magnitude, direção e sentido diferentes. A mudança dos parâmetros é feita então em magnitude, direção e sentido que aproxima o ponto ótimo da função critério. Esta variante simples foi proposta na dissertação de mestrado de Fernanda Favretto (concluída em março de 2009, orientada por A. Falcão) [65] e melhorou a acurácia e velocidade de convergência do registro rígido de imagens tridimensionais (especificamente, imagens de ressonância magnética do cérebro humano). Estes resultados foram apresentados no SIBGRAPI em 2008 [64]. A técnica baseada no descendente de gradiente em múltiplas escalas não foi publicada ainda, mas eles estão escrevendo o artigo para revista internacional. Esta técnica será investigada pelo Prof. Falcão em outras aplicações relacionadas ao projeto, como recuperação e classificação de imagens, combinação de descritores de forma, cor e textura, e alinhamento de modelos discretos com a imagem para fins de rastreamento de objetos em vídeo e segmentação.

2.5 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.

Protótipo para busca multi-escala. As atividades deste sub-projeto estão sendo atualmente executadas como parte do projeto de Mestrado do aluno Carlos Zampieri, orientado por J. Stolfi.

Neste período desenvolvemos e testamos 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 6.1).

Para testar este método, obtivemos dois bancos de imagens, cada um com cerca de 1000 imagens de natureza bastante variada. Nas duas bases, a busca multi-escala permitiu economizar entre 80 e 95% 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.

Também pretendemos investigar a combinação de técnicas de inferência estatística com estimadores intervalares, para aumentar ainda mais a velocidade da busca destes últimos — naturalmente, sem sacrificar a exatidão do resultado.

Wavelets para identificação de impressões digitais. Nesta linha de pesquisa também se insere o trabalho de N. Leite e R. Torres sobre o uso da transformada wavelet na busca em bancos de impressões digitais [93].

3 Aproximação na esfera e outras variedades

3.1 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 .

Captura do fluxo de luz por gabarito de iluminação. 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 5.3).

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, $\Lambda(u)$ é a cor aparente do gabarito no ponto do mesmo onde a normal é u .

O fluxo de em um ponto da cena pode ser determinado a partir da imagem de um *gabarito de iluminação*, um objeto convexo suave cuja forma e função de espalhamento de luz (FBDR) são conhecidas — tipicamente, uma esfera com superfície branca e acabamento

fosco. Cálculos geométricos permitem determinar a direção normal u para cada pixel dessa imagem; a intensidade do pixel é o valor de $\Lambda(u)$. Basta então ajustar um modelo matemático, por exemplo uma série de harmônicos esféricos, a esses pares de dados.

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) definida no disco unitário \mathbb{B}^2 . O próximo passo é substituir esse modelo por uma série de harmônicos esféricos. Essa modelagem permitirá eliminar boa parte do ruído (erros de quantização e defeitos de acabamento) que contaminam a imagem do gabarito, especialmente próximo ao contorno do mesmo.

Ajuste automático da geometria do gabarito. Nesse método, supõe-se geralmente que o contorno do gabarito na imagem é um círculo, que a normal u é vertical no centro desse círculo, e que a parte visível do mesmo consiste dos pontos onde a normal u tem componente vertical positiva. 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 otimização multi-escala para obter rapidamente resultados de alta precisão (fração de pixel) mesmo a partir de posicionamentos iniciais bastante grosseiros. A partir dos dados dessa elipse podemos compensar os efeitos de perspectiva e calcular a normal exata de cada ponto visível do gabarito.

4 Análise fractal multi-escala

4.1 Análise de forma baseada na dimensão fractal

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

Os objetivos originais deste sub-projeto eram o desenvolvimento de descritores de formas baseados em análise multi-escala e fractalidade.

Combinação de descritores por programação genética. A análise de dimensão fractal pode ser aplicada no contexto de recuperação de imagens ou classificação de padrões em imagens. A dimensão fractal proposta em [7] foi avaliada por A. Falcão em conjunto com 12 outros descritores de forma, cor e textura no contexto de classificação de padrões em imagens para o diagnóstico de espécies parasitárias. A metodologia empregada usou o método baseado em programação genética [9] para selecionar e/ou combinar descritores visando maximizar a acurácia da classificação por floresta de caminhos ótimos [104]. Entre os 13 descritores avaliados, 7 foram selecionados na melhor árvore de operações e a dimensão fractal estava entre eles. Estes resultados não foram publicados ainda, porque os avanços desta aplicação estavam sendo patenteados (ver PCT WO 2008/064442 A2).

Descritores de textura derivados de wavelets. No período, H. Pedrini investigou descritores texturais extraídos por transformadas wavelets [44] e sua invariância sob rotação [45]. Este tema também foi pesquisado por N. Leite [95].

4.2 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 (FCM) da UNICAMP, por R. Adam e outros pesquisadores e alunos coordenados por K. Metze, com colaboração de N. Leite do IC-UNICAMP. No período considerado, desenvolvemos e validamos várias técnicas inovadoras, descritas em mais de 20 publicações [6, 8, 13–15, 25, 30, 34, 52, 55, 77, 83, 84, 113, 117, 128].

Análise da textura da cromatina. Atualmente estamos pesquisando o poder diagnóstico e prognóstico da análise de imagens da cromatina [2, 78, 86]. A aluna de Doutorado Maria Luiza de Castro Valladão (orientada por K. Metze) está estudando o uso da textura da cromatina como fator preditivo em tumor venéreo transmissível (TVT) canino, pela análise comparativa antes e depois do tratamento [120]. O aluno de Doutorado Valcenir Bedin (orientado por K. Metze em colaboração com G. Landmann) está investigando o uso desse indicador como fator prognóstico em melanoma maligno. A pesquisadora Rita de Cassia Ferreira (orientada por K. Metze com a colaboração de L. Ward) está investigando a análise da cromatina como fator prognóstico em carcinoma papilífero da tireóide [19]. Com a colaboração de Joyce R. Vido (Centro Boldrini) e I. Lorand-Metze (Hemocentro-UNICAMP) estamos analisando a cromatina de blastos “indeterminados” em pacientes com síndrome mielodisplásico.

Um fruto da colaboração entre FCM e IC nesta área foi o software `FourierDetect` para análise de imagens, que está em fase de registro no INPI [1, 2].

Análise sintática da morfologia de tumores. Determinamos recentemente que a técnica de análise sintática de formas tem valor preditivo na evolução de certos tumores. A aluna de Doutorado Lilian Elston (orientada por K. Metze) está investigando o uso dessa técnica como fator prognóstico do tratamento de mastocitoma cutâneo canino [62]. A dissertação de Mestrado de Karime Scarpelli (orientada por K. Metze, defendida em 08/2008) investigou essa técnica para TVT canino [120, 121]. A aluna de Doutorado Renata Triglia (orientada por K. Metze, com colaboração de L. Andrade) está analisando a estrutura sintática do epitélio endocervical em neoplasias intraepiteliais, usando um programa desenvolvido por R. Adam que discrimina as diferentes camadas do epitélio cervical e permite uma análise prognóstica.

Análise de imagens de microscopia avançada. Outra linha de pesquisa em andamento neste sub-projeto, é a análise de imagens obtidas com microscópios confocais ou multifótons. Nesta linha enquadraram-se os trabalhos das alunas de Mestrado Gisalaine Vieira e Daniela Peixoto Ferro (orientadas por K. Metze, em colaboração com C. Lenz César do Instituto

de Física da UNICAMP). Imagens “muito grandes” (compostas a partir de uma sequência de imagens sobrepostas menores) são submetidas a uma análise do tipo “janela deslizante”, que cria descritores da textura para subregiões individuais e permite assim uma descrição exata da topografia da histologia. Este método está sendo aplicado a lâminas histológicas de aortas (imagens de fluorescência usando eosina) e de tecido cicatricial.

Diagnose automática de enteroparasitoses. No IC-UNICAMP, A. Falcão e seu aluno de Doutorado Jancarlo Gomes (tese defendida em 12/2008) desenvolveram e patentearam técnicas originais para diagnóstico de enteroparasitoses por análise de imagens microscópicas [71]. Na tese de Doutorado de João Paulo Papa (também orientada por A. Falcão, defendida em 11/2008) essas técnicas foram aplicadas com sucesso a outros tipos de diagnóstico [105, 106].

Bancos de imagens citopatológicas. Nos próximos meses, K. Metze e A. Falcão planejam colaborar na montagem de um banco de imagens de células, com segmentação dos núcleos e indicadores de diagnóstico. Este banco será usado para validação de técnicas de recuperação de imagens, classificação de padrões de imagem, e segmentação de imagens.

5 Métodos de aproximação não-linear

5.1 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.

Escolha da família de separadores. 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. Nesse projeto, consideramos em particular o caso em que os conjuntos X e Y formam uma partição dos vértices de uma malha regular com células quadradas (no plano) ou cúbicas (no espaço).

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. O uso de splines implícitos simplifica os aspectos topológicos do problema, especialmente em três dimensões.

Para escolher dentre todas as envoltórias desse tipo que separam X de Y , usamos uma função quadrática Q (*energia* ou *feiúra*) 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. Concluímos, 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 .

Implementação do algoritmo separador. 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.

Determinação automática de elementos finitos. A dificuldade deste problema cresce rapidamente em função do número de variáveis. No plano, com o espaço \mathcal{P}_1^2 , cada célula da fronteira X – Y acrescenta 6 variáveis (coeficientes) ao problema, mas também cinco restrições de continuidade (equações) independentes, e portanto apenas um grau de liberdade (dimensão) ao espaço de splines. 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 à dimensão do espaço de splines, ou seja, 1/6 do tamanho do sistema atual.

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 viável na prática quando o espaço admitir uma base de elementos finitos com suporte $O(1)$. (Este algoritmo, obviamente, terá muitas outras aplicações além da descrita acima.) Este problema também está relacionado com o projeto de Doutorado de Lucas Freitas (orientado por J. Stolfi com a colaboração de M. Tygel do IMECC-UNICAMP) [69, 70].

5.2 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.

A principal atividade desenvolvida nesta linha está ligado ao trabalho de Doutorado do aluno Rodrigo Minetto (orientado por J. Stolfi e co-orientado por N. Leite). Este projeto pode ser visto como uma continuação e expansão do trabalho de Mestrado do aluno (orientado por N. Leite, concluída em 17/08/2007) [90]. e está contribuindo também para outra linha deste mesmo temático (registro de imagens, seção 2.4).

O tema da tese do Minetto é na verdade a segmentação, rastreamento, e determinação da pose de objetos rígidos móveis em vídeos. Os movimentos da câmera podem ser tratados como movimento do “objeto de fundo” (o ambiente) em relação à câmera.

Em todas as etapas deste projeto estamos usando métodos de aproximação, vários deles inovadores. Por exemplo, conseguimos um algoritmo excepcionalmente robusto para cali-

bração da pose da câmera usando uma transformação afim como aproximação inicial para a transformação de perspectiva. Também encontramos uma nova aproximação para a distorção radial da lente, usando uma função racional, cuja inversa pode ser calculada diretamente pela mesma fórmula — enquanto que a inversa da aproximação polinomial padrão exige a solução de uma equação de terceiro grau.

5.3 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, Danillo Pereira, e Altobelli Mantuan.

Estéreo fotométrico. A tese do aluno Rafael Saracchini (Doutorado, orientado por J. Stolfi) versa sobre estéreo fotométrico (EF), onde o objetivo é determinar a direção normal (ou inclinação) 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 sombreado 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 [23], 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. Este resultado foi apresentado no SIBGRAPI de 2008 [24].

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 consiedramos seria imbatível em termos de custo e conveniência.

Radiosidade por elementos finitos. A dissertação de Mestrado de Danillo Pereira (Mestrado, orientado por A. Gomide) [107] 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 rea, 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 quanto numericamente, contra uma solução “exata” obtida por integração direta da equação de Kajiyi [76]. O aluno defendeu o Mestrado em 19/03/2009 e os resultados serão submetidos a congresso nacional.

Determinação de linhas de fratura. Os trabalhos acima, no IC-UNICAMP, estão ligados ao trabalho de Iniciação Científica do aluno Altobelli Mantuan do Instituto de Computação da Universidade Federal Fluminense (orientado por H. Leitão). O objetivo é aplicar as técnicas de estéreo fotométrico desenvolvidas no IC-UNICAMP 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 [3, 4, 43].

A entrada do detector de fraturas de Altobelli 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.

5.4 Rastreamento de objetos deformáveis

Pesquisadores envolvidos: S. Goldenstein, L. Velho, N. Leite.

O objetivo deste sub-projeto era o desenvolvimento de métodos robustos para rastreamento de objetos deformáveis (como faces e pessoas) em vídeos.

Captura e interpretação de linguagem de sinais. Dentro desta linha de pesquisa, S. Goldenstein (em colaboração com C. Vogler do Gallaudet Research Institute) investigou o problema da transcrição automática da linguagem de sinais por computador. Além de um levantamento do estado da arte nesse problema [130], foi investigado o uso de informação da dinâmica do movimento da face para análise e compreensão de linguagem de sinais [129].

Rastreamento de animais. Dentro desta linha de pesquisa também se enquadram os trabalhos de Mestrado (orientados por N. Leite) de Rafael de Souza (concluído em 2008) [51], sobre o rastreamento de animais de laboratório [50] e de Fábio Dias (concluído em 2009) [53], sobre o rastreamento de componentes conexas em vídeos de esporte [123].

5.5 Classificação de padrões em imagens

Pesquisadores envolvidos: A. Falcão, R. Torres, S. Goldenstein.

O objetivo deste sub-projeto é desenvolver métodos para reconhecimento e classificação automática de imagens. Embora não estivesse previsto originalmente no plano do Temático, este sub-projeto enquadra-se no escopo geral do mesmo, e foi ativamente pesquisado com excelentes resultados pelos membros acima.

Técnicas para combinação de descritores. Dentro desta linha, A. Falcão e R. Torres desenvolveram uma metodologia que consiste em interpretar um conjunto de amostras (pixels, objetos da imagem, ou imagens de uma coleção) como um grafo, cujos arcos são definidos por uma relação de adjacência. Uma amostra pode ter associada a ela um ou vários descritores. Cada descritor é um par, função de extração de características de imagem e função de distância entre as características. A distância entre amostras adjacentes (peso da aresta) é calculada pela combinação de distâncias entre as amostras usando cada descritor. A função de combinação é denominada *descritor composto*.

Resultados desta metodologia de combinação de descritores usando programação genética foram demonstrados no contexto de recuperação de imagens [9]. Atualmente, A. Falcão e R. Torres estão preparando um artigo que demonstra a eficácia do método na classificação de padrões. Neste contexto, o problema é reduzido ao cálculo de uma floresta de caminhos ótimos, que deve particionar o grafo em subflorestas representando as classes das amostras. O método é uma extensão direta da transformada imagem-floresta [10] para problemas mais gerais. A partição elege uma raiz para cada árvore da floresta e as amostras da árvore são as mais fortemente conexas com a sua raiz, considerando a função de conectividade. Diferentes relações de adjacência e funções de conectividade podem ser usadas para modelar o problema como classificação supervisionada [101, 102, 104] ou não-supervisionada [114] de padrões.

No caso supervisionado, o método tem obtido resultados melhores que técnicas clássicas, como máquinas de vetores de suporte e redes neurais, em várias aplicações de análise de imagens [96, 103, 108]. Este tópico foi o tema das teses de doutorado de Leonardo Rocha [115] e João Paulo Papa [106] (defendidas em 2008) e de Javier Montoya (iniciada em 2009), todas orientadas por A. Falcão. João Papa está atualmente trabalhando no projeto como pós-doutor, sob supervisão de A. Falcão.

Técnicas de aprendizado supervisionado. A classificação de padrões pode ainda ser usada para segmentação de imagens e vídeos [126] e como técnica de poda de imagens irrelevantes na recuperação de imagens. O aprendizado supervisionado, neste último caso, se baseia em realimentação de relevância [5] — quando o usuário marca entre poucas imagens retornadas em uma consulta, quais são relevantes. O aprendizado pode ser baseado apenas nesta marcação ou até em anotações, as quais podem ser usadas para agrupar imagens da

base de acordo com conceitos atribuídos pelo usuário e descritores de imagens. Os trabalhos neste tópico têm envolvido também o desenvolvimento de descritores [27, 94] e técnicas de seleção e/ou combinação de descritores [9], as quais podem gerar a árvore de programação genética com base na realimentação por relevância [66].

Atualmente, A. Falcão e R. Torres estão co-orientando um aluno de doutorado, Jefersson Alex, em recuperação de imagens para classificação de culturas em sensoriamento remoto, e A. Falcão co-orienta um aluno de doutorado da FEEC-UNICAMP, André Tavares, junto com o prof. Léo Pini, no tópico de aprendizado por realimentação de relevância. Eles irão investigar a combinação de descritores usando o descendente de gradiente em múltiplas escalas neste contexto.

Novos descritores de imagens. Neste período foram desenvolvidos e investigados dois novos descritores para busca de imagens por conteúdo.

O descritor BIC [127] para imagens coloridas havia sido desenvolvido em 2002 como trabalho de mestrado de Renato Stehling (orientado por A. Falcão). Este descritor foi melhorado como parte do projeto de Doutorado do aluno Anderson Rocha (orientado por S. Goldenstein, concluído em março de 2009). Os resultados devem ser publicados em revista no futuro próximo.

Aplicação a classificação de produtos agrícolas. No trabalho de mestrado de Daniel Hauagge (orientado por S. Goldenstein, concluído em 08/08/2007) foi desenvolvido um étodo automático para classificação de frutas e legumes que inclui descritores e método para fusão de informações [111].

Técnicas de clusterização para BIC. No trabalho de Doutorado Anderson Rocha (orientado por S. Goldenstein, concluído em março de 2009) [49] foi desenvolvido um modelo matemático hierárquico para BIC eficiente [110].

5.6 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 [122].

6 Métodos intervalares

6.1 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.

Estimador intervalar para distância euclidiana. Este sub-projeto está sendo executado em conjunto com o sub-projeto de busca de imagens por conteúdo usando técnicas multi-escala (seção 2.5); 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 reduzida é um intervalo que contém as cores de todos os pixels correspondentes a p na imagem original. O cálculo de $\text{dist}(A', B')$ para imagens reduzidas A', B' , com aritmética intervalar, fornece então um intervalo que garantidamente contém a distância $\text{dist}(A, B)$ das imagens originais (sem redução).

Recentemente estendemos este estimador para comparar imagens de objetos com contorno irregular. Esta versão dá um tratamento diferenciado para pixels do fundo (que não pertencem ao objeto de interesse) de modo que diferenças de contorno são medidas separadamente das diferenças de cor. 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..

7 Aproximações discretas de problemas contínuos

7.1 Segmentação de imagens e vídeos

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

Os objetivos originais deste sub-projeto eram o desenvolvimento de métodos inovadores para a segmentação de vídeos com objetos em movimento em ambientes externos não controlados. Os principais desafios nesta área são (a) minimizar o envolvimento e tempo total do usuário no processo (normalmente bem maior que o tempo computacional), (b) maximizar a acurácia e a precisão da segmentação e (c) manter o controle do usuário sobre o processo, para que suas ações não destruam parte da segmentação que já estava correta.

A maioria das atividades desenvolvidas dentro deste sub-projeto foram relacionadas à Transformada Imagem-Floresta (IFT) [10]. Recentemente, avanços consideráveis foram obtidos no contexto de segmentação de cenas naturais [126] e com relação à importância da segmentação automática de vídeo no rastreamento de objetos [91].

Em ambos casos, o uso de modelos discretos de aparência do objeto pode ajudar a minimizar e até eliminar o envolvimento do usuário. O modelo de *nuvens*, por exemplo, tem obtido sucesso na segmentação automática de múltiplos objetos em imagens 3D [92]. Este modelo será investigado para a segmentação de vídeo, no mestrado do Thiago Spina (aluno de Iniciação Científica de A. Falcão). Neste caso, o modelo deve ser gerado a partir da segmentação interativa do primeiro quadro de vídeo.

Dentro deste sub-projeto, H. Pedrini (que recentemente aderiu ao Temático) planeja investigar a modelagem da dependência espacial em imagens e vídeos 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 permitirá a caracterização das classes presentes nas imagens. Outra abordagem que ele pretende investigar 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.

7.2 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 [35–37, 39]. 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 [38] e preparamos um vídeo técnico sobre o algoritmo [40]. Um artigo completo está em preparação para ser submetido em breve ao periódico *Algorithmica*.

8 Outras atividades de membros do projeto

8.1 Atividades de pesquisa e consultorias

A lista abaixo relaciona apenas **algumas** das áreas de pesquisa e publicações de pesquisadores ligados ao projeto, mas fora do escopo do mesmo, no período deste relatório:

- M. Domingues: resenha de software para ciências e tecnologias espaciais [20] e orientação de tese sobre previsão de nevoeiro [42].
- S. Goldenstein: esteganografia e esteganálise em imagens [109, 112]; pesquisa operacional [118]; uso de inteligência artificial para detecção de fraudes aduaneiras (projeto Harpia da Secretaria da Fazenda) [54, 116].
- S. Gomes: análise de erro e uso de funções de base singulares para o método de Galerkin descontínuo [63, 68, 72]
- H. Pedrini: usinagem por computador [29, 41]; processamento de imagens de microscopia ótica [85]; informática médica [74, 79]; renderização [61]; marcas-d'água em imagens [119].

- C. Souza: combinatória e programação inteira [33, 67, 73]; consultoria para a Petrobrás S. A. sobre otimização de transporte de petróleo [97–99].

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(3):175–184, June 2008.
- [3] **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.
- [4] **Helena C. 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, paper number 2345, pages 1–16, September 2004.
- [5] **Ricardo S. Torres and Alexandre X. Falcão.** *Técnicas e Ferramentas de Processamento de Imagens Digitais e Aplicações em Realidade Virtual e Misturada*, chapter Recuperação de Imagens baseada em Conteúdo, pages 109–128. Editora Canal 6, November 2008.
- [6] **Konradin Metze and Randall L. Adam.** Is there a reliable minimum number of lymph nodes for T1 and T2 colon cancer? *Digestive Diseases and Sciences*, 54(4):914–5, April 2009. Author’s reply on p. 916.
- [7] **Ricardo S. Torres, Alexandre X. Falcão, and Luciano F. Costa.** A graph-based approach for multiscale shape analysis. *Pattern Recognition*, 37(6):1163–1174, June 2004.
- [8] **Konradin Metze, Randall L. Adam, W. de S. Filho, Irene Lorand-Metze, and Neucimar J. Leite.** *Modelos Matemáticos nas Ciências Não-Exatas*, chapter Aplicação de Ferramentas Matemáticas em Análises de Imagens Histológicas e Citológicas, pages 65–82. Blucher, São Paulo, 2008.
- [9] **Ricardo S. Torres, Alexandre X. Falcão, Marcos A. Gonçalves, João P. Papa, Baoping Zhang, Weiguo Fan, and Edward A. Fox.** A genetic programming framework for content-based image retrieval. *Pattern Recognition*, 42(2):217–312, February 2009.
- [10] **Alexandre X. Falcão, Jorge Stolfi, and Roberto A. Lotufo.** The Image Foresting Transform: Theory, algorithms, and applications. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(1):19–29, January 2004.
- [11] **Margarete O. Domingues, Sônia 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.

- [12] **Margarete O. Domingues, Sônia 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. In press.
- [13] **Konradin Metze**. Dichotomization of continuous data: A pitfall in prognostic factor studies. *Pathology - Research and Practice*, 204(3):213–4, 2008.
- [14] **Konradin Metze**. The association between overall survival and the total number of dissected lymph nodes: An artifact caused by the surgical pathologist? *Annals of Surgery*, March 2009. In press.
- [15] **Konradin Metze**. Lymph node yield as a prognostic factor in cancer studies: Due to undersampling of tumor-free lymph nodes at higher N stages? *Annals of Surgical Oncology*, 16(4):1080–2, April 2009. Author’s reply on p. 1083.
- [16] **Margarete O. Domingues**, Paulo J. S. Ferreira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, A. S. Oliveira, José R. Pereira, and Pedro R. T. Pinho. Implementation of absorbing boundary conditions in an adaptive wavelet code for electromagnetic wave propagation in inhomogeneous media. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [17] **Margarete O. Domingues**, Paulo J. S. Ferreira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, A. S. Oliveira, José R. Pereira, and Pedro R. T. Pinho. Runge-Kutta methods with time step control and adaptive grid refinement for Maxwell’s equations. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [18] **Margarete O. Domingues**, Paulo J. S. Ferreira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, José R. Pereira, and Pedro R. T. Pinho. Grid structure impact in sparse point representation of derivatives. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [19] **Konradin Metze**, Rita C. Ferreira, **Randall L. Adam**, **Neucimar J. Leite**, Laura S. Ward, and Patrícia S. de Matos. Chromatin texture is size dependent in follicular adenomas but not in hyperplastic nodules of the thyroid. *World Journal of Surgery*, 32(12):2744–6, December 2008.
- [20] **Margarete O. Domingues**, Odim Mendes Jr, Marize C. Simões, and Varlei E. Miconi. 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.
- [21] **Margarete O. Domingues**, Flávia C. G. Mendonça, and Ebert E. N. Macau. Avaliação de métodos adaptativos espaciais e temporais associados à técnica de controle PI na equação de Burgers. In *Anais do CNMAC 2008 - XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*. SBMAC, September 2008. CD-ROM (Abstract).

- [22] **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. In press.
- [23] **Helena C. G. 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.
- [24] **Helena C. G. 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.
- [25] Ellen M. P. Almeida, Rosa A. Caraça, **Randall L. Adam**, Elemir M. de Souza, **Konradin Metze**, and Maria L. Cintra. Photodamage in feline skin: Clinical and histomorphometric analysis. *Veterinary Pathology*, 45(3):327–35, May 2008.
- [26] Jurandi Almeida, Anderson Rocha, **Ricardo S. Torres**, and **Siome K. Goldenstein**. Making colors worth more than a thousand words. In *Proc. ACM-SAC'08 - 23rd Annual ACM Symposium on Applied Computing*, pages 1180–1186, 2008.
- [27] Fernanda Andaló, **Ricardo S. Torres**, and **Alexandre X. Falcão**. Shape descriptors based on tensor scale. In *Proc. Workshop of Theses and Dissertations, SIBGRAPI'08 - XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pages 136–144, October 2008. Best Dissertation award.
- [28] Henning Bockhorn, Jordan A. Denev, **Margarete O. Domingues**, Carlos Falconi, Marie Farge, Jochen Fröhlich, **Sônia M. Gomes**, Benjamin Kadoch, Igor Molina, Olivier Roussel, and Kai Schneider. *Notes on Numerical Fluid Mechanics Multidisciplinary Design (NNFM)*, chapter Numerical Simulation of Turbulent Flows in Complex Geometries using the Coherent Vortex Simulation Approach based on Orthonormal Wavelet Decomposition. Springer, 2008. Submitted.
- [29] João W. Bruno Filho, **Helio Pedrini**, and Dalberto D. da Costa. Editor e simulador para auxílio à programação de máquinas-ferramentas. In *Anais do COBEF'2009 - V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação*, April 2009. To appear.
- [30] Soraia B. Calonego, Maria L. Barjas-Castro, **Konradin Metze**, Fernanda G. Pereira, and Irene Lorand-Metze. The influence of storage and leukocyte depletion on the antigen densities of FY1, FY2, MNS3 and MNS4 measured by flow cytometry. *Transfusion and Apheresis Science*, 38(2):101–7, April 2008.
- [31] 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.

- [32] D. A. Castro, A. S. Oliveira, **Sônia M. Gomes**, **Anamaria Gomide**, and **Jorge Stolfi**. Análise de multirresolução em malhas diádicas. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [33] Victor F. Cavalcante, **Cid C. de Souza**, and Abílio Lucena. A relax-and-cut algorithm for the set partitioning problem. *Computers and Operations Research*, 35(6):1963–1981, 2008.
- [34] Ana F. Costa, Ana P. D. Demasi, Vera L. L. Bonfitto, João F. L. Bonfitto, Cristiane Furuse, Vera C. Araújo, **Konradin Metz**, and Albina M. A. Altemani. Angiogenesis in salivary carcinomas with and without myoepithelial differentiation. *Virchows Archiv*, 453(4):359–67, October 2008.
- [35] Marcelo C. Couto, **Cid C. de Souza**, and **Pedro J. Rezende**. An exact and efficient algorithm for the orthogonal art gallery problem. In *Proc. SIBGRAPI'07 - XX Brazilian Symp. on Comp. Graphics and Image Processing*, pages 87–94. IEEE Computer Society, 2007.
- [36] Marcelo C. Couto, **Cid C. de Souza**, and **Pedro J. Rezende**. Experimental evaluation of an exact algorithm for the orthogonal art gallery problem. In *Proc. WEA 2008*, volume 5038 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 101–113. Springer, 2008.
- [37] Marcelo C. Couto, **Cid C. de Souza**, and **Pedro J. Rezende**. Strategies for optimal placement of surveillance cameras in art galleries. In *Proc. GraphiCon 2008: XI International Conference on Computer Graphics & Vision*, volume 1. Lomonosov Moscow State University, 2008. Available at <http://www.graphicon.ru/2008/proceedings/technical.html>.
- [38] Marcelo C. Couto, **Cid C. de Souza**, and **Pedro J. Rezende**. Instances for the art gallery problem, 2009. Available at www.ic.unicamp.br/~cid/Problem-instances/Art-Gallery/.
- [39] Marcelo C. Couto, **Pedro J. Rezende**, and **Cid C. de Souza**. An IP solution to the art gallery problem. In *Proc. 25th Annual ACM Symposium on Computational Geometry*, June 2009.
- [40] Marcelo C. Couto, **Pedro J. Rezende**, and **Cid C. de Souza**. An IP solution to the art gallery problem. Video presented at the 18th Annual Video/Multimedia Review of Computational Geometry, part of the 25th Annual ACM Symposium on Computational Geometry, June 2009.
- [41] Dalberto D. da Costa, **Helio Pedrini**, and Ovandir Bazan. Direct milling of polymethylmethacrylate for cranioplasty applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2009. To appear.
- [42] Valdeci Donizette Juliar da França. Avaliação de uma metodologia de previsão de nevoeiro e visibilidade horizontal. Master's thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2008. Advisor: **Margarete O. Domingues**.

- [43] Helena Cristina da Gama Leitão. *Reconstrução Automática de Objetos Fragmentados*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, November 1999. Advisor: **Jorge Stolfi**.
- [44] Ricardo D. da Silva, Rodrigo Minetto, William R. Schwartz, and **Helio Pedrini**. Satellite image segmentation using wavelet transforms based on color and texture features. In *Proc. ISVC'2008 - 4th International Symposium on Visual Computing*, volume 5359 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 113–122, December 2008.
- [45] Ricardo D. da Silva, William R. Schwartz, and **Helio Pedrini**. Avaliação da invariância à rotação de descritores texturais extraídos por transformadas wavelets. In *Anais do SBSR'2009 - XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, April 2009. To appear.
- [46] Fernando F. de Goes, **Siome K. Goldenstein**, and **Luiz C. P. Velho**. A hierarchical segmentation of articulated bodies. *Computers Graphics Forum*, 27(5):1349–1356, 2008. Proc. SGP '08 - Eurographics Symposium on Geometry Processing.
- [47] Fernando F. de Goes, **Siome K. Goldenstein**, and **Luiz C. P. Velho**. A simple and flexible framework to adapt dynamic meshes. *Computers & Graphics*, 32(2):141–148, April 2008.
- [48] Flávia Costa Gomes de Mendonça. Esquemas de adaptabilidade temporal no contexto wavelet. Master's thesis, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2008. Advisor: **Margarete O. Domingues**.
- [49] Anderson de Rezende Rocha. *Classificadores e Aprendizado em Processamento de Imagens e Visão Computacional*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, March 2009. Advisor: **Siome K. Goldenstein**.
- [50] Rafael H. C. de Souza and **Neucimar J. Leite**. A tracking framework for laboratory experiments. In *Proc. 16th European Signal Processing Conference*, 2008.
- [51] Rafael Henrique Castanheira de Souza. Rastreamento de animais por imagens de vídeo em experimentos de laboratório. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, 2008. Advisor: **Neucimar J. Leite**.
- [52] Márcia T. Delamain, José F. C. Marques Jr, Carmino A. de Souza, Irene Lorand-Metze, and **Konradin Metze**. 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.
- [53] Fabio Augusto Salve Dias. Generalização do ritmo visual e problemas de rastreamento de imagens desportivas. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, 2009. Advisor: **Neucimar J. Leite**.
- [54] Luciano A. Digiampietri, Norton T. Roman, Luis A. A. Meira, Jorge Jambeiro Filho, Cristiano D. Ferreira, Andreia A. Kondo, Rodrigo C. Rezende, Everton R. Constantino,

- Bruno C. Brandão, Helder S. Ribeiro, Pietro K. Carolino, Antonella Lanna, Jacques Wainer, and **Siome K. Goldenstein**. Uses of artificial intelligence in the brazilian customs fraud detection system. In *Proc. 9th Annual International Conference on Digital Government Research*, 2008.
- [55] Gustavo Ligeri Pereira do Prado. Estudo da textura nuclear em ratos Wistar após intoxicação por chumbo. Master's thesis, Curso de Fisiopatologia Médica, UNICAMP, Campinas, SP, Brazil, July 2008. Advisor: **Konradin Metzke**; co-advisor: José A. R. Gontijo).
- [56] Leyza B. Dorini and **Neucimar J. Leite**. A general self-dual adaptative filtering toggle operator. In *Proc. SIBGRAPI 2008 - XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pages 189–195. IEEE Computer Society, 2008.
- [57] Leyza B. Dorini and **Neucimar J. Leite**. Multiscale image representation using scale-space theory. In *Anais do CNMAC 2008 - XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, pages 1–8, 2008.
- [58] Leyza B. Dorini and **Neucimar J. Leite**. Multiscale morphological image simplification. In *Proc. 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.
- [59] Leyza B. Dorini and **Neucimar J. Leite**. A multiscale operator for document image binarization. In *Proc. VISIGRAPP 2009 - International Joint Conference on Computer Vision and Computer Graphics Theory and Applications*, pages 34–39, 2009.
- [60] Leyza Elmeri Baldo Dorini. *Transformações de Imagens baseadas em Morfologia Matemática*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, February 2009. Advisor: **Neucimar J. Leite**.
- [61] Maikon C. dos Santos and **Helio Pedrini**. Renderização de cenas tridimensionais interativas em computadores de baixo desempenho. In *Anais do WRVA '2008 - V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, November 2008.
- [62] Lilian B Elston, Felipe A. R. Sueiro, Josemara N. Cavalcanti, and **Konradin Metzke**. The importance of the mitotic index as a prognostic factor for survival of canine cutaneous mast cell tumors: A validation study. *Veterinary Pathology*, 46(2):362–4, March 2009.
- [63] Agnaldo M. Farias, Philippe R. B. Devloo, and **Sônia M. Gomes**. Estimativa a posteriori do erro em termos de quantidades de interesse. In *Anais do XXIX CILAMCE*, 2008.
- [64] Fernanda O. Favretto, Felipe P. G. Bergo, and **Alexandre X. Falcão**. A fast and automatic method for 3D rigid registration of MR images of the human brain. In *Proc. SIBGRAPI'08 - XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing*, pages 121–128, October 2008.

- [65] Fernanda Oliveira Favretto. Registro de imagens 3d do cérebro humano. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, March 2009. Advisor: **Alexandre X. Falcão**.
- [66] Cristiano Dalmaschio Ferreira. Recuperação de imagens com realimentação de relevância baseada em programação genética. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, July 2007. Advisor: **Ricardo S. Torres**.
- [67] Rosa M. V. Figueiredo, Valmir C. Barbosa, Nelson Maculan, and **Cid C. de Souza**. Acyclic orientations with path constraints. *RAIRO Operations Research*, 42(4):455–468, October 2008.
- [68] Tiago L. Forti, Philippe R. B. Devloo, and **Sônia M. Gomes**. Emprego de funções de base singulares em malhas de Galerkin descontínuo. In *Anais do XXIX CILAMCE*, 2008.
- [69] Lucas B. Freitas and **Jorge Stolfi**. Conversion formulas for simplicial Bernstein polynomials. Technical Report IC-08-12, Institute of Computing, University of Campinas, May 2008.
- [70] Lucas B. Freitas and **Jorge Stolfi**. Differential formulas for simplicial Bernstein polynomials. Technical Report IC-08-18, Institute of Computing, University of Campinas, August 2008.
- [71] Jancarlo F. Gomes. *Processamento de Amostras Fecais e Desenvolvimento da Técnica de Análise de Imagens por Computador para o Diagnóstico de Enteroparasitoses*. PhD thesis, Institute of Biology, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, August 2008. Advisor: **Alexandre X. Falcão**; de-facto co-advisor: Luiz C. S. Dias.
- [72] João L. Gonçalves, Philippe R. B. Devloo, **Sônia M. Gomes**, and Igor Mozolevski. Estimativas de erro em quantidades de interesse para soluções obtidas pelo método de Galerkin descontínuo. In *Anais do CNMAC 2008 - XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*, 2008.
- [73] Edna A. Hoshino and **Cid C. de Souza**. Column generation algorithms for the capacitated m -ring-star problem. In *Proc. COCOON'08*, volume 5092 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 631–641. Springer, 2008.
- [74] Humberto C. Ibañez, Marilea V. C. Ibañez, **Helio Pedrini**, Otávio A. B. Licht, and Bonald C. Figueiredo. Sistema de web mapping para geologia médica. In *Anais do CBIS'2008 - XI Congresso Brasileiro de Informática em Saúde*, November/December 2008.
- [75] 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.

- [76] James T. Kajiya. The rendering equation. In *Proc. SIGGRAPH 1986*, pages 143–150, 1986.
- [77] Klaus Kayser, Jurgen Görtler, **Konradin Metze**, Torsten Goldmann, Ekkehard Vollmer, Masoud Mireskandari, Zdravko Kosjerina, and Gian Kayser. How to measure image quality in tissue-based diagnosis (diagnostic surgical pathology). *Diagnostic Pathology*, 15 Suppl 1:S11(3), July 2008.
- [78] Klaus Kayser, Sabah A. Hoshang, **Konradin Metze**, Torsten Goldmann, Ekkehard Vollmer, Dominik Radziszowski, Zdravko Kosjerina, Masoud Mireskandari, and Gian Kayser. Texture- and object-related automated information analysis in histological still images of various organs. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology*, 30(6):323–35, December 2008.
- [79] Marcello Kera, Fátima L. S. Nunes, and **Helio Pedrini**. Detecção de colisão de objetos em ambientes virtuais para treinamento médico utilizando JOGL. In *Anais do WRVA'2008 - V Workshop de Realidade Virtual e Aumentada*, November 2008.
- [80] 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.
- [81] Elizabeth Larsson and **Sônia M. Gomes**. A least squares multi-level RBF method with applications in finance. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2008.
- [82] Eduardo F. P. Luz and **Margarete O. Domingues**. Representação de funções usando wavelets biortogonais de Daubechies e aplicações a dados geofísicos. In *Anais do CNMAC 2008 - XXXI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*. SBMAC, September 2008. CD-ROM (Abstract).
- [83] Vanessa F. Z. Marinho, **Konradin Metze**, Fernanda S. F. Sanches, Gislene F. S. Rocha, and Helenice Gobbi. 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.
- [84] Vanessa F. Z. Marinho, **Konradin Metze**, Fernanda S. F. Sanches, Gislene F. S. Rocha, and Helenice Gobbi. Molecular features of breast cancer predictive of lymph node metastases. *Revista da Associação Médica Brasileira*, 54(3):203–7, June 2008.
- [85] Maurício R. Maurer, **Helio Pedrini**, and Marco A. F. Randi. Processing and visualization of light microscope images. *International Journal of Image and Graphics*, 2009. To appear.
- [86] Marina R. B. Mello, **Konradin Metze**, **Randall L. Adam**, Fernanda G. Pereira, Michelline G. Magalhães, Cintia G. F. Machado, and Irene Lorand-Metze. Phenotypic subtypes of acute lymphoblastic leukemia associated with different nuclear chromatin texture. *Analytical and Quantitative Cytology and Histology*, 30(2):92–8, April 2008.

- [87] 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.
- [88] 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 *Proc. DINCON'08 - Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications*, 2008.
- [89] Rodrigo Minetto, **Neucimar J. Leite**, and **Jorge Stolfi**. Integrating Tsai's camera calibration algorithm with KLT feature tracking. In *Anais do IV Workshop de Visão Computacional*, pages 1–6, 2008.
- [90] 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 J. Leite**; co-advisor: **Jorge Stolfi**.
- [91] Rodrigo Minetto, João P. Papa, Thiago V. Spina, **Alexandre X. Falcão**, **Neucimar J. Leite**, and **Jorge Stolfi**. Fast and robust object tracking using Image Foresting Transform. Unpublished manuscript, submitted to 16th Intl. Conf. on Systems, Signals and Image Processing, Chalkida, Greece, June, 2009.
- [92] Paulo A. V. Miranda, **Alexandre X. Falcão**, and Jayaram K. Udupa. *CLOUDS: A model for synergistic image segmentation*. In *Proc. 5th IEEE Intl. Symp. on Biomedical Imaging: From Nano to Macro*, pages 209–212, May 2008.
- [93] Javier A. Montoya-Zegarra, **Neucimar J. Leite**, and **Ricardo S. Torres**. Wavelet-based fingerprint image retrieval. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 227(2):294–307, 2009. Special Issue on Emergent Applications of Fractals and Wavelets in Biology and Biomedicine.
- [94] Javier A. Montoya-Zegarra, Jan C. Beeck-Pepper, **Neucimar J. Leite**, **Ricardo S. Torres**, and **Alexandre X. Falcão**. Combining global with local texture information for image retrieval applications. In *Proc. 10th IEEE International Symposium on Multimedia*, pages 148–153. IEEE Computer Society, December 2008.
- [95] Javier A. Montoya-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, 2009. Article ID 691924.
- [96] Javier A. Montoya-Zegarra, João Paulo Papa, **Neucimar J. Leite**, **Ricardo S. Torres**, and **Alexandre X. Falcão**. Novel approaches for exclusive and continuous fingerprint classification. In *Advances in Image and Video Technology: Proc. 3rd Pacific Rim Symposium on Image and Video Technology*, volume 5414 of *Lecture Notes In Computer Science*, pages 386–397. Springer, January 2009.

- [97] Arnaldo V. Moura, **Cid C. de Souza**, André A. Ciré, and Tony M. T. Lopes. Heuristics and constraint programming hybridizations for a real pipeline planning and scheduling problem. In *Proc. CSE'08: 11th IEEE International Conference on Computational Science and Engineering*, pages 455–462. IEEE Computer Society, 2008.
- [98] Arnaldo V. Moura, **Cid C. de Souza**, André A. Ciré, and Tony M. T. Lopes. Planning and scheduling the operation of a very large oil pipeline network. In *Proc. CP'08 - 14th International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, pages 36–51. Springer, 2008.
- [99] Arnaldo V. Moura, Romulo A. Pereira, and **Cid C. de Souza**. Scheduling activities at oil wells with resource displacement. *International Transactions in Operational Research*, 15(6):659–683, November 2008.
- [100] Marcelo A. Oliveira and **Neucimar J. Leite**. A multiscale directional operator and morphological tools for reconnecting broken ridges in fingerprint images. *Pattern Recognition*, 41(1):367–377, 2008.
- [101] João P. Papa and **Alexandre X. Falcão**. A new optimum-path forest approach for supervised classification. In *Advances in Visual Computing: Proc. 4th Intl. Symp. on Visual Computing*, volume 5358 (Part I) of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 935–944. Springer, December 2008.
- [102] João P. Papa and **Alexandre X. Falcão**. A learning algorithm for the optimum-path forest classifier. In *Proc. 7th IAPR-TC-15 Workshop on Graph-based Representations in Pattern Recognition*, May 2009. to appear.
- [103] João P. Papa, **Alexandre X. Falcão**, Alexandre L. M. Levada, Débora C. Corrêa, Denis H. P. Salvadeo, and Nelson D. A. Mascarenhas. Fast and accurate holistic face recognition using optimum-path forest. In *Proc. 16th Intl. Conf. on Digital Signal Processing*. IEEE, July 2009. to appear.
- [104] João P. Papa, **Alexandre X. Falcão**, and Celso T. N. Suzuki. Supervised pattern classification based on optimum-path forest. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 2009. To appear.
- [105] João P. Papa, André A. Spadotto, **Alexandre X. Falcão**, and José C. Pereira. Optimum path forest classifier applied to laryngeal pathology detection. In *Proc. 15th Intl. Conf. on Systems, Signals, and Image Processing*, pages 249–252. IEEE, June 2008.
- [106] João Paulo Papa. *Classificação Supervisionada de Padrões por Florestas de Caminhos Ótimos*. PhD thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil,, November 2008.
- [107] Danillo Roberto Pereira. Representação e cálculo eficiente da iluminação global na síntese de imagem. Master's thesis, Institute of Computing, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, March 2009. Advisor: **Anamaria Gomide**; co-advisor: **Jorge Stolfi**.

- [108] Rodrigo J. Pisani, João P. Papa, Célia R. L. Zimback, **Alexandre X. Falcão**, and Ana P. Barbosa. Land use classification using optimum-path forest. In *Proc. XIV Brazilian Remote Sensing Symposium*, April 2009. to appear.
- [109] Anderson Rocha and **Siome K. Goldenstein**. Steganography and steganalysis in digital multimedia: Hype or hallelujah? *Revista de Informatica Teórica e Aplicada*, 15(1):83–110, 2008.
- [110] Anderson Rocha, Jurandy Almeida, Mario A. Nascimento, **Ricardo S. Torres**, and **Siome K. Goldenstein**. Efficient and flexible cluster-and-search for CBIR. In *Proc. ACIVS'08 - Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems*, volume 5259 of *Lecture Notes In Computer Science*, 2008.
- [111] Anderson Rocha, Daniel C. Hauagge, Jacques Wainer, and **Siome K. Goldenstein**. Automatic produce classification from images using color, texture and appearance cues. In *Proc. SIBGRAPI'08 - Brazilian Symposium of Computer Graphics and Image Processing*, 2008.
- [112] Anderson Rocha, Walter Scheirer, **Siome K. Goldenstein**, and Terrance Boulton. The Unseen Challenge data sets. In *Proc. WVU'08 - IEEE Workitorial of Vision of the Unseen*, 2008. In conjunction with CVPR'08.
- [113] Lenaldo B. Rocha, **Randall L. Adam**, **Neucimar J. Leite**, **Konradin Metze**, and Marcos A. Rossi. Shannon's entropy and fractal dimension provide an objective account of bone tissue organization during calvarial bone regeneration. *Microscopy Research and Technique*, 71(8):619–25, August 2008.
- [114] Leonardo M. Rocha, Fabio A. M. Cappabianco, and **Alexandre X. Falcão**. Data clustering as an optimum-path forest problem with applications in image analysis. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 2009. To appear.
- [115] Leonardo Marques Rocha. *Clustering por Florestas de Caminhos Ótimos com Aplicações em Análise de Imagens*. PhD thesis, School of Electrical and Computer Engineering, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, December 2008. Advisor: **Alexandre X. Falcão**; co-advisor: Luís G. P. Meloni.
- [116] Norton T. Roman, Cristiano D. Ferreira, Luis A. A. Meira, Rodrigo C. Rezende, Luciano A. Digiampietri, Jorge Jambeiro Filho, Andreia A. Kondo, Bruno C. Brandao, Everton R. Constantino, Helder S. Ribeiro, Jacques Wainer, and **Siome K. Goldenstein**. Attribute-value specification in customs fraud detection: A human-aided approach. In *Proc. 10th Annual International Conference on Digital Government Research*, 2009. To appear.
- [117] Maria O. Rybka, Maria L. Cintra, Elemir M. de Souza, and **Konradin Metze**. 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. *International Journal of Dermatology*, 47(12):1240–4, December 2008.

- [118] Tiago Sak, Jacques Wainer, and **Siome K. Goldenstein**. Probabilistic multiagent patrolling. In *Anais do SBIA '08 - Simposio Brasileiro de Inteligencia Artificial*, volume 5249 of *Lecture Notes In Artificial Intelligence*, 2008.
- [119] Diovani R. Sans and **Helio Pedrini**. Inserção e recuperação de marcas d'água em imagens pela transformada wavelet. In *Anais do WVC 2008 - IV Workshop de Visão Computacional*, November 2008.
- [120] Karime C. Scarpelli, Maria L. C. R. Valladão, and **Konradin Metze**. Predictive factors for the regression of canine transmissible venereal tumor during vincristine therapy. *Veterinary Journal*, December 2008.
- [121] Karime Cury Scarpelli. Análise da estrutura sintática com fator preditivo em TVTC em terapia com vincristina. Master's thesis, Curso de Ciências Médicas, University of Campinas, Campinas, SP, Brazil, August 2008. Advisor: **Konradin Metze**.
- [122] William R. Schwartz, **Helio Pedrini**, and Larry S. Davis. Video compression and retrieval of moving object location applied to surveillance. In *Proc. ICIAR'2009 - International Conference on Image Analysis and Recognition*, July 2009. To appear.
- [123] Nielsen Cassiano Simões and **Neucimar J. Leite**. Automatic key-frame extraction from broadcast soccer videos. In *Proc. VISIGRAPP 2009 - International Joint Conference on Computer Vision and Computer Graphics Theory and Applications*, pages 216–223, 2009.
- [124] 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 *Proc. DINCON'08 - Brazilian Conference on Dynamics, Control and Applications*, pages 437–442. Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional, 2008.
- [125] Glicelia R. Souza and **Sônia M. Gomes**. Interpolação de dados usando bases radiais. Unpublished manuscript, IMECC-UNICAMP, 2009.
- [126] Thiago V. Spina, Javier A. Montoya-Zegarra, **Alexandre X. Falcão**, and Paulo A. V. Miranda. Fast interactive segmentation of natural images using the Image Foresting Transform. In *Proc. 16th Intl. Conf. on Digital Signal Processing - Special Session on Graphs and Complex Networks for Representation, Characterization and Modeling of Geometric Complex Systems*. IEEE, 2009. To appear.
- [127] Renato O. Stehling, Mario A. Nascimento, and **Alexandre X. Falcão**. An adaptive and efficient clustering-based approach for content-based image retrieval in image databases. In *Proc. IEEE International Database Engineering and Applications Symposium*, pages 356–365, July 2001.
- [128] Renata M. Triglia, **Konradin Metze**, Luiz C. Zeferino, and Liliana A. L. A. Andrade. HPV in situ hybridization signal patterns as a marker for cervical intraepithelial neoplasia progression. *Gynecological Oncology*, 112(1):114–8, January 2009.

- [129] Christian Vogler and **Siome K. Goldenstein**. Facial movement analysis in ASL. *Universal Access in the Information Society*, 6(4):363–374, February 2008.
- [130] Christian Vogler and **Siome K. Goldenstein**. Toward computational understanding of sign language. *Technology and Disability*, 20(2):109–119, 2008.