**Texto de Pesquisa Sistematizado**

***A Bioimaging Tour in Human Health***

*Uma Jornada com Bioimagens em Saúde Humana*

*Marcel Parolin Jackowski*

*Departamento de Ciência da Computação*

*Instituto de Matemática e Estatística*

*Universidade de São Paulo*

*DCC – IME – USP*

[*mjack@ime.usp.br*](mailto:mjack@ime.usp.br)

**2016**

**Resumo**

**N**

ste documento, apresento de forma sistematizada o meu trabalho de pesquisa na área de *bioimagens*, em associação com aplicações em saúde humana. O meu trabalho nesta linha de pesquisa iniciou-se durante a minha pós-graduação e pós-doutoramento, e consolidou-se como docente no DCC-IME-USP, acrescida pelos trabalhos de pesquisa de meus orientandos de mestrado e doutorado. Além de pesquisa própria, e colaborações ao longo deste tempo. Em anexo, disponibilizo copia dos artigos que foram produtos diretos desta trajetória em pesquisa. (Medicina computacional).

**Sumário**

1 Introdução 4

2 Bases teóricas 4

2.1 Propagação de superfícies 4

2.2 Representação supertoroidal 4

3 Aplicações 7

3.1 Transtornos Psiquiátricos 7

3.2 Sepse 8

3.3 Doenças Cardiovasculares 8

3.4 Câncer 8

3.5 Transtornos da Fala 8

4 Discussão 8

Referências 8

Apêndice 8

Preâmbulo

**D**

e acordo com informações divulgadas pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), a expectativa de vida no Brasil aumentou 17,9% entre 1980 e 2013, passando de 62,7 para 73,9 anos, um aumento real de 11,2 anos. Com o aumento da expectativa de vida e consequente aumento da população, a detecção e o diagnóstico precoce de doenças se torna imprescindível para a conservação da qualidade e diminuição de custos com programas de saúde. Assim, as técnicas de diagnóstico por imagem possuem um papel importante na avaliação das condições de saúde.

Gostaria de ressaltar que a saúde é o fio condutor de minha pesquisa, onde tenho atuado no desenvolvimento de metodologias de imagens com aplicações diagnóstico de transtornos psiquiátricos, doenças cardiovasculares, sepse, câncer e transtornos da fala. **Lens of a computacional medicine professional.**

1. Computacional Medicine: Teoria para Prática

MPJ-CM (translação).

Computational developments makes us use this theory.

It is crucial that image analysis tools can scale up in performance to handle large image databases efficiently. While this is possible with modern individual multicore, GPU-based as well as cluster-based computers, they are often localized and circumscribed solutions, and do not allow for flexible global information exchange. Hence, the goal of this project is to design and implement medical image exploration tools as computing services performed over a cloud infrastructure. The scalable nature of cloud-based environments and their ubiquitous access allows for the smooth execution of computational-expensive operations on large sets of images. It also makes it possible for research institutes, universities and hospitals around the world to use the same image processing and analysis pipelines, thereby openly sharing results and medical knowledge with ease. This will enable clinicians, scientists and engineers to process and analyze medical image information, whether for diagnostics or research purposes, in a collaborative and standardized manner. This will facilitate the dissemination of medical knowledge generated by different investigations while providing a means for comparing and sharing inter-institutional findings. In addition, In addition, this workflow will aid in the design of novel imaging techniques guided by the actual needs of physicians and scientists. Having the ability to extrapolate and analyze data quickly will allow for scientific progress to outpace the progression and mutation of many diseases. (colaboraçào com Jef).

Challenge to transpose pseudo-intelligence. Criação.

* 1. Propagação de superfícies

Os matemáticos Osher e Sethian (1988) disseminaram a metodologia de representação de contornos que utilizam curvas de nível zero de uma função de dimensão imediatamente superior à do espaço em que a curva original está descrita. Essa função de dimensão superior é conhecida por função de curva de nível (*level set function*, LSF). A evolução de uma curva de nível pode ser deduzida a partir de um modelo de contorno ativo (também conhecido por *snakes*, Kass et al. (1988)). Para tanto, define-se uma curva paramétrica dinâmica C(s, t) : [0, 1] × [0, ∞] → R2, cujo parâmetro espacial é s e o temporal é t. A evolução da curva pode ser expressa por

em que F é a função que controla a velocidade do movimento do contorno, N é o vetor normal e interno à curva, dado por N = −∇φ. Considerando essa curva C(s, t) como curva de nível zero de |∇φ| de uma φ(x, y, t) : R2 ×[0, ∞] → R, a equação diferencial parcial que define a LSF é obtida diretamente derivando-se φ em relação ao tempo:

Este método apresenta vantagens estruturais, por permitir que mudanças topológicas sejam capturadas ao longo da evolução do contorno. As curvas de nível podem ser aplicadas diretamente ao plano cartesiano, sem necessidade de parametrização. No entanto, irregularidades numéricas podem ser encontradas ao longo da evolução. A função F pode depender de fatores internos, como curvatura, e externos, como gradiente da imagem.

Cooperação CM.

* 1. Representação supertoroidal

Embora a representação elipsoidal do tensor de difusão seja considerada trivial, e devido a esta simplicidade, facilite a quantificação de informações presentes em campos do tensor de difusão através das suas invariantes, a literatura sugere que ela pode não ser a mais adequada para a detecção de alterações biológicas mais complexas.

Diferentemente de elipsóides e superquadráticas, a representação supertoroidal do tensor de difusão incorpora um acréscimo no gênero da forma, inerente às superfícies toroidais **(Mekkaoui *et al.*, 2009; Mekkaoui *et al.,* 2010).** Uma das vantagens desta representação é o aumento em graus de liberdade, porém um dos desafios em propor tal representação é a sua parametrização, ou seja, como utilizar de forma eficiente as informações disponibilizadas pelo tensor. Inicialmente, pretendemos investigar se a parametrização da superfície supertoroidal de acordo com as métricas geométricas do tensor de difusão:

, , e , propostas anteriormente **(Westin *et al.*, 1997),** e que representam graus de difusividade linear, planar e esférico, respectivamente, são adequadas para a aplicação cerebral. Caso positivo, o glifo supertoroidal terá a seguinte representação:

⇒, **[1]**

⇒, **[2]**

onde , a superfície parametrizada do supertoroide, é função da coordenada de azimute  e coordenada polar . Os parâmetros  e  são utilizados para produzir uma transição suave entre as diferentes formas supertoroidais resultantes. O papel de  é controlar a nitidez do supertoroide nos eixos correspondentes às difusividades secundárias e terciárias. O parâmetro controlará a forma do glifo ao longo do eixo perpendicular, que está alinhado com o eixo principal de difusividade. Vale notar que embora a equação paramétrica tradicional de um tororesulte em um contínuo de formas com gênero de topologia um, a parametrização acima resultará em formas com gênero zero, inclusive. Assim, em locais onde a difusão é isotrópica, ou seja, onde não existe uma direção preferencial de difusividade, não existirá uma abertura na forma, o que caracterizará uma forma esférica. Os valores destes parâmetros serão ajustados experimentalmente de forma que campos supertoroidais sejam descritivos das estruturas cerebrais.

Embora as diferenças entre configurações de autovalores do tensor possam ser inferidas intuitivamente a partir dos glifos supertoroidais, para objetivos de quantificação, é mais útil mensurar mudanças através de índices de difusividade e anisotropia, como no modelo elipsoidal. Para definir invariantes do tensor que não dependam da parametrização visual do modelo supertoroidal ( e ), investigaremos uma simplificação do modelo, na qual somente os autovalores serão os parâmetros que modificam a forma toroidal. A função toroidal  será inicialmente definida como função das coordenadas de azimute  e coordenada polar  conforme abaixo:

, onde  **[3]**

Esta parametrização restringirá o toroide para que sua forma varie a partir de um tubo, em anisotropia, até um toro em isotropia. Os parâmetros , , e  representam  através do comprimento do toroide,  através da largura do seu orifício, e  através da espessura da sua seção central.

A difusividade é comumente estimada através da soma dos autovalores do tensor ou através da difusividade média (MD), definida como , que representa o deslocamento médio de uma molécula de água ao longo do tempo TE (*Time to Echo*). Enquanto MD é definida por uma função linear monodimensional, o processo de difusão é inerentemente um fenômeno tridimensional. Os movimentos das moléculas de água dilatam o espaço tridimensional ocupado por elas ao longo do tempo do experimento. Este aumento em volume depende do coeficiente de difusividade do meio e da presença de barreiras **(Le Bihan *et al.*, 1991)** e é refletido pelos autovalores e autovetores do tensor de difusão, que indicam as direções do aumento de volume. Tendo em vista que a difusão é um fenômeno volumétrico por natureza, intuitivamente faz sentido usar uma medida escalar volumétrica parametrizada pelos autovalores e autovetores para quantificar a difusividade. Desta maneira, propomos o volume toroidal (TV) como um novo índice de difusividade utilizando a parametrização descrita na **Eq. [3]**:

 mm6/s3 **[4]**

De acordo com a parametrização na **Eq. [3]**, pode-se inferir que os valores máximos da curvatura gaussiana são obtidos na borda do toroide.O valor máximo da curvatura do toroide (TC) aumentará monotonicamente desde a isotropia até anisotropia. Portanto, TC pode ser considerado como uma medida de anisotropia e poderá ser definido como:

, onde 

Como TC é uma medida de curvatura, não existem limites de valores para este índice. Já que TC também depende do volume do toroide (i.e. devido a difusividade), os parâmetros da função toroidal (,, e ) podem ser normalizados por . Faz parte da proposta o estudo da normalização do índice TC, de forma que a faixa de valores varie continuamente entre 0 (em isotropia) e 1 (anisotropia).

Problemática (Temática) ?

MPJ-CM. MI Classes. Coursework. How can we extract signals from these compelx structure. Useful for MDs. Interpret.

* 1. Transtornos Psiquiátricos

Os transtornos psiquiátricos estão entre as principais causas de incapacitação em todo mundo. Os transtornos de humor (i.e., transtorno depressivo maior, transtorno bipolar e distimia), particularmente, são a principal causa de perda de perda de produtividade no Brasil, onde afetam cerca de 15% da população ao longo da vida (Viana et al., 2009; WHO, 2000). Dos transtornos de humor, o mais incapacitante é o transtorno bipolar, doença crônica que afeta até 3% da população adulta (Goodwin e Jamison, 2007), até 1% dos adolescentes (Lewinsohn et al., 1995), e tem impacto na produtividade de seus portadores equivalente ao da doença pulmonar obstrutiva crônica, por exemplo (Merinkangas and Kupfer, 1995).

A substância branca (SB) tem importância fundamental na compreensão das funções cerebrais tendo em vista a rede de comunicação neural que ela estabelece. Sabe-se que os transtornos psiquiátricos, incluindo o transtorno afetivo bipolar (TAB), estão associados a anormalidades sutis de SB que demandam métodos robustos e eficientes de análise. A imagem por tensor de difusão (DTI) é uma modalidade promissora de imagens capaz de caracterizar alterações estruturais em SB. No entanto, a sua natureza multidimensional e multivariada faz com que o estudo neuropatológico em TAB torne-se uma tarefa desafiadora. Assim, faz-se necessário o uso de métodos de análise de DTI que sejam robustos e apropriados para entendermos o papel destas anormalidades. Este projeto visa o desenvolvimento e a avaliação de uma nova metodologia de análise utilizando a representação supertoroidal do tensor de difusão. O objetivo desta representação é aprimorar a caracterização da SB de forma visual e quantitativa através de novos índices de difusividade e anisotropia. Experimentos utilizando phantoms revelaram que estes índices são sensíveis à mudanças estruturais e que podem descrever alterações no cérebro. Resultados preliminares utilizando DTI de um cérebro humano normal mostraram que tratos de SB podem ser identificados sem ambiguidades pelo modelo supertoroidal. Para avaliar a eficácia desta nova metodologia, imagens DTI de pacientes com transtorno bipolar e de indivíduos saudáveis serão analisadas e comparadas estatisticamente. Desta forma, esperamos que esta abordagem possa avançar o conhecimento da neurofisiologia do TAB e trazer informações inéditas para a caracterização da SB em outros transtornos psiquiátricos.

* 1. Sepse

A sepse é uma infecção generalizada do organismo, caracterizada por uma res- posta inflamatória sistêmica que pode levar à falência múltipla de órgãos. Para diminuir a elevada taxa de mortalidade associada aos quadros da sepse grave, faz- se necessária a detecção de alterações estruturais de tecidos e da microcirculação o mais cedo possível. O advento da técnica de imageamento por Sidestream Dark Field (SDF) possibilitou a identificação de alterações da microcirculação usando imagens dinâmicas de alta resolução por meio da iluminação por diodos emissores de luz. As imagens SDF permitem uma caracterização eficiente da arquitetura de vênula e capilares sanguíneos, tanto em seu estado normal quanto na presença de inflamações, que estão associadas aos quadros da sepse. Neste contexto, este projeto tem como objetivo desenvolver uma metodologia automatizada de detecção e caracterização do nível de heterogeneidade da arquitetura tecidual em imagens SDF de ratos com diferentes períodos da sepse. Este projeto envolve o desenvolvimento de dois modelos matemáticos: o primeiro modelo para quantificar imagens SDF de cérebro, e está baseado em grafos, redes com ramificações e fractais para representar e quantificar as estruturas dos vasos sanguíneos; o segundo modelo para classificar imagens de fígado, rim, sublingual e intestino, e está baseado em extrair descritores baseados em padrões de níveis de cinza e coeficientes de scattering. A metodologia utilizada para identificar as modificações nos vasos de imagens cerebrais mostrou que existe uma mudança nas ramificações da microcirculação ao longo da evolução da sepse. Resultados da classificação das imagens de fígado, rim, sublingual e intestino com períodos da sepse diferentes mostraram um melhor desempenho utilizando os coeficientes de scattering.

* 1. Doenças Cardíacas e Vasculares
  2. Câncer
  3. Transtornos da Fala

1. Discussão e Perspectivas

Medicina computacional na USP. Construção para a prática na medicina. Cooperação. Enough knowledge in thematic. Demand from students. CT/MRI. Improve. Understand, explina modelaity, extarct info, new tech can make use of it. Faster, not only bc of computaibnal power.

Referências

Apêndice

Meu trabalho de orientação na pós-graduação iniciou-se com a aluna de mestrado Jihan Zoghbi, cuja pesquisa envolveu o desenvolvimento de modelos deformáveis baseados em *levelsets* para a segmentação de tumores cerebrais em imagens de RM. Tal trabalho foi possível através de uma colaboração com o prof. Marcelo Mamede (UFMG) e o Instituto Nacional do Câncer (INCA), no Rio de Janeiro. Seus resultados foram publicados em conferências nacionais e internacionais e representou o meu primeiro resultado positivo de orientação em pesquisa na área de imagens médicas aqui no Brasil. A Jihan, como membro sênior do grupo tem se preocupado com o andamento das atividades e prazos de cada integrante de nosso laboratório, desde os trâmites burocráticos, quanto a sua presença como represente discente na Comissão de Pós-Graduação. Ela defendeu a sua dissertação de mestrado este ano e agora está sendo orientada como aluna de doutorado.

Dois dos meus alunos de iniciação científica recentemente se tornaram alunos de mestrado, Luiz Fernando Corte Real e Renato Callado Borges. Ambos continuam a estender seus respectivos trabalhos agora a nível de pós-graduação. Luiz estuda modelos matemáticos de representação de sinais biológicos com alta taxa de compressibilidade. O mesmo deve qualificar-se até o fim deste ano. Renato Callado é originalmente aluno do Instituto de Física, e que agora é aluno de mestrado do IME-USP. Ele passou cerca de seis meses na Suíca, como estagiário no *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* (CERN) trabalhando no *Large Hadron Collider* (LHC). Ele é responsável pelo processamento da fatia de dados do LHC aqui no Instituto de Física. Seu projeto de pesquisa envolve a criação de imagens sintéticas de RM de difusão. Deve qualificar-se até o início de 2012.

Através de uma colaboração com a Faculdade de Odontologia da USP, iniciou-se em 2010, um projeto de pesquisa inovador no desenvolvimento de metodologias automáticas para análise de imagens de tomografia computadorizada (TC) aplicadas à ortodontia. O aluno William Mizuta, vindo do curso de graduação de Ciências Moleculares, desenvolve a sua tese de mestrado na extração automática de medidas cefalométricas a partir de imagens de TC. O William possui uma bagagem multidisciplinar e surpreende a todos com o seu conhecimento e sugestões pertinentes a cada projeto do grupo. William conta já com uma publicação na conferência SIBGRAPI de 2010 e prepara um artigo de revista no momento. Deve qualificar-se até o início de 2012.

Uma das linhas de pesquisa do laboratório é a análise de imagens de angiografia, oriundas das técnicas de imageamento por RM e TC. Dois alunos trabalham com esta linha de pesquisa, a aluna de doutorado Maysa Macedo e o aluno de mestrado Miguel Valverde. Ambos já qualificaram e devem concluir as suas respectivas dissertações também no primeiro semestre de 2012. Enquanto a Maysa concentra-se na extração de trajetórias de vasos sanguíneos e na criação de índices que possam marcar anormalidades em redes vasculares, o Miguel desenvolve uma metodologia de construção de redes vasculares artificiais, o que em princípio pode ser utilizado como instrumento de validação de técnicas de segmentação de vasos. Estes dois trabalhos envolvem a colaboração com os profs. Edson Amaro e Cláudia Leite, ambos do Instituto de Radiologia (InRad), HC-FMUSP. A aluna Maysa obteve menção honrosa do seu trabalho intitulado “Vessel Cross-section Tracking in CTA and MRA images using Hough Transform” apresentado no IV Workshop CInAPCe, em São Carlos, 2010 (Seção 2.3).

O aluno Marcos Labriola, aluno de mestrado, tem como projeto de pesquisa o desenvolvimento de um sistema de estimativa de fluidez de tráfego em vias metropolitanas. Esta orientação é um desafio pessoal em área de sistemas e que remete ao meu projeto de graduação da PUC/PR em 1993. O Marcos trabalha em empresa que confecciona rastreadores veiculares que se comunicam com uma central via rede celular (GPRS) e que abastece de informações sobre a localização, velocidade dos veículos. De posse de vários rastreadores é possível o cálculo de fluidez de tráfego em uma determina via metropolitana. Ele qualificou este ano e deve terminar a sua dissertação até o início de 2012. Ainda dentro da área de sistemas, iniciei este ano a orientação do aluno de mestrado profissionalizante Carlos Barcellos no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). O seu projeto estuda a geração automática de código na conversão de aplicações *multithreaded* em subprocessos. O mesmo deve qualificar-se até a metade de 2012.

Uma nova orientação dentro da área de neuroimagem, é a do aluno David Macedo, que iniciou também neste ano o seu projeto que envolve a segmentação da estrutura cerebral *corpo caloso* utilizando imagens do tensor de difusão. O aluno David estudo este instante a aplicação dos índices toroidais de difusão em aplicações que utilizem imagens cerebrais e prepara-se para escrever um resumo para a conferência ISMRM de 2012. Ele deve qualificar até o início de 2012. Este projeto conta com a colaboração direta da profa. Andrea P. Jackowski, UNIFESP.

Recentemente fomos agraciados com a aprovação de um projeto de auxílio à pesquisa FAPESP, que visa o desenvolvimento e aplicação de novos métodos de análise de imagens de RM de difusão em indivíduos com transtorno bipolar. Este esforço é resultado de colaboração contínua com o prof. Geraldo Busatto, diretor do LIM-21, HC-FMUSP. Adicionalmente fomos também felizes com a aprovação da proposta de um núcleo de apoio a pesquisa (NAP) junto à Pro-Reitoria de Pesquisa da USP, que visa a criação do Núcleo de Apoio de Pesquisa em Neurociências Aplicadas, que unem IPq-FMUSP, IME-USP, ICB-USP e IQ-USP. O IME-USP é responsável pela parte metodológica que envolve a aquisição, armazenamento, processamento e análise de imagens de RM, TC, e PET/SPECT. Junto com a profa. Nina Hirata, fomos também contemplados com um projeto de grande porte junto ao CNPq, para o desenvolvimento de um software para análise de imagens biomédicas.

Retomando um dos desafios iniciais da minha contratação como docente no IME-USP, tenho a satisfação de dizer que o laboratório de processamento e análise de imagens médicas (*AnimeLab*), que inicialmente constitui-se deste docente e seus alunos de iniciação científica, mestrado e doutorado começou a tomar forma no ano de 2011 com a aprovação do projeto regular FAPESP, o que propiciou a aquisição de equipamentos e o oferecimento de uma bolsa treinamento técnico (TT-5). Juntamente com a própria criação do *AnimeLab*, foi colocado como objetivo do laboratório a criação de uma plataforma de software livre para análise de imagens médicas, MedSquare (<http://www.medsquare.org>), afim de implementar as metodologias desenvolvidas por nossos alunos, e que possibilite o seu uso aos nossos colaboradores nacionais e internacionais. Quinzenalmente, eu e meus alunos promovemos o que chamamos de “coding days”, onde todos concentram seus esforços na implementação incremental desta plataforma. Este software possui código livre (*open source*), o que ajuda na disseminação das tecnologias aqui idealizadas às comunidades médica e científica. Este projeto faz parte do Centro de Competência em Software Livre do IME-USP (<http://ccsl.ime.usp.br/pt-br/project/medsquare>). O MedSquare também conta com o apoio de recursos provenientes de um projeto de grande porte que foi recentemente aprovado junto ao CNPq, para o desenvolvimento de um software para análise de imagens biomédicas, sob coordenação da profa. Nina Hirata, do IME-USP.

Entre as colaborações internacionais constantes, conto com apoio do prof. Choukri Mekkaoui, do *Martino’s Center for Biomedical Imaging*, *Harvard University*, onde desenvolvemos pesquisa conjunta em novas metodologias de análise de imagens de RM de difusão, aplicadas ao cérebro e ao coração. Esta colaboração, tem sido proveitosa, e sem precedentes, tendo em vista o número de publicações. Adicionamente, cooperações pontuais são feitas com o departamento de Radiologia Diagnóstica, e o Centro de Pesquisa em Ressonância Magnética da *Yale University*, sob direção do prof. Todd Constable.

**A**

APRESENTAÇÃO acima sobre a pesquisa e resultados obtidos procura mostrar o engajamento de meus orientandos na maioria de minhas atividades. Meu trabalho de formação de alunos de graduação e de pós-graduação segue dois caminhos básicos na universidade: o das atividades didáticas e o da orientação em pesquisa. Minha experiência didática pode ser dividida em dois grandes grupos: (1) disciplinas básicas, como “Introdução à Ciência da Computação” e “Sistemas Operacionais” e “Computação Gráfica”; e (2) disciplinas voltadas para minha área de pesquisa, como “Processamento e Análise de Imagens Médicas” e “Computação Gráfica”. As disciplinas básicas são normalmente ministradas na graduação, enquanto aquelas ligadas à minha pesquisa são ministradas, por tanto na graduação quanto na pós-graduação. Tive a oportunidade de criar um novo curso de pós-graduação (MAC-5918), cujo título é base de minha pesquisa desde o início de meu mestrado. Neste curso abordo desde a física dos sinais provenientes de máquinas que adquirem dados de natureza biológica (Ultrassom, Raios-X, Ressonância Magnética, etc) até o processamento e análise destes sinais. Alunos fazem um trabalho de implementação para resolver um problema específico da área, e fazem seminários como conclusão do curso. Também incluo discussão de artigos científicos em cada subárea. O objetivo final é dar ao aluno um embasamento técnico e científico para poder atuar na área biomédica. Este curso reúne tanto pessoas com experiência em biologia quanto alunos com experiência em visão computacional e processamento de imagens. É comum o convite para ministrar aulas pontuais em cursos oferecidos pela FMUSP, tanto na Radiologia quanto na Psiquiatria, na área de análise de imagens.

Atualmente estou propondo um novo curso de graduação para o Bacharelado em Ciência da Computação (BCC), a disciplina de Segurança de Computadores, atualmente inexistente. Alunos expressaram grande interesse na criação de tal curso, tendo em vista a demanda atual por métodos seguros de acesso e transmissão de dados. A elaboração da ementa esta sendo feita juntamente com o Prof. Routo Terada e com docentes na área de Sistemas.

Por outro lado, em relação à formação de recursos humanos através da pesquisa, tenho orientado alunos de Iniciação Cientíﬁca, Mestrado e Doutorado, além de ter tido a oportunidade de supervisionar um projeto de Pós-Doutorado. Desde 2006, orientei 11 alunos de graduação (iniciação cientíﬁca e trabalhos de formatura), 8 mestrados e 2 doutorados (a serem concluídos). Esse trabalho de orientação envolve diversos desaﬁos instigantes como a procura por temas originais de pesquisa, o recrutamento de bons alunos, a busca por ﬁnanciamento de bolsas e equipamento necessário e o acompanhamento do desenvolvimento do projeto de pesquisa, com todas as pequenas angústias e vitórias que tipicamente aparecem no dia-a-dia de um cientista. No entanto, os frutos obtidos durante a interação com esses alunos compensam enormemente os esforços empregados. É constante o entusiasmo de ensinar e transmitir meus conhecimentos, entre eles intelectuais, éticos e morais aos alunos da USP que tenho contato. Tenho aprendido bastante com eles, e isso me torna um melhor professor.

**O**

SUMÁRIO EXECUTIVO acima apresentado procura resumir os pontos mais importantes de minha carreira até este instante, de maneira a salientar meu engajamento em diversas atividades. Meu principal objetivo acadêmico desde minha contratação junto ao IME-USP tem sido colaborar com a formação de um grupo de pesquisa que tenha atuação relevante sob dois pontos de vista: dentro e fora do Brasil. No contexto interno, a sua atuação deve ajudar na formação de recursos humanos de excelência acadêmica e no desenvolvimento da pesquisa na área, fortalecendo a comunidade cientíﬁca nacional. No contexto externo, buscar inserção internacional, adotando colaborações, critérios de qualidade e veículos de divulgação dos resultados de pesquisa dos melhores centros mundiais da área. Espero assim contribuir para com o aprimoramento e fortalecimento da capacidade de produção e transmissão do conhecimento cientíﬁco e tecnológico junto ao meu departamento, instituto e universidade. Apresento, em seguida, uma listagem completa dos tópicos que compõem meu Curriculum Vitae, documentado conforme material em anexo, e coloco-me à disposição da comissão para quaisquer esclarecimentos e informações adicionais.