

Adenilson Cavalcanti da Silva
Engenheiro Agrônomo

Discriminação de espécies de mamíferos via tricológia com descritores quantitativos de forma utilizando processamento digital de imagens, visão artificial e análise de formas

Orientador:
Prof. Dr. LUCIANO MARTINS VERDADE

**Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ecologia de Agroecossistemas.**

Piracicaba
2006

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Silva, Adenilson Cavalcanti da

Discriminação de espécies de mamíferos via tricologia com descritores quantitativos de forma utilizando processamento digital de imagens, visão artificial e análise de formas / Adenilson Cavalcanti da Silva. - - Piracicaba, 2006.

65 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2006.

1. Análise de Fourier 2. Classificação animal 3. Ecologia animal 4. Fauna –
Descriminação 5. Geometria diferencial 6. Mamíferos 7. Processamento de imagens
I. Título

CDD 599

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

Dedico este trabalho aos meus pais Dionice F. Miranda Carvalho e Nitercilio Ferreira Carvalho que me auxiliaram nesta longa caminhada de estudos. À minha esposa Deise e filha Luíza, que foram responsáveis por manter minha perseverança nos momentos mais difíceis.

AGRADECIMENTOS

Este é provavelmente o espaço mais pessoal em qualquer tese, e acredito ser uma pena o mesmo ser raramente bem utilizado para agradecer e render homenagens a todas as pessoas que auxiliaram na criação do difícil trabalho de uma tese de mestrado.

Ao prof. Dr. Luciano Martins Verdade, cuja acolhida no Laboratório de Ecologia Animal e apoio na realização deste trabalho foram essenciais, providenciando a estrutura necessária para a pesquisa.

Gostaria de agradecer ao Dr. Luciano Fontoura Costa, cujas aulas e discussões foram essenciais para minha formação. Seu brilhantismo e produtividade na área de análise de formas e visão servem como inspiração para todo pós-graduando interessado na academia.

Agradeço ao Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto pela valiosa ajuda na tarefa de análise estatística e modelagem matemática presentes neste trabalho.

Ao prof. Dr. Adriano Azevedo Filho pela amizade nestes últimos 3 anos e valiosos conselhos sobre a condução do meu curso de mestrado, que provaram-se fundamentais.

Aos colegas de Laboratório:

- Cláudia Bueno de Campos que me apresentou à fascinante área da tricologia e me ensinou a arte de preparar lâminas. Pela sua paciência em me ajudar inúmeras vezes e ao rico material biológico que me forneceu para desenvolvimento deste trabalho;

- Carla Gheler Costa pelas amostras de material biológico e discussões interessantes;

- Carlos Piña pelas inúmeras sugestões ao trabalho e estratégias para conduzir o processo de escrita da monografia;

- Aos amigos do IFSC (Instituto de Física de São Carlos) pelas idéias e sugestões (sobretudo no Scilab);

Finalmente, gostaria de agradecer a(s) equipe(s) responsáveis pelos seguintes softwares gratuitos utilizados na confecção desta tese:

- Linux, Emacs, L^AT_EX, abntex, Scilab, R, gcc, OpenCV, XFCE, X.org

*“Àquele que deve caminhar
100 milhas, é melhor considerar
90 milhas como metade...”*
Provérbio Budista

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 DESENVOLVIMENTO.....	13
2.1 Tricologia.....	13
2.1.1 Uso e obtenção.....	13
2.1.2 Formação, estrutura e padrões.....	14
2.1.3 Histórico e evolução da tricologia.....	20
2.2 Visão artificial.....	26
2.2.1 Visão.....	26
2.2.2 Imagens e pixels.....	27
2.2.3 Segmentação e detecção de bordas.....	28
2.2.4 Morfologia.....	30
2.3 Análise de formas.....	32
2.3.1 Conceito de forma.....	32
2.3.2 Geometria diferencial.....	34
2.3.3 Descritores comuns.....	37
2.3.4 Transformada de Fourier.....	38
2.3.5 Métodos multiescala.....	43
2.4 Material e métodos.....	45
2.4.1 Espécies estudadas.....	45
2.4.2 Técnica de preparação das lâminas.....	46
2.4.3 Geração das imagens.....	47
2.4.4 Extração dos contornos.....	48
2.5 Resultados e Análises.....	50
3 CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS.....	56
ANEXOS.....	63

RESUMO

Discriminação de espécies de mamíferos via tricologia com descritores quantitativos de forma utilizando processamento digital de imagens, visão artificial e análise de formas

Em levantamentos de fauna têm sido utilizados, cada vez mais, métodos indiretos para obtenção de dados visando identificação e quantificação de espécies. A Tricologia é um método indireto baseado no estudo da estrutura microscópica da medula (parte interior) e cutícula (parte exterior) do pêlo de mamíferos. Ainda são incipientes, porém, as tentativas de dotar a tricologia de ferramentas quantitativas e estatísticas para caracterização dos padrões cuticulares e medulares dos pêlos de diferentes espécies. Esta dissertação busca preencher estas lacunas, fazendo uso de técnicas de processamento de imagens e visão artificial para realizar uma descrição quantitativa dos caracteres da superfície do pêlo. As espécies estudadas foram de duas ordens, *Carnivora* e *Artiodactyla*. Para a primeira ordem, foram analisados pêlos de *Leopardus tigrinus* (gato-donato) e *L. wiedii* (gato-maracajá). Na segunda ordem, foram analisadas escamas de pêlo de *Mazama gouazoubira* (veado-catingueiro). A partir de lâminas preparadas para impressão cuticular dos pêlos das espécies, foram obtidas imagens, com o auxílio de microscópios calibrados para aumento óptico de 400 vezes. Para extração dos contornos das imagens digitais foi criado um programa em linguagem de programação C++. Este programa permitiu também o cálculo de alguns descritores de forma: baricentro ou centróide, área, perímetro e diâmetro. Para o cálculo de descritores de forma mais complexos (curvatura média, desvio da curvatura, energia de dobramento, energia de dobramento normalizada, comprimento de arco, energia do descritor de Fourier e energia normalizada do descritor de Fourier), utilizou-se um programa externo escrito para o Scilab. Utilizou-se técnicas gráficas para exploração do espaço de forma, definido pelos onze descritores. Foi criado um modelo linear para separação das espécies, obtendo-se para espécie *M. gouazoubira* um índice de classificação correta de 86%. Para *L. tigrinus* o índice de acerto foi de 84%. Para *L. wiedii* foi insatisfatório, ficando em apenas 50%. Houve a identificação das espécies de mamíferos estudadas, construindo-se um modelo matemático que considera caracteres quantitativos de forma, extraídos das escamas de cutículas da superfície de pêlos destas espécies. Espécies com padrões morfológicos muito semelhantes ainda impõem dificuldades para o método proposto, embora já se conheça propostas com potencial para melhorar a eficiência da classificação. Este trabalho sugere uma abordagem quantitativa e objetiva sobre estudos de tricologia, aumentando a confiabilidade desta ferramenta para estudos de populações.

Palavras-chave: tricologia, levantamento de fauna, processamento de imagem, visão artificial, descritores de forma, geometria diferencial, métodos multi-escala, análise de Fourier.

ABSTRACT

Mammal species recognition using Tricology applying quantitative shape descriptors with digital image processing, artificial vision and shape analysis

Use of indirect methods to assess species diversity and population are becoming widespread in the last years. Tricology is an indirect method based in both macro and microscopic study of features and patterns present in mammal hair's medulla (internal part) and surface. There are few initiatives to enable support in this method for quantitative and statistic tools, for characterizing different specie's medullar and hair surface patterns. The present study aims to fill this gap, using digital image processing techniques and artificial vision to characterize quantitatively surface hair patterns. Two different mammal orders were studied: *Carnivora* and *Artiodactyla*. For the former we analysed hairs of *Leopardus tigrinus* and *L. wiedii*, and for the later hairs of *Mazama gouazoubira*. Using microspic slides with an indirect impression of the hair surface, we generated digital images from an optical microscope at 400x increase scale. We then developed a software computer program on C++ programming language to image contour extraction, which also calculated some shape descriptors such as centroid or baricenter, area, perimeter and diameter. Remaining more complex shape descriptors were calculated using an external Scilab program script. They were: mean curvature, standard deviation from curvature, bending energy, normalized bending energy, arc length, Fourier energy descriptor, Normalized Fourier energy descriptor. Graphical exploring techniques were used for shape space study, using a total of eleven shape descriptors. A statistical model was created for species classification, achieving a classification a sucess rate of 86% for *M. gouazoubira*, 84% for *L. tigrinus*, but only 50% for *L. wiedii*. This study was relatively succesfull in the identification of the studied species, by the use of mathematical models that consider quantitative shape characters extracted from hair surface scales contours. However, close related species can delude the proposed method, but we are already aware of some proposals with good potential to improve pattern classification sucess rates. This study proposes a quantitative approach in tricological studies, increasing reliability of this tool for species assessment and environmental research.

Keywords: tricology, species assessment, image processing, artificial vision, shape descriptors, differential geometry, multiscale methods, Fourier analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Partes do pêlo.....	14
Figura 2 - Detalhes do bulbo.....	15
Figura 3 - Representação completa.....	16
Figura 4 - Camadas constituintes.....	17
Figura 5 - Aspecto macroscópico.....	18
Figura 6 - Superfície com dobras.....	19
Figura 7 - Padrões cuticulares.....	19
Figura 8 - Detecção dos contornos das escamas da cutícula de raposa (<i>Vulpes vulpes</i>): após o filtro, deve-se realizar um threshold seguido por dilatação/erosão de pixels para fechamento dos contornos.....	31
Figura 9 - Padrão cuticular de <i>L. wiedii</i> : (aumento 400 x).....	46
Figura 10 - Padrão cuticular de <i>L. tigrinus</i> : (aumento 400 x).....	46
Figura 11 - Padrão cuticular ondeado transversal: primeiros experimentos de impressão cuticular (aumento 400 x).....	47
Figura 12 - Padrão cuticular ondeado transversal: uso de resinas coloridas e técnicas de processamento digital (aumento 400 x).....	48
Figura 13 - Software desenvolvido: além de vetorizar os contornos, são calculados alguns descritores de forma.....	49
Figura 14 - Dispersão das espécies em espaço com três descritores (área, diâmetro e perímetro): <i>M. gouazoubira</i> (azul), <i>L. tigrinus</i> (amarelo) e <i>L. wiedii</i> (verde).....	51

- Figura 15 - Dispersão das espécies no espaço com os quatro descritores (energia de dobramento normalizada, curvatura média, desvio da curvatura e razão das distâncias ao centróide): *M. gouazoubira* (azul), *L. tigrinus* (amarelo) e *L. wiedii* (verde)..... 51
- Figura 16 - Método k-médias e os centros de cada cluster: *M. gouazoubira* (triângulos), *L. tigrinus* (círculos) e *L. wiedii* (cruzes)..... 52
- Figura 17 - Projeção do espaço de descritores: *M. gouazoubira* (círculos), *L. tigrinus* (cruzes) e *L. wiedii* (triângulos)..... 53

1 INTRODUÇÃO

Em levantamentos de fauna, são fundamentais para elaboração de índices de diversidade e políticas de conservação, a identificação e quantificação das espécies animais presentes. Assim, métodos diretos para obtenção destas informações fazem uso de armadilhas e captura de espécimes animais, procedimentos caros e com logística complexa.

Um método indireto para determinação das espécies é através da coleta e posterior análise de pêlos encontrados durante o trabalho de campo. A queratinização dos pêlos lhes confere grande resistência, possibilitando a comparação de pêlos de diferentes origens e submetidos a diferentes processos químico-físicos.

A identificação de espécies de mamíferos é possível através do estudo da estrutura microscópica da medula (parte interior) e cutícula (parte exterior do pêlo), através de uma área da ciência denominada *tricologia*. Para os animais de origem européia, existem amplos tratados de caracterização das estruturas dos pêlos, embora a situação seja diferente para mamíferos de origem tropical.

Mesmo no caso europeu, ainda são incipientes as tentativas de dotar a tricologia de métodos quantitativos e estatísticos para caracterização dos padrões cuticulares e medulares dos pêlos de diferentes espécies. Faz-se uso de chaves de classificação e atlas com fotos de pêlos para o trabalho de classificação, exigindo um treinamento especial do biólogo para atingir bons resultados. Em algumas espécies, o grau de semelhança entre os pêlos torna o processo de identificação moroso e propenso a erros.

Esta dissertação busca preencher estas lacunas, fazendo uso de técnicas de processamento de imagens e visão artificial para realizar uma descrição quantitativa dos caracteres da superfície do pêlo. Pretende-se realizar o processo de classificação de espécies de maneira robusta visando eliminar subjetivismos no momento da identificação. Espera-se assim contribuir para o estado da ciência da tricologia, dotando os tricólogos de técnicas mais objetivas e auditáveis em trabalhos de estudo de fauna.

A dissertação se divide em quatro capítulos, sendo o primeiro dedicado à nomenclatura comum utilizada em tricologia e conceitos relacionados à mesma. O segundo capítulo faz uma revisão nas técnicas utilizadas para análises de forma e visão computacional. O terceiro capítulo contém detalhes sobre as espécies estudadas e técnicas utilizadas. O capítulo final relaciona os êxitos atingidos na descrição das espécies estudadas.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Tricologia

Este capítulo inicia com uma revisão de conceitos como formação, constituição dos pêlos e suas estruturas morfológicas. A seguir, apresenta a nomenclatura comum utilizada na área e os padrões cuticulares e medulares de ocorrência em mamíferos nativos. Finalmente, o capítulo traz um breve histórico da evolução da tricologia até o presente.

2.1.1 Uso e obtenção

Os pêlos têm desempenhado importantes funções nas sociedades humanas, sendo utilizados para variados fins industriais, tais como tecelagem e fabricação de pincéis (TEERINK, 1991). Na pesquisa científica são fontes de informação para a ecologia animal (BULL, 2000) (CYPHER, 1993), gestão de recursos ambientais (CAMPOS, 2004), biologia de conservação (PASITSCHNIKARTS; MESSIER, 1995) e prática forense (VERHOEVEN, 1972). Representam uma ferramenta essencial em investigações criminais, relacionadas à prática forense (HARKINS; SUSTEN, 2003), no controle de importação de produtos utilizando matéria-prima (fibras têxteis e outros) de espécies ameaçadas (DONN; YATES, 2002) (CHAKRABORTY; CHAKRABORTY, 1996) e auditoria de contaminação de alimentos (BRYCE, 1994).

Devido ao fato dos pêlos serem dotados de elevada resistência mecânica e química, (TEERINK, 1991) conseguem conservar suas características morfológicas mesmo quando submetidos a processos como digestão *in vivo*, conservação taxidermista e até putrefação (QUADROS; MONTEIRO-FILHO, 1998). Graças a estas propriedades, sua obtenção pode ser realizada através de variadas formas, tanto no animal *in vivo* (GALAN et al., 2003), como através de armadilhas (FRANTZ et al., 2004) (PASITSCHNIKARTS; MESSIER, 1995) (SANECKI; GREEN, 2005), em coleções de animais preservados de museus (TÓTH, 2002) (HAUSMAN, 1920) (QUADROS, 2002) (CHAKRABORTY; CHAKRABORTY,



Figura 1 - Partes do pêlo, foto *in vivo* – Fonte: baseado em (CHANG; TSAI; YU, 2005)

1996)(CHAKRABORTY; CHAKRABORTY; DE, 1999) (CHAKRABORTY; DE, 2001) e até através da coleta de material fecal (TABERLET et al., 1993) (BULL, 2000) (CAMPOS, 2004) e análise das entranhas (CYPHER, 1993).

2.1.2 Formação, estrutura e padrões

Os pêlos são anexos epidérmicos inerentemente exclusivos dos mamíferos (QUADROS, 2002), sendo o motivo da classe ser chamada **Trichozoa** (animais peludos) ou **Pilífera** (que carrega pêlo) (CHERNOVA, 2002). A pele dos animais tem duas camadas principais, a derme ou mesoderme (inferior) e epiderme ou ectoderme (CHANG; TSAI; YU, 2005) (externa, composta por camadas de células vivas e mortas) (TEERINK, 1991). A camada basal é responsável por manter o crescimento e renovação deste epitélio, apresentando células vivas em contínua divisão. A camada mais externa é formada unicamente por células mortas, sendo a mais resistente.

Em determinado momento de idade gestacional, grupos de células (CHANG; TSAI; YU, 2005) da camada basal, com núcleo alongado, se diferenciam como células germinativas de folículo capilar (ver figura 1). Este grupo de células cresce em sentido inferior em direção à derme, acabando por gerar o bulbo do pêlo (ponto de fixação no epitélio) quando combinada com uma papila dérmica (TEERINK, 1991). O bulbo ainda mantém células germinativas de folículo capilar garantindo a renovação dos pêlos ao longo do tempo.

Para manter as células germinativas do folículo ativas, células da mesoderme se diferenciam

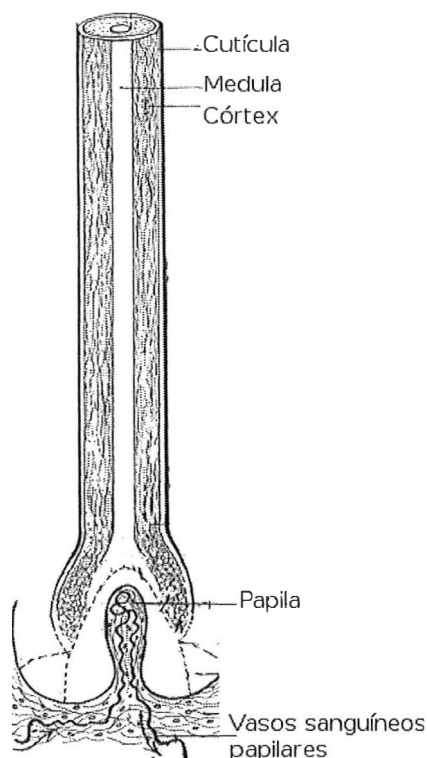


Figura 2 - Partes do pêlo, detalhes do bulbo – Fonte: baseado em (HAUSMAN, 1932)

(TEERINK, 1991) e formam vasos sanguíneos papilares no entorno do folículo (ver figura 2) para fornecer nutrientes para o tecido. As células desta região se diferenciam posteriormente, formando o músculo erector (presente em algumas espécies) e a glândula sebácea (CHANG; TSAI; YU, 2005). O músculo erector é responsável pela capacidade do pêlo se levantar (arrepiar) (TEERINK, 1991). O pêlo propriamente se constitui de células localizadas na porção central do bulbo, tendo seus núcleos gradualmente diminuídos conforme são empurradas do ponto de crescimento em direção à epiderme (e finalmente para a superfície).

Neste momento se inicia a formação e acúmulo de queratina nas células. A alfa-queratina possui cadeias polipeptídicas que assumem (QUADROS, 2002) uma estrutura secundária em alfa-hélice, que ao se unir através de pontes de dissulfeto, graças aos resíduos de cistina, formam protofibrilas. Estas por fim constituirão microfibrilas, as responsáveis pela estrutura rígida das células do pêlo. Este processo de enrijecimento (TEERINK, 1991) das células se procede rapidamente nas camadas externas do pêlo, vindo a formar a cutícula. A camada interior e mais flexível formará o córtex e a medula do pêlo.

Os fatores bioquímicos e processos presentes na formação da característica **cor** não serão dis-

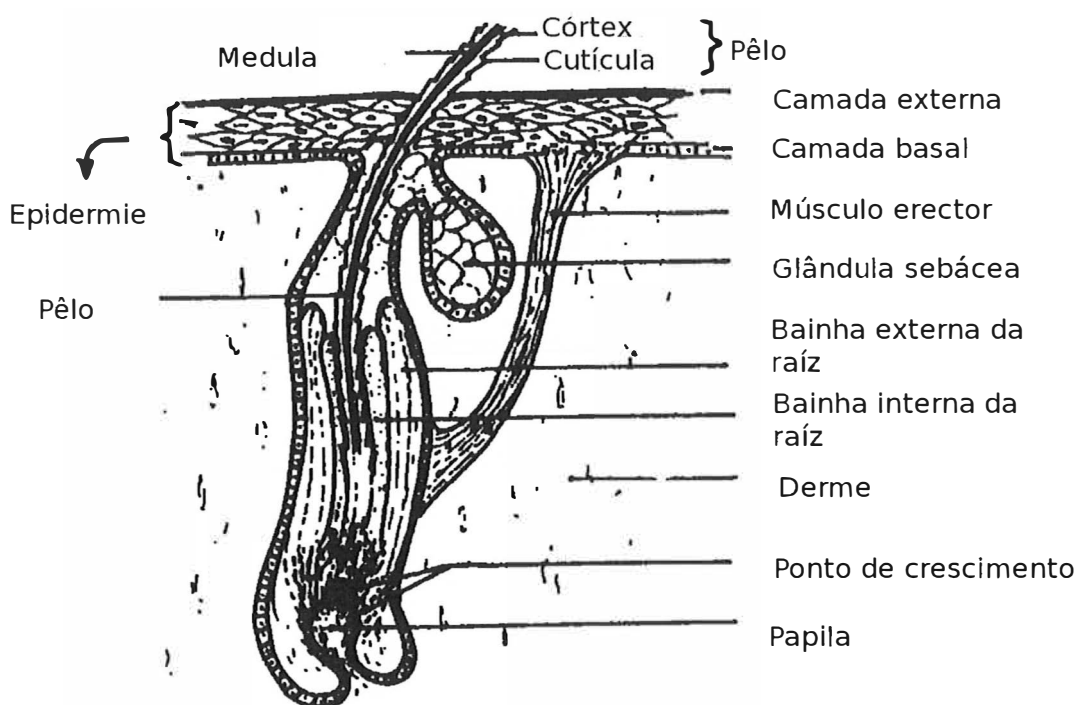


Figura 3 - Partes do pêlo, representação completa – Fonte: adaptado de (TEERINK, 1991)

cutidos aqui por ser este um descritor não confiável (QUADROS, 2002) (CHAKRABORTY; CHAKRABORTY; DE, 1999) por apresentar grande variação dentro de um único espécime e semelhanças entre espécies distintas. Mesmo o número de bandas de cor (TÓTH, 2002) é característica dependente da estação e de difícil identificação (CHAKRABORTY; CHAKRABORTY, 1996).

Em um modelo simples sua constituição microestrutural seria formada por três itens, como abaixo (HAUSMAN, 1924) (TEERINK, 1991):

- medula (“medulla”): constituída de células com deposição de alfa-queratina mole podendo conter pigmentos e bolhas de ar (QUADROS, 2002);
- córtex (“cortex”): formado por camadas de células alongadas e geralmente fusiformes com deposição de alfa-queratina dura podendo apresentar grânulos de melanina;
- cutícula (“cuticle”): tegumento externo do pêlo composta por placas (“scales”) finas e rígidas com formas variadas (ver figura 4).

Em escala macroscópica, o pêlo apresentará ao longo do comprimento três regiões distintas (QUADROS, 2002) (TEERINK, 1991):

- bulbo (“bulb”): porção intradérmica;

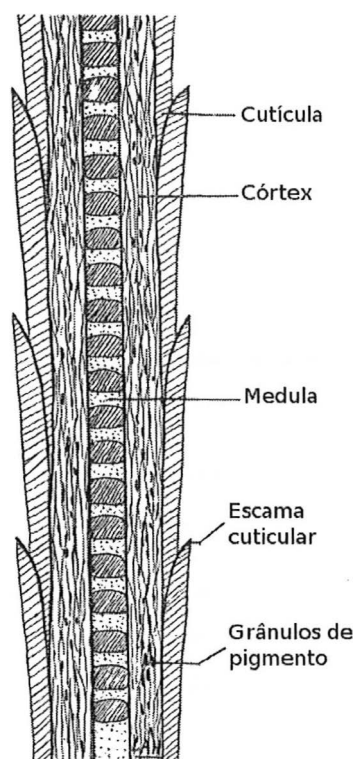


Figura 4 - Partes do pêlo, camadas constituintes – Fonte: baseado em (HAUSMAN, 1924)

- haste (“shaft”): se segue ao bulbo, sendo mais estreita;
- escudo (“shield”): localizado entre a haste e a porção distal do pêlo, costuma ser mais largo (ver figura 5).

Entretanto, com o avanço das técnicas de microscopia e bioquímica, este modelo acabou por se tornar mais complexo (CHERNOVA, 2002). Cada escama da cutícula seria composta por várias camadas, separadas por complexos de membrana, podendo ser monocamada, bicamada e multicamada. A espessura das escamas da cutícula (assim como seu ângulo de inserção na haste do pêlo) são correlacionadas e influenciam na área visível da escama na superfície do pêlo. Existe sobreposição das cutículas entre si, ao “abraçarem” o córtex e a medula.

Os padrões de forma exibidos pelas escamas da cutícula são diversos, havendo várias chaves de classificação (HAUSMAN, 1920) (CHAKRABORTY; DE, 2001) (TÓTH, 2002) (CHERNOVA, 2003) (TEERINK, 1991) com uso de nomenclatura por vezes divergente. Existem pelo menos três (HAUSMAN, 1920) (BENEDICT, 1957) (TEERINK, 1991) nomenclaturas diversas, em uso atualmente, para definir os tipos de forma da cutícula e pelo menos mais duas (CHERNOVA, 2003) (QUADROS, 2002) novas nomenclaturas propostas visando unificar as anteriores. A presença de fraturas e dobras

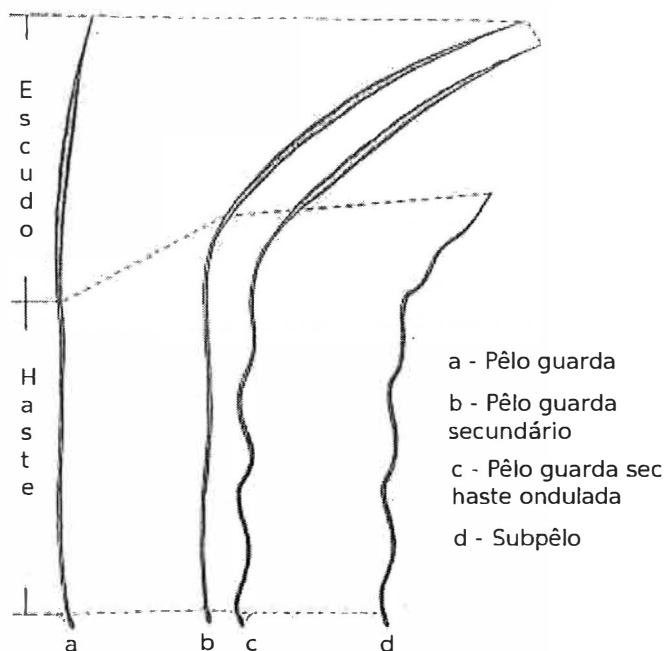


Figura 5 - Partes do pêlo, macroscópico – Fonte: (QUADROS, 2002)

na superfície das escamas (CHERNOVA, 2002) (CHERNOVA, 2003) (ver figura 6), bem como a arquitetura mostrada na disposição das camadas de células no córtex adicionam mais dimensões na identificação de espécie através de análises tricológicas. A ornamentação das escamas pode ser extremamente diversa (CHERNOVA, 2002) e rica, notadamente para *Chiroptera* (BENEDICT, 1957).

No presente trabalho, escolheu-se utilizar a nomenclatura proposta por Quadros (QUADROS, 2002) por se referir a espécies animais nativas. Além disso, esta nomenclatura realiza um trabalho competente no intento de unificar as outras nomenclaturas previamente propostas. Na verdade, a utilização da nomenclatura é opcional (e *a priori* poderia ser utilizada qualquer outra), pois a caracterização dos pêlos será realizada através de descritores quantitativos, o que diminui a importância da nomenclatura no processo de classificação. A figura 7 apresenta os padrões cuticulares presentes nas espécies nativas e nomes dos mesmos.

Os caracteres de cutícula podem ser coincidentes para espécies diferentes, havendo o recurso de análise do tipo de medula para distinção destes casos. O número de camadas que a formam (unicelular ou multicelular) (TEERINK, 1991), sua presença ou ausência (QUADROS, 2002), forma das células (CHERNOVA, 2003) e decorações na borda da medula são caracteres utilizados para

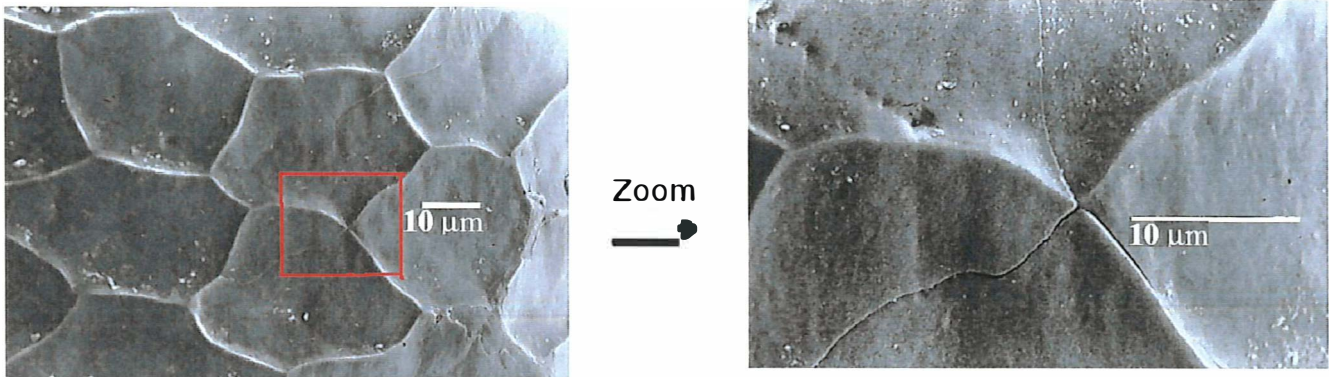


Figura 6 - A superfície da cutícula pode exibir dobras e fraturas – Fonte: baseado em (CHERNOVA, 2002)

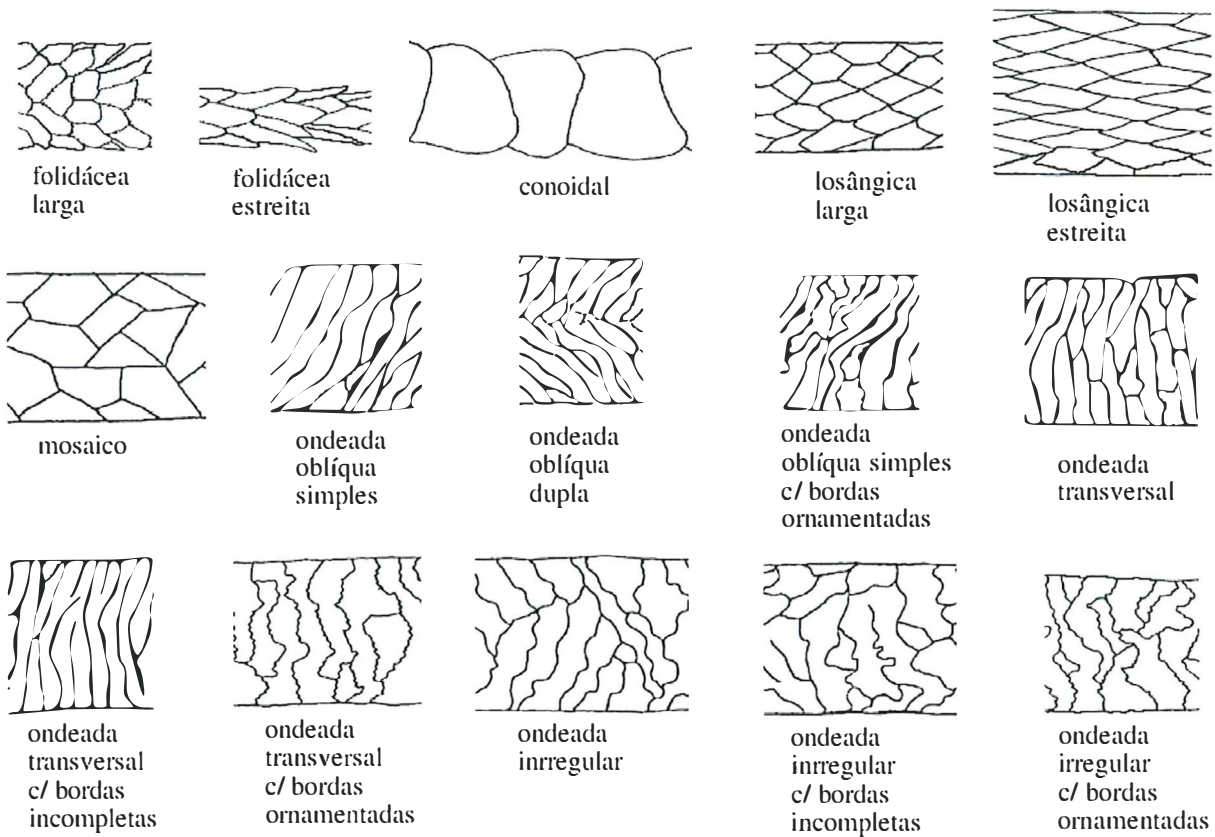


Figura 7 - Padrões de forma das cutículas comuns em pêlos de mamíferos brasileiros – Fonte: (QUADROS, 2002)

classificação. Entretanto, dada à dificuldade em realizar a caracterização das formas da medula com métodos de representação de contornos, este é um tópico que não será coberto neste trabalho.

Outra característica de uso relativamente comum no processo de análise tricológica, o estudo do perfil do pêlo em secções transversais, não será considerado. Os motivos são relacionados à dificuldade em obter cortes precisos em pêlos com diâmetros por vezes diminutos, especialmente para pequenos mamíferos, e ao fato de haver necessidade de destruir o material durante a análise (TÓTH, 2002).

2.1.3 Histórico e evolução da tricologia

Os primeiros estudos visando a utilização dos pêlos para objetivos taxonômicos datam de 1837, (TEERINK, 1991) sendo um grande marco o estudo realizado em 1920 por Hausman (HAUSMAN, 1920). Este apresentou em seu artigo, ricamente ilustrado, um total de 166 espécies algumas exóticas e outras extintas (e.g.: mamute), introduzindo terminologia para descrição dos padrões cuticulares. Também propunha o uso do diâmetro dos pêlos como uma medida auxiliar na identificação de espécie.

Seus estudos seguintes (HAUSMAN, 1924) introduziram referências à medula dos pêlos e expandiram a nomenclatura (sendo utilizada ainda hoje (TEERINK, 1991), além de explorar relações dos diâmetros das escamas entre espécies. Hausman ainda realizou importantes estudos sobre o processo de crescimento de pêlos, estruturas da haste e bulbo e variações do *fusi* na espécie humana. Estes estudos foram complementados posteriormente por Wildman em 1954 (apud Teerink, 1991), embora somente recentemente foram compreendidos os mecanismos de morfogênese dos folículos capilares (CHANG; TSAI; YU, 2005).

Outro grande marco na tricologia foi o trabalho de Benedict (1957). Realizando a descrição dos padrões cuticulares e também medulares. Trata-se do trabalho definitivo sobre *Chiroptera* sendo referenciado até os dias de hoje. Os trabalhos seguintes exploraram a construção de atlas descritivos de variadas espécies, porém sem maiores contribuições científicas para a ciência tricológica. Ainda em *Chiroptera* existem estudos recentes (PIERALLINI; KELLER; MORETTI, 2004) complementando as espécies não descritas anteriormente.

Uma inovação para a área, foi realizada com a introdução do uso de microscopia eletrônica, em 1972 (VERHOEVEN, 1972), onde já se apontava, entre as vantagens, a maior magnificação atingida e fácil visualização dos diferentes tipos de imbricamentos das escamas. Esta grande magnificação

pode revelar detalhes como **dobras** na superfície das escamas (CHERNOVA, 2002), além de poder explorar a arquitetura das camadas concêntricas do córtex (CHERNOVA, 2003) que compõem o pêlo.

Um extra do uso da técnica é a maior facilidade para obter medidas das estruturas do pêlo (MEYER et al., 1997), pois já se gera imagens digitalizadas das lâminas. ROLLINS e HALL (1999) realizaram um estudo comparando técnicas de microscopia ótica com eletrônica para identificação de fibras têxteis de origem animal. Trabalho semelhante, realizado posteriormente por DONN e YATES (2002), afirma ser mais fácil identificar pequenas diferenças nos padrões cuticulares de espécies de caprinos, utilizando microscopia eletrônica. DONN e YATES estudaram um antílope tibetano (*Panthlops hodgsoni*) e cabritos (*Ibex goat*), sendo a primeira espécie ameaçada de extinção (DONN; YATES, 2002) e com restrições para importação de produtos derivados. A técnica de microscopia eletrônica, porém, apresenta algumas limitações, como elevado custo para pequeno número de amostras geradas (impedindo seu uso por programas de monitoramento de diversidade animal em grandes áreas). Além disso, pode criar artefatos (como queima da cutícula do pêlo) inadvertidamente destruindo as amostras de pêlo (CHERNOVA, 2002).

A elaboração de chaves de classificação somente teria início em 1991 por Teerink (TEERINK, 1991) atentando agora para a maior significância dos pêlos guardas para fins taxonômicos. Seu trabalho apresenta imagens de cutícula e medula ao longo do pêlo em 73 espécies do oeste europeu das ordens: *Insectivora*, *Chiroptera*, *Rodentia*, *Lagomorpha*, *Carnivora* e *Artiodactyla*. Propunha ainda a utilidade taxonômica de secções transversais dos pêlos, sendo entretanto este procedimento pouco prático (TÓTH, 2002) devido à dificuldade de fixação do pêlo para o corte. Apesar de estudos anteriores defenderem a análise dos pêlos dos três tipos (guarda, sub-guarda e sub-pêlo) e de várias regiões do corpo (HAUSMAN, 1920), atualmente se reconhece a importância taxonômica somente nos pêlos guardas (TÓTH, 2002) (CHERNOVA, 2002) e retirados da região dorsal ou ventral do corpo do animal (MEYER et al., 1997) (QUADROS; MONTEIRO-FILHO, 1998). Seguiram-se outros trabalhos com chaves de classificação para mamíferos canadenses (WALLIS, 1993) e italianos (DEMARINIS; AGNELLI, 1993) (*Insectivora*, *Rodentia*, *Lagomorpha*). Foram então elaboradas chaves para outras espécies de felinos (OLI, 1993) (CHAKRABORTY; CHAKRABORTY; DE, 1999), primatas/chimpanzé (INAGAKI; TSUKAHARA, 1993), pequenos roedores (BRYCE, 1994) e também eqüinos (KELLER, 1992).

Já em 1924, Hausman (HAUSMAN, 1924) propunha a utilização de algumas medidas quantitativas para auxiliar no processo de classificação tricológica, entre elas diâmetro da haste do pêlo, diâmetro das escamas e razão do diâmetro do pêlo pelo diâmetro da escama. Neste trabalho, ele

afirma haver algumas relações entre o diâmetro do pêlo e dimensão das escamas, de forma que pêlos com menor diâmetro apresentam escamas proporcionalmente maiores, portanto havendo um número menor de escamas por área. Também encontrou indícios sobre estes descritores serem correlacionados à espécie, porém sem relação com grupo taxonômico.

Curiosamente, somente em meados da década de noventa CHAKRABORTY e CHAKRABORTY (1996) trabalhando com cinco espécies de felinos indianos, propõem uma chave de classificação onde se fazia uso de um descritor numérico (índice medular), tendo sido propostos: número de escamas por milímetro (mm) ao longo do pêlo, comprimento dos lados da cutícula (SS), índice medular, comprimento cuticular próximo distal (PD), diâmetro e comprimento do pêlo. Em seu trabalho subsequente (CHAKRABORTY; CHAKRABORTY; DE, 1999), ocorreria a utilização efetiva dos descritores numéricos na chave de classificação (talvez por conta do mesmo ter trabalhado com 11 espécies de felinos). Os mesmos autores (CHAKRABORTY; DE, 2001) viriam a propor uma chave também para *canidae*, estudando cinco espécies: *Canis aureus*, *C. lupus*, *Vulpes vulpes*, *V. bengalensis* e *Cuon alpinus*.

Chernova (CHERNOVA, 2002) (CHERNOVA, 2003) acrescenta na chave de classificação caracteres numéricos como a razão da altura pela largura das escamas. Ao utilizar técnicas de microscopia eletrônica, adicionou duas novas dimensões na análise de padrões tricológicos: dobras na superfície das escamas da cutícula e arquitetura das camadas concêntricas constituintes do córtex. A autora apresenta também em seus trabalhos uma avançada, e relativamente intuitiva, nomenclatura para a cutícula (CHERNOVA, 2002) e medula/córtex (CHERNOVA, 2003), trazendo uma chave de classificação unificada para mais de 345 espécies de mamíferos, conseguindo assim uma generalização na chave de classificação. Entretanto, não se realizou nestes trabalhos (assim como de outros autores) um estudo estatístico do grau de eficiência na classificação com a utilização das chaves criadas.

Tóth (TÓTH, 2002) trabalhando com oito espécies de *Mustelidae* (*Mustela nivalis*, *M. erminea*, *M. putorius*, *M. eversmanni*, *Martes foina*, *Martes martes*, *Meles meles*, *Lutra lutra*) fez uso de descritores numéricos em sua chave de classificação: diâmetro médio do pêlo e índice medular. Realizou também testes estatísticos para aferir diferenças entre as espécies, encontrando significância somente nos descritores comprimento de pêlo (*M. eversmanni* x *M. nivalis*) e diâmetro de pêlo (*M. martes* x *M. foina*), mas não para o índice medular. Entretanto, diâmetro e comprimento de pêlo possuem grande variação **intraespecífica**, desta forma, não seriam bons indicadores para identificação de espécies (CHAKRABORTY; DE, 2001).

Utilizando técnicas de processamento de imagens para gerar medidas (área e perímetro das escamas, razão de comprimento por altura das escamas e número de escamas por milímetro quadrado), (MEYER et al., 1997) conseguiu a formação de “clusters” de observações em dez espécies de cinco grandes ordens de mamíferos (*C. suaveolens*, *R. hipposideros*, *R. rattus*, *O. zibethicus*, *C. lupus*, *V. vulpes*, *L. lutra*, *P. hispida*, *C. elaphus*, *C. capreolus*). O autor relata serem necessários somente dois descritores (entre os quais o número de escamas por área) para obter a formação de “clusters” distintos nas espécies estudadas, embora não tenha prosseguido no estudo para verificar a taxa de sucesso em um eventual processo automatizado de classificação utilizando estes descritores. Em um estudo subsequente, comparando padrões cuticulares de espécies animais silvestres contra domesticadas, afirmam (MEYER et al., 2000) ser inútil para análises comparativas o descritor supracitado defendendo a utilização do diâmetro dos pêlos em conjunto com a área das escamas da cutícula.

O trabalho mais avançado em análise de formas que o autor desta dissertação foi capaz de encontrar utilizava técnicas de morfometria geométrica (SOKOLOV; USHAKOVA; KOLTOVOI, 1997) (SOKOLOV et al., 1999), entretanto as bibliotecas da USP não dispõem de meios para obtenção do artigo na íntegra. Tentou-se o contato direto com os autores do trabalho citado, porém sem sucesso. A referência consultada (resumo de artigo) relata a tentativa de criação de descritores numéricos para caracterização dos padrões cuticulares em pêlos, onde Sokolov afirma haver algumas semelhanças morfológicas relacionadas à família e ordem taxonômicas. Além desse contratempo, deve ser citado que o artigo original foi escrito em russo.

Os caracteres avaliados nas chaves variam, sendo geralmente um subconjunto gerado a partir de:

- morfologia geral;
- padrão cuticular;
- estrutura e camadas do córtex;
- tipo de medula;
- grânulos de pigmentos no córtex;
- presença de esferas de ar no córtex;
- forma em secções longitudinais;
- comprimento do pêlo;

- diâmetro do pêlo ou das escamas;
- cor (macro) e pigmentação da camada cortical (micro);
- dobras na superfície das escamas;

Investigando publicações sobre métodos relacionados à tricológia visando acompanhar populações de mamíferos para estudos de diversidade, identificamos algumas iniciativas novas. Já foram propostos métodos de cromatografia de ácidos bílicos (RODEL; EBERSBACH; STUBBE, 2001) encontrados nas fezes de espécies de marta (*Martes marte* e *M. foina*) da família *Mustelidae*. Estas são espécies simpátricas ¹ e com hábitos semelhantes, tornando a identificação difícil se baseada em rastros ou outros indícios. Entretanto os autores não conseguiram êxito em discriminar espécie. Ainda podemos citar estudos com a proposta de uso de marcador químico *Rodamina B* em armadilhas com iscas, sendo esta uma ferramenta em potencial para levantamentos onde o objetivo primário seja indentificação de indivíduos da mesma espécie (ainda não dispensando captura posterior) (JONES; MOLLER; HAMILTON, 2004). A utilização de meios eletrônicos como câmeras (JONES; MOLLER; HAMILTON, 2004) não pode ser descartada, sendo uma ferramenta importante para comprovação de presença de espécie sem o uso de procedimentos de captura.

Existem trabalhos onde se utilizou isótopos (C13 e N15) para detectar a mudança de dieta em lobos (*Canis lupus*) no Canadá, sendo capaz de indicar quando os animais fizeram uso de alimentos de origem marinha e relacionando isto com a migração do salmão (DARIMONT; REIMCHEN, 2002). Este autor realizou testes com pêlos, sendo o tipo de tecido inerte capaz de mostrar mudanças na dieta e guardando um registro temporal de períodos de disponibilidade de alimento.

A biologia molecular trouxe novas possibilidades para a ecologia animal utilizando diferentes tipos de marcadores de acordo com o objetivo. Métodos não invasivos podem fazer uso de biologia molecular para analisar amostras de DNA presentes em rastros deixados pelos animais, como traços de sangue, fezes e pêlos (GALAN et al., 2003). Os primeiros estudos de identificação de espécies utilizando biologia molecular datam do início dos anos 90, onde Taberlet (TABERLET et al., 1993) utilizou DNA extraído de amostras de pêlos para estudo de sexagem de ursos (*Ursus arctos*) utilizando PCR (Polymerase Chain Reaction: reação de polimerase em cadeia). Existem várias vantagens em utilizar pêlos como fonte de material genético, entre as quais: maior facilidade em obter autorização para trabalho de campo, menores custos para coleta de amostras através de uso de armadilhas de pêlos (SANECKI; GREEN, 2005), material menos sujeito à degradação (ROON;

¹espécies de ocorrência no mesmo habitat ou região

WAITS; KENDALL, 2003).

Posteriormente, Parson (PARSON et al., 2000) utilizando o gene do *citocromo b* conseguiu com sucesso diferenciar as classes de mamíferos, répteis, peixes e aves. Hoje já é possível diferenciar espécies muito semelhantes (GIRÁLDEZ et al., 2005) geneticamente como o *Cervus elaphus* e *Capreolus capreolus* (GALAN et al., 2003) ou cujos pêlos possuam padrões morfológicos semelhantes, tais como raposa (*Vulpes vulpes*) e marta (*Martes martes*) (DAVISON et al., 2002). Métodos moleculares estão sendo utilizados para estimar tamanho de população de determinada espécie identificando os indivíduos a partir de material genético coletado em fezes através do uso de marcadores de microsatélite (EGGERT; EGGERT; WOODRUFF, 2003). Entretanto, torna-se mais eficiente a obtenção de material genético através de amostras de pêlos (FRANTZ et al., 2004) reduzindo o número de ampliações para realizar o perfil dos indivíduos estudados. Kohn (apud (FRANTZ et al., 2004)) trabalhando com coiotes foi pioneiro em desenvolver um modelo matemático para estimar densidade populacional a partir de perfis gerados no material genético, sendo propostos novos modelos de acordo com a espécie estudada (FRANTZ et al., 2004).

Entretanto, existem algumas limitações nestes métodos, notadamente a necessidade de um número expressivo de pêlos. Estudos indicam (GOOSSENS; WAITS; TABERLET, 1998) taxas de erros (falso homocigoto e falso alelo) de 14% se utilizado somente um pêlo para gerar o perfil genético, sendo necessário um número de 10 pêlos para operar em uma faixa segura. Além disso, existe a necessidade do pêlo apresentar o bulbo completo (onde se localiza tecido vivo) para extração de DNA, resultando na destruição do mesmo durante o procedimento. O sucesso em obter amplificação (e o número de vezes necessárias em repetir o processo) é um ponto controverso, havendo relatos (FRANTZ et al., 2004) de sucesso com uma única amplificação em pêlos amostrados no mesmo dia. O intervalo entre a coleta dos pêlos e a extração de DNA é um fator crítico, sendo de apenas duas semanas (ROON; WAITS; KENDALL, 2003) o intervalo para obtenção de 80% de sucesso na amplificação para trechos longos (1000bp mtDNA). Para trechos menores, o período pode ser de até seis meses (ROON; WAITS; KENDALL, 2003), não importando o método de armazenagem dos pêlos (temperatura ambiente ou -20 graus foram os tratamentos testados). Para pêlos com dois anos de idade (GALAN et al., 2003), obtém-se índice de 50% das amostras (oito pêlos geraram material de um total de 15) com leitura das bandas no gel mesmo com dois ciclos de amplificação. Porém, às vezes é impossível obter qualquer resultado.

Dado o processo de obtenção dos pêlos ser remoto (com o uso de armadilhas), outro problema é a contaminação da amostra com pêlos de outra espécie (ou de mais de 1 indivíduo da mesma espé-

cie) gerando perfis genéticos diferenciados, o que pode induzir a erro nas estimativas de densidade populacional e presença de espécies (FRANTZ et al., 2004). No presente momento, estas observações anômalas (FRANTZ et al., 2004) são descartadas, especialmente no caso de contaminação por pêlos de outra espécie.

2.2 Visão artificial

Este capítulo apresenta inicialmente conceitos relacionados à visão artificial e processamento digital de imagens. Discute-se algumas das técnicas utilizadas neste trabalho, apresentando exemplos de aplicação quando necessário.

2.2.1 Visão

Visão artificial é uma área de conhecimento relativamente recente, tendo se consolidado nos últimos 30 anos (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001) (GONZALES; WOODS, 1992). A idéia de criar-se máquinas capazes de realizar tarefas para inspeção visual de atributos do mundo físico é atraente, com diversas possibilidades de aplicação nas áreas de automação industrial, geoprocessamento, segurança, astronomia e, mais recentemente, biologia. A visão artificial utiliza conhecimentos de diversas ciências, notadamente matemática (modelos e operadores), biologia/neurociências (design de sistemas) e estatística (reconhecimento de padrões), tendo como ferramenta básica de trabalho o computador. Graças ao aumento exponencial (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001) da capacidade de processamento dos computadores pessoais, acrescido da diminuição constante dos custos dos mesmos, existem hoje condições reais de aplicação dessas técnicas nas mais variadas áreas do conhecimento (COSTA; CESAR, 2001). Devido ao uso de computadores digitais, a visão artificial faz uso extensivo de técnicas de processamento de imagens digitais para aquisição de dados e extração de informação (GONZALES; WOODS, 1992).

Definir **visão** é uma tarefa difícil, mesmo sendo uma habilidade tão natural para os seres humanos. Existem várias definições, desde “tomar decisões úteis sobre objetos reais baseado em imagens remotas” (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001) até “segmentar objetos de interesse em imagens” (GONZALES; WOODS, 1992). Alguns autores dividem o tema em 2 partes, aquisição/processamento de dados oriundos de sistemas visuais e reconhecimento/compreensão dos mesmos (GONZALES; WOODS, 1992). Pessoalmente, o autor acredita ser visão habilidade de se localizar no meio e com-

prender os objetos presentes ao seu redor.

2.2.2 Imagens e pixels

Imagens podem ser representadas como matrizes discretas com dimensões definidas, sendo as dimensões responsáveis pela resolução da imagem. Os elementos desta matriz são chamados pixels (abreviação de *picture elements*) (SHAPIRO; STOCKMAN, 2001) e assumem valores dentro de uma faixa também discreta. Os valores desta faixa vão depender do número de *bits* utilizados para representar os elementos da imagem, de forma a variar entre 0 a 255 para 8 bits, obedecendo a fórmula:

$$S = \{0, \dots, 2^n - 1\} \quad (2.1)$$

onde:

n = número de bits

As cores podem ser representadas como canais separados na matriz, de forma a haver um canal para cada cor básica (R = red, G = green, B = blue) formando uma matriz bidimensional com três camadas. Existem outros sistemas de representação de cores, embora este seja o mais comumente utilizado. Normalmente, em problemas de visão computacional é comum se trabalhar com escala de tons de cinza, onde se forma uma matriz com única camada através da fórmula abaixo quando a imagem original é em cores:

$$G(i, j) = \frac{C(i, j, 1) + C(i, j, 2) + C(i, j, 3)}{3} \quad (2.2)$$

onde:

G(i,j) = Pixel na i-ésima linha e j-ésima coluna da imagem em tons de cinza;

C(i,j,n) = Pixel na i-ésima linha e j-ésima coluna da imagem colorida na n-ésima camada de cor;

n = camada de cor, no caso são 3.

Para diversos problemas, como extração de contornos e segmentação em geral, as imagens binárias podem ser utilizadas. Estas imagens tem seus pixels representados por valores binários (zero ou um) ² e são obtidas ao se aplicar um *threshold* (ou binarização) sobre uma imagem com

²Geralmente 1 é utilizado para objetos de interesse e 0 para o fundo da imagem

vários níveis de cor, aplicando a fórmula abaixo:

$$B(i, j) = g\{G(i, j)\} = \begin{cases} 1 & (G(i, j) > 0) \\ 0 & (G(i, j) < 0) \end{cases} \quad (2.3)$$

onde:

$B(i, j)$ = Pixel na i -ésima linha e j -ésima coluna da imagem binária;

$G(i, j)$ = Pixel na i -ésima linha e j -ésima coluna da imagem com níveis de cor.

Um problema habitual em processamento de imagens é a dimensionalidade, sendo senso comum que problemas deste tipo envolvem processamento pesado. O motivo decorre da forma de representação do formato das imagens, podendo-se observar a partir das fórmulas acima dois fatores importantes em problemas de visão:

- resolução: seu aumento tem peso quadrático na dimensão da imagem;
- profundidade de cores: seu aumento tem peso exponencial na dimensão da imagem.

Para utilização de técnicas de cálculo e geometria diferencial, é mais conveniente adotar uma representação analítica para imagens. Assim, sendo a imagem representada como uma função bidimensional de intensidade de luz (GONZALES; WOODS, 1992), esta função é dada por:

$$g = g(x, y) \quad (2.4)$$

A partir desta representação, será possível derivar propriedades interessantes para extração de objetos de interesse na imagem.

2.2.3 Segmentação e detecção de bordas

Segmentação é o processo de detecção e separação do conjunto de pixels que constituem o objeto sob análise (COSTA; CESAR, 2001) ou a subdivisão da imagem em suas partes constituintes (GONZALES; WOODS, 1992). Informações de interesse visual frequentemente se localizam em regiões de diferenças de contraste entre o objeto de estudo na imagem e o fundo, sendo uma abordagem para encontrar estas regiões a detecção de bordas. Esta se baseia na propriedade da descontinuidade dos valores dos pixels da imagem (GONZALES; WOODS, 1992), sendo uma borda a redondeza entre duas regiões com propriedades de valor de pixel distintas.

A detecção de borda é realizada utilizando a primeira derivada (ou de segunda ordem: Laplaciano) do sinal (COSTA; CESAR, 2001). No primeiro caso, a borda é encontrada aplicando um *threshold* nos valores dos pixels da imagem após a aplicação de uma função (ou filtro ou ainda máscara)³ de derivada. No segundo caso, a borda é encontrada ao se analisar “os cruzamentos em zero” (em inglês “zero crossings”) ou ponto de mudança do sinal dos pixels da imagem após a aplicação da função.

A primeira derivada em qualquer ponto da imagem pode ser obtida com a magnitude do gradiente. O gradiente da imagem (ver 2.2.2) (aproximação da derivada direcional) é dada por (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 1963):

$$\vec{\nabla}g = i\frac{\partial g}{\partial x} + j\frac{\partial g}{\partial y} \quad (2.5)$$

Baseado em 2.5 podemos representar em uma forma mais conveniente (PISKOUNOV, 1978):

$$\vec{\nabla}g = \left(i\frac{\partial}{\partial x} + j\frac{\partial}{\partial y} \right) g \quad (2.6)$$

E a magnitude da função por (TENENBLAT, 1990) e (COSTA; CESAR, 2001):

$$\|\vec{\nabla}g\| = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} \quad (2.7)$$

A convolução é uma operação envolvendo duas funções $g(t)$ e $h(t)$, produzindo como resultado uma terceira função $q(\tau)$ como (COSTA; CESAR, 2001)

$$q(\tau) = g(\tau) * h(\tau) = (g * h)(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t)h(\tau - t) dt \quad (2.8)$$

permitindo combinar as duas funções, fornecendo a base para diversos filtros.

Pode-se utilizar convolução por um operador linear (ou máscara) para realizar a diferenciação em uma imagem, onde se faz uma filtragem linear através da convolução de uma matriz específica com a matriz da imagem. Abaixo seguem exemplos de máscaras utilizadas para detecção de bordas.

$$\Delta x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

³Neste trabalho função/filtro e imagem/sinal poderão ser utilizados concomitantemente

$$\Delta y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

Apesar de ser simples a implementação, a diferenciação por operadores tem algumas desvantagens. O método é na verdade uma aproximação do cálculo das derivadas, como resultado possui maior imprecisão. Além disso, para máscaras maiores ($n > 8$) a carga de processamento rapidamente se torna proibitiva, pois o tempo aumenta quadraticamente com as dimensões da máscara.

Existem outras maneiras para realizar a detecção de bordas em imagens, como através de Fourier ou então por transformada *Wavelet* (MALLAT; ZHONG, 1992) (SHIN; TSENG, 2005). Estes métodos têm em comum o fato de serem mais precisos e eficientes no processamento, embora a implementação não seja trivial. Neste trabalho foi utilizada a detecção de bordas com transformada de Fourier (ver 2.3.4). Obtendo-se sucesso relativo no fechamento dos contornos das escamas dos pêlos, quando seguido de operadores morfológicos (ver 2.2.4) para dilatação dos pixels das bordas. A imagem 8 mostra o resultado da técnica em uma imagem de pêlo de raposa (*Vulpes vulpes*).

2.2.4 Morfologia

Operadores morfológicos podem ser utilizados para filtragem de ruído, união e separação de regiões na imagem, detecção de extremidades (INTEL CORPORATION, 2001) e associação de padrões (COSTA; CESAR, 2001). Trata-se de uma teoria de análise de imagens baseada em conjuntos, não linear, lidando geralmente com dados discretos em termos de operações de conjuntos (COSTA; CESAR, 2001). As duas operações morfológicas básicas são erosão/afinamento e dilatação/engrossamento⁴, sempre originando uma nova imagem, cujos pixels são o resultado dos pixels da imagem original após um processamento onde se considerava os pixels da vizinhança (COSTA, 2001).

O resultado da dilatação é a expansão das formas na imagem de entrada, havendo sempre uma imagem f e um elemento estruturante g , sendo muito útil para ajudar no fechamento de contornos. Pode-se considerar como a operação onde o elemento estruturante é transladado sobre cada pixel da imagem (COSTA; CESAR, 2001). Trata-se de uma tarefa demorada, pois deve-se varrer a imagem linha a linha examinando a vizinhança (COSTA, 2001). A fórmula abaixo ilustra a representação

⁴Os termos em inglês são *erosion/thinning* e *dilation/thickening*

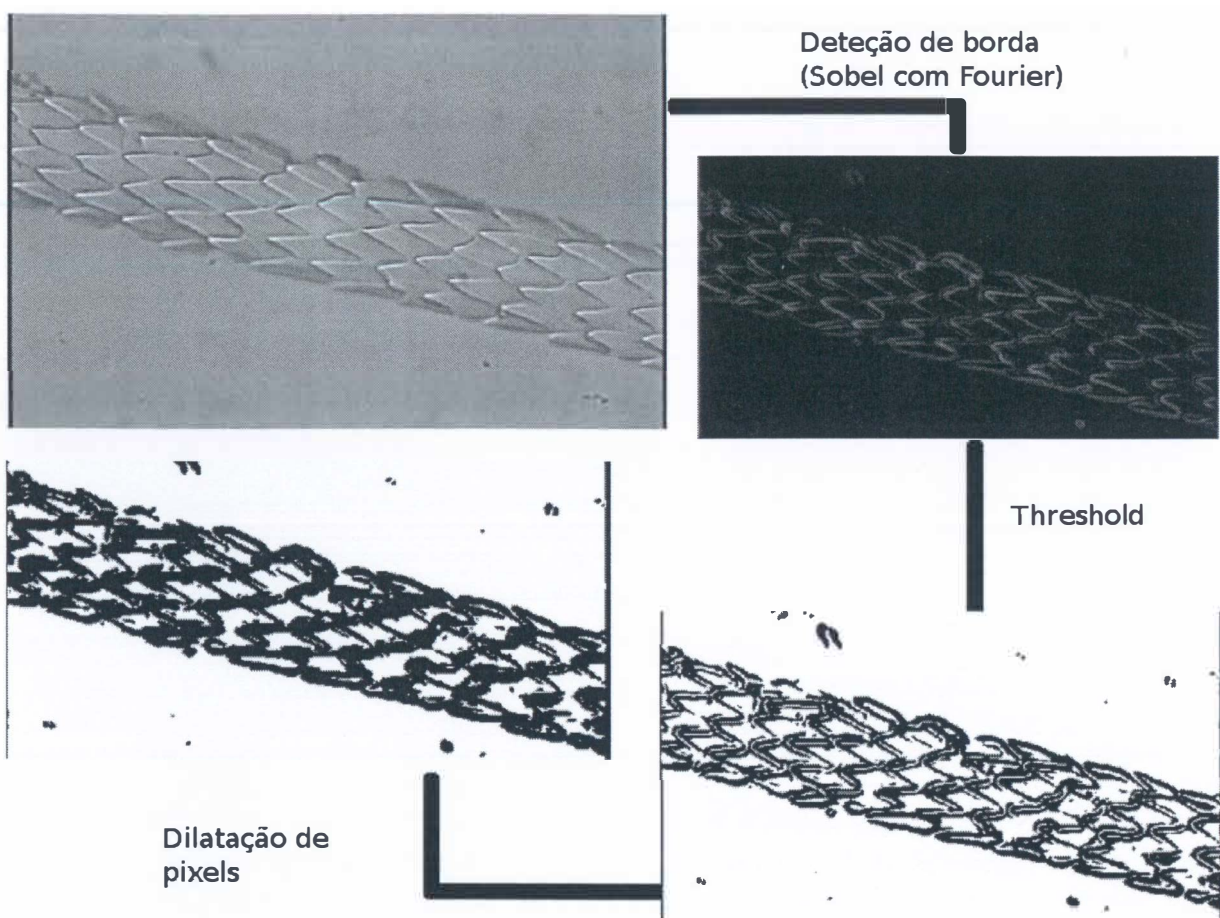


Figura 8 - Detecção dos contornos das escamas da cutícula de raposa (*Vulpes vulpes*): após o filtro, deve-se realizar um *threshold* seguido por dilatação/erosão de pixels para fechamento dos contornos.

matemática para a operação de dilatação:

$$\delta_g(f) = \{p | g_p \cap f \neq \emptyset\} \quad (2.9)$$

A erosão tem como resultado prático a diminuição das formas na imagem, atuando nas extremidades internas e externas dos contornos e ajudando a remover ruído (no caso de lâminas de pêlos, filamentos ou outras impurezas na imagem). Similarmente à dilatação (COSTA; CESAR, 2001), a erosão pode ser representado como:

$$\varepsilon_g(f) = \{p | g_p \subset f\} \quad (2.10)$$

É importante observar como a escolha do elemento estruturante pode afetar os resultados. Além disso, o processo pode ser interativo, havendo ciclos de dilatação para o fechamento dos contornos seguidos por ciclos de erosão para afinar os contornos (havendo o cuidado de não modificar demasiadamente a topologia dos objetos da imagem).

2.3 Análise de formas

Este capítulo descreve tópicos de análise de formas e métodos de estudo de curvatura com geometria diferencial. Apresenta os descritores utilizados para caracterização de forma e algumas de suas propriedades.

2.3.1 Conceito de forma

A forma de objetos é um atributo essencial para os seres vivos, representando vantagens competitivas entre espécies (se um pássaro possui um bico mais delgado pode ser incapaz de se alimentar de sementes duras). Pequenas mudanças de forma em partes do corpo (garras, maxilares, bicos) podem se revelar essenciais para a sobrevivência de animais, levando, em um cenário de evolução, ao surgimento de novas espécies e co-evolução entre insetos e plantas.

A forma e a proporção envolvem aspectos práticos (válidos para a arquitetura) e estéticos (interessantes para as artes). Povos antigos já conheciam relações matemáticas nas formas, os antigos egípcios conheciam a proporção áurea⁵ utilizada na construção das pirâmides (WIKIPÉDIA, 2005f),

⁵ $\frac{X}{Y} = \frac{Y}{X+Y}$ podendo-se obter X e Y a partir da Progressão de Fibonacci ($\frac{X}{Y} = 0,618$)

sendo posteriormente definida por Euclides (FERRAZ, 2005).

Apesar de ser um tema importante para as ciências biológicas e quantitativas, a tentativa de sua caracterização como ciência formal é recente.

Definir “forma” é uma tarefa complexa, dado ser comum as pessoas descreverem as formas de um objeto em analogia a outro objeto. Uma definição possível é “todas as propriedades de uma configuração de pontos que não se alteram por efeitos de tamanho, posição e orientação” (MONTEIRO; REIS, 1999). Esta definição contempla, de forma subjacente, propriedades invariantes a transformações geométricas simples e apesar de capturar parte da complexidade compreendida pelo ser humano em formas, ela efetivamente não define o que um objeto é. Lembremos também que mesmo objetos submetidos a processos de distorção, ruído e projeção ainda podem ser reconhecidos por pessoas (COSTA; CESAR, 2001).

Uma definição mais abrangente deve considerar os fatores: definir o que é um objeto e permitir equivalência de formas entre objetos submetidos a diferentes transformações. Assim, considerando estes fatores, é possível utilizar a definição para forma como sendo “qualquer conjunto de pontos conectados” (COSTA; CESAR, 2001). Esta definição é adequada, pois engloba formas contínuas e discretas (amostradas em um certo intervalo de espaço, caso típico para processamento digital). Porém pode falhar em casos onde uma forma (ex: um rosto) será representada como um grupo de formas.

Devido ao princípio de obtenção de imagens digitais (seja por câmeras ou por scanners), as formas serão representadas por um conjunto de retas ou vetores conectados descrevendo as curvas que formam o objeto em estudo. As curvas podem ser então classificadas em (COSTA; CESAR, 2001):

- abertas ou fechadas: sendo fechada a curva cujo último elemento coincide com o primeiro;
- suaves ou não: havendo o requisito de existência de suas derivadas;
- regular ou irregular: devendo haver um valor não nulo para todos os pontos da primeira derivada da curva (TENENBLAT, 1990) (ver 2.3.2).

A classificação possui como grande obstáculo a dimensionalidade. No caso da representação das formas como curvas, o número de dimensões será igual à quantidade de pontos da curva (BISHOP, 1995). No caso de imagens, o número de dimensões corresponde ao número de pixels. Acrescente-se às várias combinações possíveis a faixa de valores que cada dimensão pode apresentar e logo se verifica que o espaço de busca explode rapidamente (BISHOP, 1995).

Para obter êxito em qualquer problema de classificação, é fundamental um esforço para reduzir a dimensionalidade do problema (MONTEIRO; REIS, 1999). Buscando reduzir este número de combinações, a caracterização das formas pode ser realizada através de descritores de forma, cujo objetivo primário é capturar propriedades importantes das formas. Os descritores de forma podem ser gerados diretamente a partir dos contornos do objeto ou a partir de outros descritores de forma, calculados previamente. Podem ser medidas simples (como área) ou complexas (como curvatura), apresentando maior ou menor capacidade de representar a forma estudada (maiores detalhes, ver 2.3.4).

Exemplificando, dado um certo descritor X (ex: curvatura), pode-se derivar outros descritores para a forma tais como a média, mediana, desvio padrão, valores máximo X_{max} e mínimo X_{min} , razão $\frac{X_{max}}{X_{min}}$, entre outros.

A importância de um descritor de forma também varia com o objetivo do estudo e as classes (espécies) presentes na análise. Descritores eficientes para distinguir espécies semelhantes podem ser inadequados para espécies diferentes, o que evidencia a necessidade de avaliação da eficiência dos descritores em cada caso estudado.

2.3.2 Geometria diferencial

A geometria diferencial é uma área da matemática que liga os campos da álgebra linear, cálculo diferencial e geometria (COSTA; CESAR, 2001), permitindo que conceitos dos dois primeiros campos sejam expressados de forma visual (geométrica). Conceitos importantes na caracterização de formas, como curvatura, pontos salientes, perímetro e suavidade podem ser descritos e analisados prontamente pela geometria diferencial (COSTA; CESAR, 2001). Assim, esta área da matemática fornece uma fundação sólida para análise de formas.

A geometria diferencial de curvas e superfícies se divide em clássica e global (CARMO, 1976). A primeira estuda as propriedades locais (dependentes apenas do comportamento da curva/superfície na vizinhança de um ponto) e a segunda estuda a influência das propriedades locais na curva/superfície inteiras. Como nosso interesse é gerar descritores globais para um dado contorno fechado, serão utilizados neste trabalho conceitos de geometria diferencial global.

Uma curva paramétrica pode ser compreendida como a evolução de um ponto (ou partícula) ao longo de um espaço 2D (COSTA; CESAR, 2001), havendo a descrição de sua evolução pelas coordenadas dos pontos por onde a partícula passou, em função de uma variável independente t

(o parâmetro da curva) (TENENBLAT, 1990). Assim, uma curva paramétrica pode ser representada como

$$\vec{p}(t) = (x(t), y(t)) \quad (2.11)$$

onde \vec{p} é o vetor cuja posição expressa a localização da partícula no instante t .

A primeira derivada da curva paramétrica 2.11 é obtida pelas primeiras derivadas de seus componentes,

$$\dot{\vec{p}}(t) = (\dot{x}(t), \dot{y}(t)) \quad (2.12)$$

e descreve a velocidade da curva, havendo necessidade da curva ser diferenciável. Existindo um valor não nulo para todos os pontos da primeira derivada (ou seja, a velocidade nunca sendo zero), a curva será chamada regular (TENENBLAT, 1990).

A segunda derivada de 2.11 é obtida pelas segundas derivadas de seus componentes

$$\ddot{\vec{p}}(t) = (\ddot{x}(t), \ddot{y}(t)) \quad (2.13)$$

definindo a aceleração da partícula cuja trajetória é descrita pela equação paramétrica.

O comprimento de arco (ou perímetro) de um determinado trecho na curva com origem em t_0 estendendo-se até um ponto t pode ser calculado

$$s(t) = \int_{t_0}^t \sqrt{(\dot{x}(t))^2 + (\dot{y}(t))^2} \quad (2.14)$$

A curvatura da curva em t pode ser calculada em um caso geral (MOKHTARIAN; MACKWORTH, 1992) (CESAR; COSTA, 1996) como

$$k(t) = \frac{\dot{x}(t)\ddot{y}(t) - \ddot{x}(t)\dot{y}(t)}{(\dot{x}^2(t) + \dot{y}^2(t))^{\frac{3}{2}}} \quad (2.15)$$

sem a necessidade de parametrização por comprimento de arco (COSTA; CESAR, 2001).

Este é um dos mais importantes descritores de contornos (COSTA; CESAR, 2001), guardando um significado biológico grande em relação ao sistema de visão humano. A percepção visual humana guarda relevância para eventos transientes (pontos de mudança) e assimetrias (Attneave, 1954 apud (COSTA; CESAR, 2001)), tendo demonstrado em seus experimentos que cantos e dobras (máxima curvatura) induzem maiores erros em tentativas de predição do contorno, por concentrarem maior informação. Com a curvatura é possível identificar pontos de inflexão, cantos convexos ou côncavos, retas (COSTA; CESAR, 2001) e finalmente complexidade, como medida global de uma

forma (CESAR; COSTA, 1998).

O cálculo da curvatura de um sinal discreto (pois estamos trabalhando com contornos extraídos de imagens digitais) é um problema difícil, por exigir o cálculo das segundas derivadas (YANG et al., 2005) dos componentes da curva paramétrica. Além disso, não há a representação analítica do contorno de onde seria possível uma resolução algébrica para as derivadas e se torna necessária a diferenciação numérica (COSTA; CESAR, 2001). O primeiro problema é resolvido utilizando a propriedade de derivada de Fourier (ver 2.3.4) e o segundo é resolvido com uso de filtro passa-baixa no sinal (ver 2.3.5).

A estimativa da curvatura pode se dar através de duas abordagens básicas:

- definição de medidas alternativas de curvatura baseadas nos ângulos entre os vetores definidos em termos de elementos do contorno discreto;
- interpolação de $x(t)$ e $y(t)$ e diferenciação das curvas interpoladas;

Na segunda abordagem, existem métodos alternativos para o cálculo das derivadas. Estes podem se basear em diferenças finitas (COSTA; CESAR, 2001) ($\dot{x}(t) = x(n) - x(n - 1)$), na convolução com alguma função de propriedades conhecidas, primeira e segunda derivadas da gaussiana (MOKHTARIAN; MACKWORTH, 1992) ou então primeira e segunda derivada de uma função B-spline (YANG et al., 2005) e finalmente no uso da propriedade de derivada de Fourier (CESAR; COSTA, 1996). Esta última abordagem foi utilizada neste trabalho por apresentar maior eficiência à convolução simples e maior precisão (ver 2.3.4).

Especialmente a energia de dobramento (ou energia da borda⁶) inicialmente proposta por I. T. Young (COSTA; CESAR, 2001) guarda grande similaridade com a percepção humana da “complexidade” de uma forma como demonstrado (CESAR; COSTA, 1998) em estudos com neurônios (células ganglionares da retina). Além disso, deriva da inspiração física da teoria da elasticidade, expressando a quantidade de energia necessária para transformar um dado contorno fechado em um círculo com o mesmo perímetro do contorno original. Sua representação contínua é

$$B = \frac{1}{P} \int k(t)^2 dt \quad (2.16)$$

sendo

P = contorno do perímetro

⁶Em inglês *bending energy* ou então *boundary energy*

2.3.3 Descritores comuns

Nesta seção são apresentados descritores de forma gerais, de onde se deriva uma idéia da dimensão do objeto. Os mesmos são calculados em função da dimensão de pixel da imagem, não havendo necessidade de conversão para escala métrica, pois na etapa da classificação considerou-se importante ter todos os descritores com a mesma unidade de medida. Se requerida, a conversão dos valores de pixel para escala métrica é trivial.

Entre os descritores utilizados para caracterização das escamas da cutícula dos pêlos, este trabalho fez uso dos seguintes descritores:

- Área: dado um polígono fechado qualquer, sua área pode ser calculada por (BOURKE, 2005)

$$\frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (2.17)$$

- Perímetro: encontrada a representação digital do contorno, seu perímetro é simplesmente o número de pontos presentes na curva. Uma maneira alternativa de cálculo (caso seja adotada a representação complexa as coordenadas do contorno) é (COSTA; CESAR, 2001)

$$P = \sum_{n=0}^{N-1} \|g(t) - g(t-1)\| \quad (2.18)$$

- Centróide: o centro de gravidade (ou baricentro) de um polígono pode ser calculado por (COSTA; CESAR, 2001)

$$M = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} g(t)}{N} \quad (2.19)$$

- Distâncias ao centróide: a distância de um ponto ao centróide pode ser calculada como

$$D = \|g(t) - M\| = \sqrt{(x_p - x_c)^2 + (y_p - y_c)^2} \quad (2.20)$$

Onde

x_p = coordenada x do ponto

x_c = coordenada x do centróide

y_p = coordenada y do ponto

y_c = coordenada y do centróide

- Razão das distâncias: definida como a razão da distância máxima do centróide D_{max} pela

distância mínima ao centróide D_{min}

$$R_{dist} = \frac{D_{max}}{D_{min}} \quad (2.21)$$

- Diâmetro: definido como a maior distância entre dois pontos em uma forma, pode ser calculado pelo código presente no anexo 3.

2.3.4 Transformada de Fourier

Transformações matemáticas são aplicadas em sinais para obter representações diferenciadas ou alternativas deste sinal (ou contornos) que não estejam prontamente disponíveis no sinal original (POLIKAR, 2005). Geralmente, as informações se apresentam no domínio temporal, o sinal é uma medição ao longo do tempo (sua abscissa é o tempo e a ordenada pode ser qualquer unidade de amplitude). Um gráfico deste tipo de sinal é uma representação tempo-amplitude (POLIKAR, 2005), o que nem sempre corresponde à melhor representação do sinal, dependendo do tipo de informação procurada.

É comum a informação mais interessante estar escondida no componente de frequência do sinal. O espectro de frequência é formado pelos componentes espectrais (ou de frequência). A frequência é medida em hertz, ciclos por segundo, como na fórmula 2.22.

$$F_{\{hz\}} = \frac{c}{t} \quad (2.22)$$

onde

c =ciclos

Uma maneira de medir a frequência de um sinal é através da transformada de Fourier. Nesta transformada, dado um sinal no domínio do tempo obtém-se uma representação deste sinal em frequência/amplitude (POLIKAR, 2005). Uma representação gráfica do sinal transformado terá na abscissa a frequência e na ordenada a amplitude, mostrando quanto de cada frequência ocorre no sinal.

A transformada de Fourier recebe este nome em homenagem a Joseph Fourier (★ 1768 - †

1830) que descreveu a série de Fourier ⁷ ao trabalhar com a equação de calor ⁸ em 1807 e 1811, publicando seu trabalho “Théorie analytique de la chaleur” em 1822 (WIKIPÉDIA, 2005c). A série de Fourier permite representar qualquer função periódica como a soma de outras funções periódicas, onde se aproxima uma função $f(x)$ usando um polinômio trigonométrico ou série trigonométrica (PISKOUNOV, 1978) de grau N (WILLIAMSON; CROWELL; TROTTER, 1972), sendo definida

$$f_N(x) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^N (a_k \cos kx + b_k \sin kx) \quad (2.23)$$

e com período da função definido no intervalo $-\pi \leq x \leq \pi$, seus coeficientes serão definidos por

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \cos kx dx$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(x) \sin kx dx$$

A transformada contínua de Fourier é uma generalização das séries de Fourier, que mapeia uma função $g(t)$ não necessariamente periódica (COSTA; CESAR, 2001) em outra função $G(f)$ um espectro contínuo de frequências que constitui a função original (WIKIPÉDIA, 2005a). Apresenta várias propriedades interessantes com aplicações científicas nas áreas de: processamento de sinais (COSTA; CESAR, 2001), física, teoria dos números, probabilidade, estatística, criptografia, acústica, oceanografia, ótica e geometria (WIKIPÉDIA, 2005a). Este amplo espectro de aplicação é derivado de algumas de suas propriedades:

- Linearidade: a transformada é um operador linear;
- Inversa: além de inversível, sua forma é quase a mesma que da transformada;
- Eficiência: pode ser calculada eficientemente em computadores com a FFT (*Fast Fourier Transform*). ⁹

⁷Embora tenha se baseado em trabalhos de D’Alembert (* 1717 - † 1783), L. Euler (* 1707 - † 1783), D. Bernoulli (* 1700 - † 1782). (WIKIPÉDIA, 2005e) (COSTA; CESAR, 2001)

$$\text{A equação de calor é } \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} = \alpha \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t}$$

⁹A FT exige $O(n^2)$ operações e a FFT exige $O(n \log_2 n)$, o algoritmo mais comum foi descoberto por J. W. Tukey e J. W. Cooley em 1965 (WIKIPÉDIA, 2005b) (PRESS et al., 1992)

A sua versão 1D é dada por

$$G(f) = \mathfrak{S}\{g(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.24)$$

e sua inversa é (observe a mudança no sinal):

$$g(t) = \mathfrak{S}^{-1}\{G(f)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} G(f)e^{j2\pi ft} dt \quad (2.25)$$

A função original e sua inversa são geralmente representadas por um **par de Fourier** (COSTA; CESAR, 2001) (PRESS et al., 1992),

$$g(t) \leftrightarrow G(f) \quad (2.26)$$

A transformada de Fourier 2D é dada por (COSTA; CESAR, 2001):

$$G(u, v) = \mathfrak{S}\{g(x, y)\}_{u, v} = \int \int g(x, y) \exp(-j2\pi(ux + vy)) dx dy$$

Devido às propriedades citadas, *descritores de Fourier* oferecem vantagens para representar formas, daí seu largo emprego na área de visão artificial e reconhecimento de padrões (COSTA; CESAR, 2001). Esta é uma denominação ampla para vários métodos de obtenção de descritores baseados no resultado da transformada de Fourier sobre o contorno da forma (ZHANG; LU, 2001), utilizando-se os coeficientes transformados para geração dos descritores de Fourier (COSTA; CESAR, 2001).

Existem duas maneiras de realizar a representação da forma. A primeira, proposta por Zhan e Roskies em 1972 (BOEUF; BELIN; MAÎTRE, 2005) (COSTA; CESAR, 2001), utiliza uma transformação em espaço tangente. Através de coordenadas polares, o contorno é representado representado como o comprimento de arco a partir de um ponto de origem até um ponto determinado. Uma função descreve a variação angular da reta tangente entre estes pontos. A outra maneira utiliza uma representação do contorno como um sinal complexo periódico (pois o contorno é fechado) da forma $g(t) = x(t) + jy(t)$ proposta por Granlund em 1972 (BOEUF; BELIN; MAÎTRE, 2005) (COSTA; CESAR, 2001) sendo sua transformada (COSTA; CESAR, 2001)

$$FD(f) = G(f) = \frac{1}{L} \int_0^L g(t)e^{-j2\pi st/L} dt \quad (2.27)$$

e sua inversa é obtida com a mudança do sinal no expoente da parte complexa (ver 2.25).

Esta representação tem vantagens herdadas diretamente das propriedades de Fourier. O com-

ponente na posição zero (0-ésimo elemento) tem relação direta com o centróide do sinal (COSTA; CESAR, 2001). Além disso, a maior parte das informações do contorno se localiza ao longo dos primeiros coeficientes (os de baixa frequência).

Utilizando estas propriedades é possível obter invariância à escala, rotação e translação. Alguns autores (KUNTTU et al., 2003) propõem a diferença das coordenadas do contorno pelo centróide do objeto ($g_i(t) = (x(t) - x_c(t)) + j(y(t) - y_c(t))$) ou então (ZHANG; LU, 2001) o uso de uma função de distâncias do centróide ($r_i = \|g_i(t)\|$). Uma maneira mais elegante de se obter invariância é pelo uso da normalização

$$NFD(f) = \begin{cases} 0; & f = 0 \\ \frac{G(f)}{G(1)} & f \neq 0 \end{cases} \quad (2.28)$$

definindo o descritor de Fourier normalizado (NFD = *Normalized Fourier Descriptor*).

Assim, a partir de 2.28 é possível definir descritores de Fourier invariantes (IFD = *Invariant Fourier Descriptor*) como

$$IFD(f) = \|NFD(f)\| \quad (2.29)$$

No presente trabalho, os descritores de Fourier foram utilizados para derivar dois descritores, a Função de Energia Acumulada de Fourier (FE = *Fourier Energy*)

$$E(f) = \sum_{i=0}^f \|FD(f)\|^2 \quad (2.30)$$

e a Energia do Descritor de Fourier Normalizado (NFDE = *Normalized Fourier Energy Descriptor*)

$$E_{FD} = \sum_{f=-(\frac{N}{2})+1}^{\frac{N}{2}} \|NFD(f)\|^2 \quad (2.31)$$

A transformada de Fourier possui várias propriedades interessantes e entre elas destacamos a convolução. Dado dois pares de Fourier $g(t) \leftrightarrow G(f)$ e $h(t) \leftrightarrow H(f)$ (ver 2.26), a transformada de Fourier $\mathfrak{F}\{q(\tau)\}$ da convolução de duas funções $q(\tau) = g(\tau) * h(\tau)$ é igual ao produto de suas transformadas individuais (PRESS et al., 1992), como abaixo (COSTA; CESAR, 2001)

$$(g * h)(t) \leftrightarrow G(f)H(f) \quad (2.32)$$

assim, pode-se obter a convolução de duas funções a partir da transformada inversa da representa-

ção de Fourier de seus sinais

$$q(\tau) = \mathfrak{F}^{-1}\{G(f)H(f)\} \quad (2.33)$$

permitindo executar a operação de convolução como um produto direto. Esta propriedade foi utilizada no caso unidimensional para filtragem gaussiana dos contornos (obtendo a propriedade multiescala, maiores detalhes ver 2.3.5) e nas imagens como filtro passa-baixa (ver imagem 8).

Outra propriedade pesadamente utilizada neste trabalho foi a propriedade de derivada. Para o caso unidimensional é

$$\frac{d^a g(t)}{dt^a} = D_a(f)G(f) \quad (2.34)$$

onde $D_a(f) = (j2\pi f)^a$

E para o caso bidimensional (COSTA; CESAR, 2001):

$$\left(\frac{\partial}{\partial x}\right)^n \left(\frac{\partial}{\partial y}\right)^n g(x,y) \leftrightarrow (j2\pi u)^n (j2\pi v)^n G(u,v) \quad (2.35)$$

Estas propriedades são extremamente úteis, pois possibilitam a solução de equações diferenciais parciais. Permitem também o cálculo de integrais, bastando inverter o sinal (COSTA; CESAR, 2001). Assim é possível traduzir equações diferenciais em equações algébricas, mesmo quando multivariadas (WIKIPÉDIA, 2005a).

Nesta dissertação, esta propriedade foi utilizada para realizar a detecção de bordas (ver 2.2.3) nas imagens processadas, em conjunto com a propriedade da convolução. Também para o cálculo de alguns descritores de forma, notadamente de geometria diferencial (ver 2.3.2).

Para o caso das curvas paramétricas $\vec{p}(t) = (x(t), y(t))$, tem-se $X(f)$ como a transformada do primeiro componente $x(t)$ da curva paramétrica. Portanto, baseado em 2.11 e 2.34 tem-se

$$X(f) = \mathfrak{F}\{x(t)\} = \int x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.36)$$

Utilizando a propriedade de derivada da transformada de Fourier (ver 2.34) é possível calcular as derivadas de curvas paramétricas. Sendo então a transformada de Fourier da primeira derivada do componente $x(t)$ da curva paramétrica

$$\mathfrak{F}\{\dot{x}(t)\} = (j2\pi f)X(f) \quad (2.37)$$

lembrando a definição de derivada da curva paramétrica, pode-se obter sua derivada a partir da

derivada de seus componentes (ver 2.12).

A primeira derivada do primeiro componente da curva paramétrica é definida como a transformada inversa de fourier de 2.37

$$\dot{x}(t) = \mathfrak{S}^{-1}\{(j2\pi f)X(f)\} \quad (2.38)$$

O mesmo princípio se aplica para obtenção da segunda derivada $\ddot{x}(t)$ (ver 2.13), sendo

$$\mathfrak{S}\{\ddot{x}(t)\} = -(2\pi f)^2 X(f) \quad (2.39)$$

$$\ddot{x}(t) = \mathfrak{S}^{-1}\{-(2\pi f)^2 X(f)\} \quad (2.40)$$

Seguindo o mesmo desenvolvimento, o segundo $y(t)$ componente da curva paramétrica $\vec{p}(t)$ terá suas derivadas definidas por

$$\dot{y}(t) = \mathfrak{S}^{-1}\{(j2\pi f)Y(f)\} \quad (2.41)$$

$$\ddot{y}(t) = \mathfrak{S}^{-1}\{-(2\pi f)^2 Y(f)\} \quad (2.42)$$

Obtidas as derivadas para os componentes da curva paramétrica, torna-se simples o cálculo da curvatura, bastando substituir em 2.15

$$\begin{aligned} k(t) &= \frac{\mathfrak{S}^{-1}\{\dot{X}\}\mathfrak{S}^{-1}\{\ddot{Y}\} - \mathfrak{S}^{-1}\{\ddot{X}\}\mathfrak{S}^{-1}\{\dot{Y}\}}{(\mathfrak{S}^{-1}\{\dot{X}\}^2 + \mathfrak{S}^{-1}\{\dot{Y}\}^2)^{\frac{3}{2}}} \\ &= \frac{\mathfrak{S}^{-1}\{(j2\pi f)X(f)\}\mathfrak{S}^{-1}\{-(2\pi f)^2 Y(f)\} - \mathfrak{S}^{-1}\{-(2\pi f)^2 X(f)\}\mathfrak{S}^{-1}\{(j2\pi f)Y(f)\}}{(\mathfrak{S}^{-1}\{(j2\pi f)X(f)\}^2 + \mathfrak{S}^{-1}\{(j2\pi f)Y(f)\}^2)^{\frac{3}{2}}} \\ &= \frac{\mathfrak{S}^{-1}\{fX(f)\}(t)\mathfrak{S}^{-1}\{f^2 Y(f)\}(t) - \mathfrak{S}^{-1}\{f^2 X(f)\}(t)\mathfrak{S}^{-1}\{fY(f)\}(t)}{[(\mathfrak{S}^{-1}\{fX(f)\}(t))^2 + (\mathfrak{S}^{-1}\{fY(f)\}(t))^2]^{\frac{3}{2}}} \end{aligned}$$

2.3.5 Métodos multiescala

Eventos interessantes costumam ocorrer em escalas diferentes no tempo, podendo haver singularidades de pequena duração com grande quantidade de informação. Por outro lado, também existem situações onde se deseja analisar tendências de maior duração ao longo tempo, sem interferências de ruídos ou oscilações pouco significativas. Métodos multiescala permitem acrescentar um parâmetro contínuo ao sinal analisado, permitindo variar a escala estudada de acordo com o

objetivo.

A idéia básica dos métodos multiescala é: dado um sinal $g(t)$ descrevendo o fenômeno estudado, este será analisado por uma transformada multiescala $G(f, \tau)$ onde os parâmetros são:

- f : associado com o parâmetro t (tempo ou espaço);
- τ : associado com a escala de análise.

Uma analogia útil seria a análise do sinal com um microscópio, onde se pode trabalhar com um aumento pequeno (grande escala, visão global) gerando uma impressão geral do objeto. Se são desejados maiores detalhes, pode se utilizar de um aumento maior (pequena escala, visão detalhes).

Uma função comumente utilizada é a Gaussiana, sendo o seu par de Fourier

$$u_{\sigma}(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(\frac{-t^2}{2\sigma^2}\right) \leftrightarrow U_{\tau}(f) = \exp\left(\frac{-(2\pi)^2 f^2}{2\tau^2}\right) \quad (2.43)$$

onde $\tau = \frac{1}{\sigma}$

É importante observar ser σ associado à escala da análise, enquanto τ está associado à frequência de banda filtro. Por serem inversamente proporcionais, pode-se afirmar que grandes escalas estão associadas a pequenas frequências (e vice-versa).

O cálculo de derivadas pode ser considerado um filtro passa-alta, ou seja, ele permite que componentes de alta frequência apareçam no sinal filtrado. Ruídos costumam ser associados a altas frequências, portanto a aplicação de um filtro passa-alta tende a aumentar a quantidade de ruído encontrado no sinal. Uma maneira de contornar este problema, e obter o aspecto multiescala na análise, é aplicar um filtro gaussiano (passa-baixa) sobre o sinal após o cálculo das derivadas. Variando o parâmetro σ gera-se versões do sinal com escalas diferentes da forma $G(f) = G_{\tau}(f)$.

Para a obtenção da filtragem, utiliza-se a propriedade da convolução (ver 2.32), gerando-se um banco de versões diferentes do sinal original da forma

$$\hat{g}(t, \sigma) = g * u_{\sigma}(t) = \mathfrak{S}^{-1}\{G_{\tau}(f)\} = \mathfrak{S}^{-1}\{G(f)U_{\tau}(f)\} \quad (2.44)$$

A curvatura é dependente das derivadas dos componentes da curva paramétrica, devendo-se utilizar o sinal filtrado pela gaussiana para cada escala de análise. Assim, para o primeiro componente

da equação paramétrica

$$\hat{g}(t, \sigma) = \dot{g} * u_{\sigma}(t) = \mathfrak{S}^{-1}\{\dot{G}_{\tau}(f)\} = \mathfrak{S}^{-1}\{\dot{G}(f)U_{\tau}(f)\}$$

$$\hat{g}(t, \sigma) = \ddot{g} * u_{\sigma}(t) = \mathfrak{S}^{-1}\{\ddot{G}_{\tau}(f)\} = \mathfrak{S}^{-1}\{\ddot{G}(f)U_{\tau}(f)\}$$

Foi utilizado o recurso de filtragem gaussiana para cálculo dos descritores de geometria diferencial (ver seção 2.3.2) e detecção de bordas (ver seção 2.2.3) neste trabalho.

2.4 Métodos utilizados e espécies estudadas

2.4.1 Espécies estudadas

As espécies estudadas foram de duas ordens, *Carnivora* e *Artiodactyla*. Para a primeira ordem, foram analisados pêlos de *Leopardus tigrinus* (gato-do-mato) e *L. wiedii* (gato-maracajá). Na segunda ordem, foram analisadas escamas de pêlo de *Mazama gouazoubira* (veado-catingueiro).

M. gouazoubira possui ampla distribuição no continente americano, da América Central até o norte da Argentina e Uruguai, na América do Sul (HARALSON, 2005). Trata-se de uma das espécies de cervídeos com maior distribuição, sendo encontrado em áreas abertas de cerrado ou nas bordas de vegetação secundária em florestas transicionais. Seu hábito é principalmente frugívoro, se alimentando de frutos, bromélias, raízes e até cactus. Esta espécie pode atingir até 17 kg, apresentando período de vida de 7 a 12 anos. Para exemplo de padrão cuticular, ver figura 12.

L. wiedii costuma ocorrer em áreas florestadas, do norte do México até o norte da Argentina (KRAKAUER, 2005), mas pode ocorrer também em áreas com perturbação antrópica. Possui ótima capacidade de escalada arbórea. É ativo em todas as horas do dia. Possui hábito alimentar variado (assim como outras espécies de pequenos felídeos): preda mamíferos arbóreos e terrestres, aves, anfíbios, pequenos répteis, artrópodos gerais e frutas (WIKIPÉDIA, 2005d). Pode atingir até 3,9 kg, com pelagem muito semelhante à jaguatirica (*Leopardus pardalis*), porém pelo seu habitat ser predominantemente florestal, acaba por se tornar mais sensível a perturbações ambientais. Para exemplo de padrão cuticular, ver figura 9.

L. tigrinus é considerada uma espécie de ocorrência rara e sua distribuição geográfica não é muito conhecida (FOATE, 2005). Há relatos de animais no norte da Costa Rica e Panamá, ao sudeste do Brasil e norte da Argentina. Seu habitat preferencial é a floresta subtropical, embora já tenham

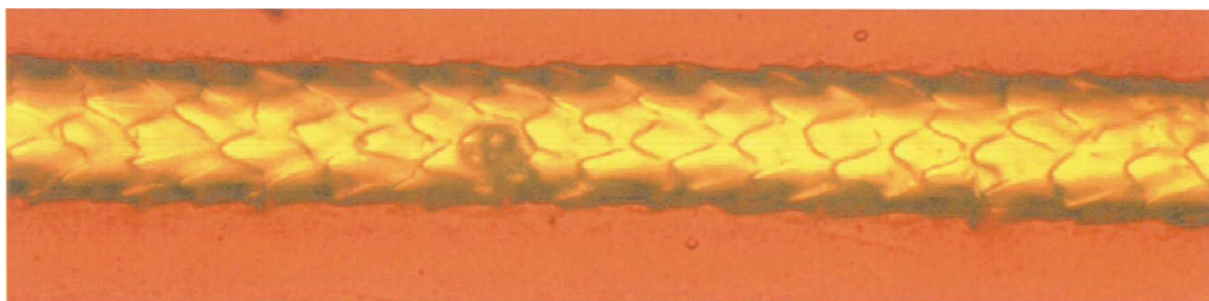


Figura 9 - Padrão cuticular de *L. wiedii*: (aumento 400x).

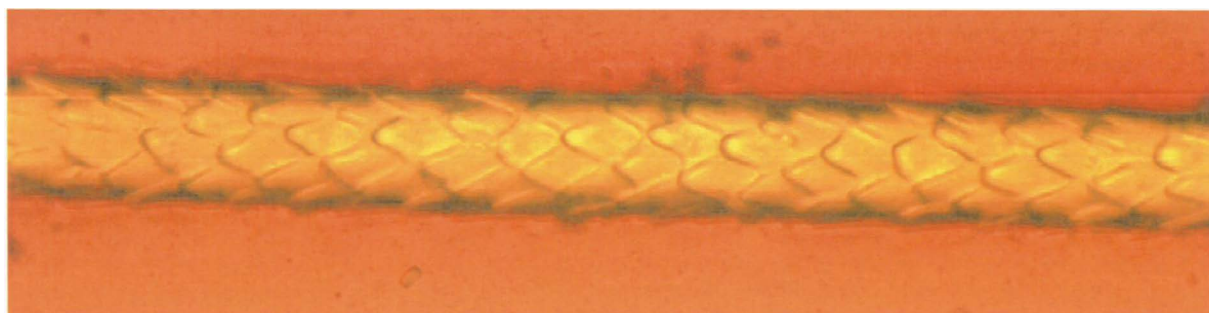


Figura 10 - Padrão cuticular de *L. tigrinus*: (aumento 400x).

havido relatos da presença do animal na caatinga no nordeste brasileiro. Esta espécie é muito semelhante ao *L. wiedii*, possuindo uma forma um pouco mais delgada e olhos pouco maiores. Seu peso oscila em torno de 1,5 a 3 kg, podendo viver em torno de 15 anos. Seu comportamento e ecologia são poucos conhecidos (embora acredite-se serem animais com hábitos mais noturnos e solitários). Para exemplo de padrão cuticular, ver figura 10.

2.4.2 Técnica de preparação das lâminas

O procedimento para preparação das lâminas foi baseado na técnica proposta (QUADROS, 2002), com algumas adaptações. Basicamente, os pêlos, individualmente, são imersos em uma placa de Petri com água destilada por aproximadamente 3 minutos. Depois, passam por mais 3 minutos de imersão em álcool etílico, este procedimento visa eliminar detritos aderidos à superfície da cutícula. A imersão deve garantir que a totalidade do pêlo entre em contato com a solução.

A seguir, os pêlos são secos em papel absorvente através do contato mecânico com o papel, com o auxílio de uma pinça de ponta fina (foi utilizada uma pinça de relojoeiro). Alternativamente, pode-se dobrar o papel em cima do pêlo, obtendo-se o mesmo resultado.



Figura 11 - Padrão cuticular ondedado transversal: primeiros experimentos de impressão cuticular (aumento 400x).

A lâmina de vidro que for utilizada para impressão cuticular deve ser limpa, utilizando água destilada e secando-a com papel absorvente. Sobre a mesma, deve ser aplicada uma fina camada de resina, de forma a criar uma camada homogênea na superfície da lâmina. A resina deve passar por um período de secagem, variando de 8 a 15 minutos, dependendo das condições de temperatura e umidade locais.

Os pêlos são então colocados individualmente sobre a lâmina, tomando-se cuidado para evitar o deslizamento dos mesmos na resina. A lâmina deve então ser prensada (a pressão é variável com o diâmetro do pêlo), sendo colocada entre dois pedaços de madeira com largura e comprimento 1 cm superiores às dimensões da lâmina. Após a compressão, deve-se esperar a secagem completa da resina para a remoção dos pêlos.

Foram testadas algumas combinações de resinas/esmaltes visando obter melhores resultados na geração da impressão cuticular, como pode ser verificado nas figuras 11 e 12 para veado. A figura 12 é o resultado do uso de resinas coloridas com técnicas de processamento de imagens digitais.

2.4.3 Geração das imagens

As imagens foram obtidas a partir das lâminas, utilizando-se dois microscópios em momentos distintos do estudo. As primeiras lâminas foram examinadas em um microscópio Leica com câmera CCD Sony com 720x480 pixels de resolução real não interpolada. As imagens subseqüentes do

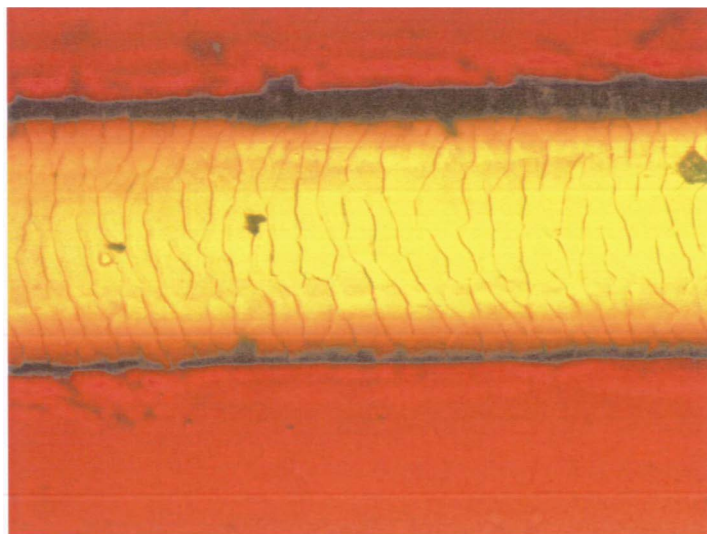


Figura 12 - Padrão cuticular ondeado transversal: uso de resinas coloridas e técnicas de processamento digital (aumento 400x).

estudo foram geradas com outro microscópio Leica com câmera CCD Leica com 2560x1920 pixels de resolução real não interpolada. Em ambos os casos o aumento ótico utilizado foi de 400x (40x na objetiva e 10x na ocular).

Os equipamentos utilizados pertencem ao IFSC (Instituto de Física de São Carlos), Laboratório de Instrumentação e Informática, Grupo de Pesquisa em Visão Cibernética.

2.4.4 Extração dos contornos

Para a extração dos contornos foi criado um programa em linguagem de programação C++. Esta linguagem de programação surgiu em meados dos anos 80 (STROUSTRUP, 1991) como um superconjunto da linguagem C, oferecendo recursos de programação orientada a objetos (OOP: “*Object Oriented Programming*”) e abstração de dados. O paradigma da OOP é uma evolução natural do paradigma estrutural, incorporando recursos visando facilitar o desenvolvimento de sistemas complexos.

O C++ apresenta várias vantagens derivadas da sua linguagem mãe (a linguagem C), entre as quais:

- velocidade: a linguagem C foi criada para desenvolvimento de sistemas operacionais (KERNIGHAN; RITCHIE, 1998);
- portabilidade: ambas as linguagens rodam em diferentes arquiteturas de processadores e

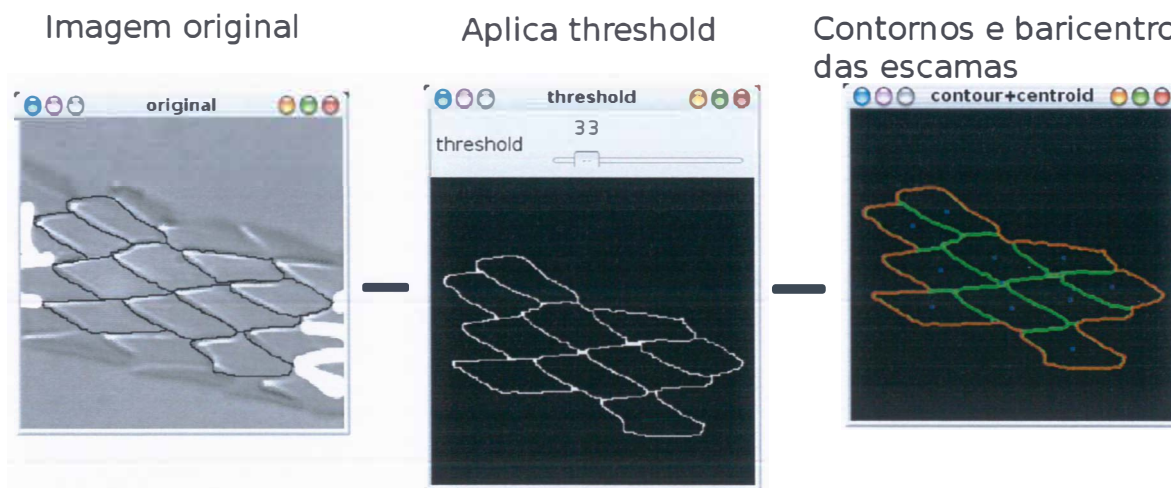


Figura 13 - Software desenvolvido: além de vetorizar os contornos, são calculados alguns descritores de forma.

sistemas operacionais;

- liberdade: a linguagem oferece acesso aos recursos de hardware, como alocação dinâmica de memória, acesso a vetores por ponteiros e chamadas de sistema.

C/C++ podem ser estendidos com o uso de bibliotecas de funções para funções específicas de plataforma, tais como programação gráfica ou cálculos matemáticos. Para a manipulação de imagens, foi utilizada a OpenCV (Intel *Open Source Computer Vision Library*), uma coleção de funções em C/C++ que implementam alguns algoritmos de visão computacional (BRADSKI, 2000). Entre suas vantagens, é multiplataforma (roda em Windows, Linux, MacOS X, etc), apresenta elevada performance e seu uso é gratuito para fins acadêmicos e também comerciais (Open, 2005).

A entrada do programa é a imagem digital gerada a partir de uma lâmina de pêlo (ver 2.4.2), tendo como saída principal as coordenadas cartesianas dos pixels que compõem os contornos de cada escama presente na cutícula do pêlo. Além disso, alguns descritores de forma são calculados também (baricentro ou centróide, área, perímetro, diâmetro) totalizando nesta etapa quatro descritores. A figura 13 demonstra a interface do programa rodando em Linux (Distribuição Debian unstable, Linux kernel 2.6.11, gcc 4.0.2). Apesar do programa ter sido testado somente em ambiente Linux, o mesmo foi projetado para rodar também em ambiente Windows.

Outros descritores de forma, em um total de sete (curvatura média, desvio da curvatura, energia

de dobramento, energia de dobramento normalizada, comprimento de arco, energia do descritor de Fourier e energia normalizada do descritor de Fourier), são calculados em programa externo escrito para o Scilab. Assim, no total foram utilizados onze diferentes descritores de forma.

Já se estudou a viabilidade de transcrever estes últimos descritores para o C/C++, tendo sido realizados testes com a biblioteca *fftw* (Fastest Fourier Transform in the West) com êxito (FFTW, 2005).

2.5 Resultados e Análises

Foram utilizadas técnicas gráficas para exploração do espaço de forma, definido pelos onze descritores. Dado ser impossível criar gráficos com mais de três dimensões, utilizam-se técnicas de projeção do espaço multidimensional em um espaço bi-dimensional, ou mesmo tridimensional, quando necessário.

A análise inicial foi realizada explorando a ocorrência de grupos (clusters) de observações, visando a identificação de ocorrência na separação entre as classes estudadas (as três espécies citadas em 2.4.1).

A figura 14 mostra a dispersão das observações das três espécies para os descritores simples (área, diâmetro e perímetro). Existe grande correlação entre os descritores ($K = 1, 0.9814307, 0.9857526$) e a capacidade de separar as espécies é reduzida (evidenciada pela pequena distância entre os planos que cruzam as nuvens de pontos).

A figura 15 exhibe a dispersão das espécies em função de outros descritores mais complexos (curvatura, razão de distâncias ao centróide e energia). A imagem sugere haver a possibilidade de utilizar um modelo linear para separar as classes (representado pelo plano em sentido tangente às nuvens de pontos), porém somente com três descritores ocorre proximidade entre as duas espécies de Felídeos.

A utilização de um número maior de descritores de forma torna possível a melhor separação entre as classes, tendo sido utilizada a técnica de análise de clusters chamada *k-médias* (DUDA; HART; STORK, 2001). Esta técnica busca classificar observações por um critério de proximidade no espaço geométrico em que ocorrem, sendo um processo iterativo onde procuram-se os centros de gravidade de cada grupo, cada amostra é classificada na categoria em que estiver mais próxima. O único parâmetro que deve ser informado é o número de classes presentes nos dados, embora

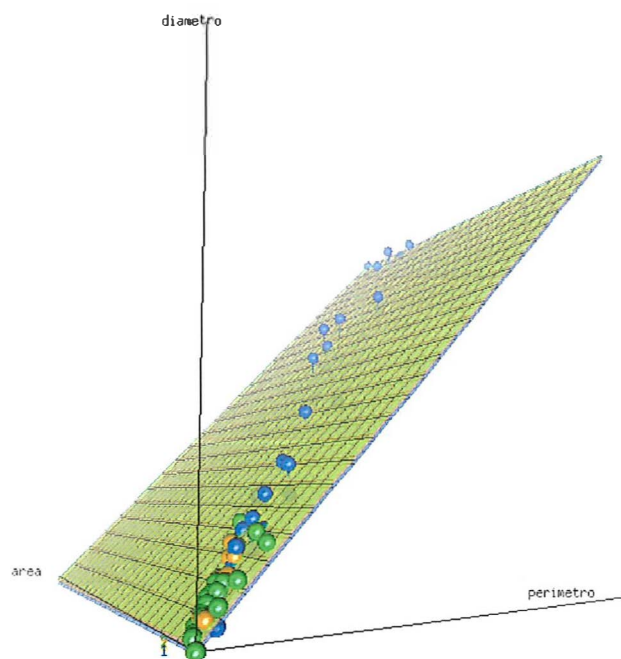


Figura 14 - Dispersão das espécies em espaço com três descritores (área, diâmetro e perímetro): *M. gouazoubira* (azul), *L. tigrinus* (amarelo) e *L. wiedii* (verde)

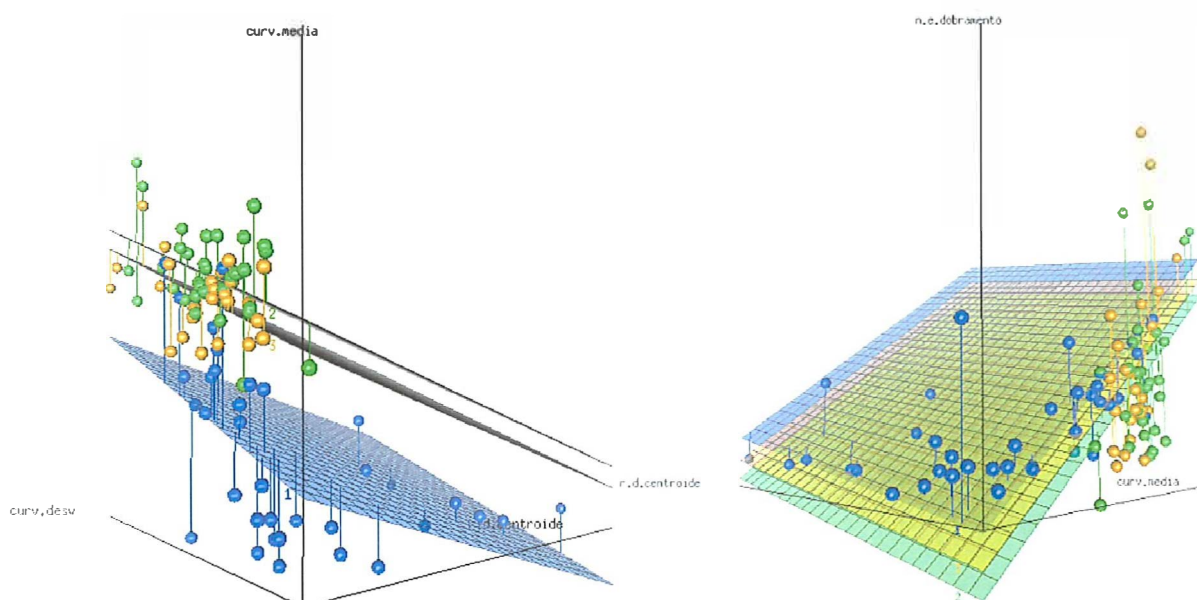


Figura 15 - Dispersão das espécies no espaço com os quatro descritores (energia de dobramento normalizada, curvatura média, desvio da curvatura e razão das distâncias ao centróide): *M. gouazoubira* (azul), *L. tigrinus* (amarelo) e *L. wiedii* (verde)

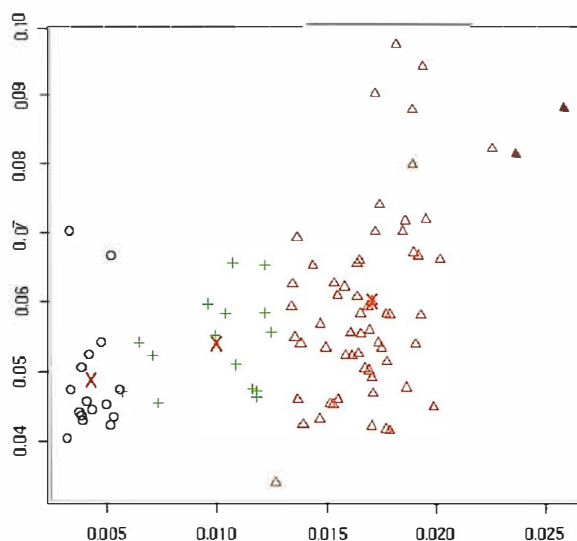


Figura 16 - Método k-médias e os centros de cada cluster: *M. gouazoubira* (triângulos), *L. tigrinus* (círculos) e *L. wiedii* (cruzes)

outros parâmetros possam ser fixados como critério de proximidade e tipo da métrica de distância calculada para aferir similaridade.

A figura 16 mostra os centros de cada cluster identificados pelo método utilizado, tratando-se de uma projeção do espaço n-dimensional para duas dimensões.

Os gráficos demonstraram haver viabilidade de se utilizar os descritores propostos para classificar espécies de mamíferos a partir de padrões presentes na cutícula dos pêlos. Também confirmaram a dificuldade em discriminar pêlos de espécies da família Felidae. É fato notório, o elevado grau de semelhança entre as espécies, mesmo um tricólogo experiente tem dificuldade em distinguir pêlos de espécies diferentes nesta família.

Foi criado um modelo linear para separação das espécies, obtendo-se para espécie *Mazama gouazoubira* um índice de classificação correta de 86%. Para *Leopardus tigrinus* o índice de acerto é de 84%. Para *L. wiedii* é insatisfatório, ficando em apenas 50%. Os dados e o modelo encontram-se nos anexos (ver 3). Estes índices de acerto são para as escamas individuais, ou seja, a priori poderia ser obtido o índice de acerto na classificação pelo modelo utilizando-se somente **de uma (1)** escama em todo o pêlo. Uma observação interessante sobre o modelo: no caso de *L. wiedii* quando ocorre erro na classificação (ou seja, a amostra pertence à espécie *L. wiedii* mas é classificada como outra), 92% das vezes é apontada como *L. tigrinus*, que pertence à mesma família taxonômica.

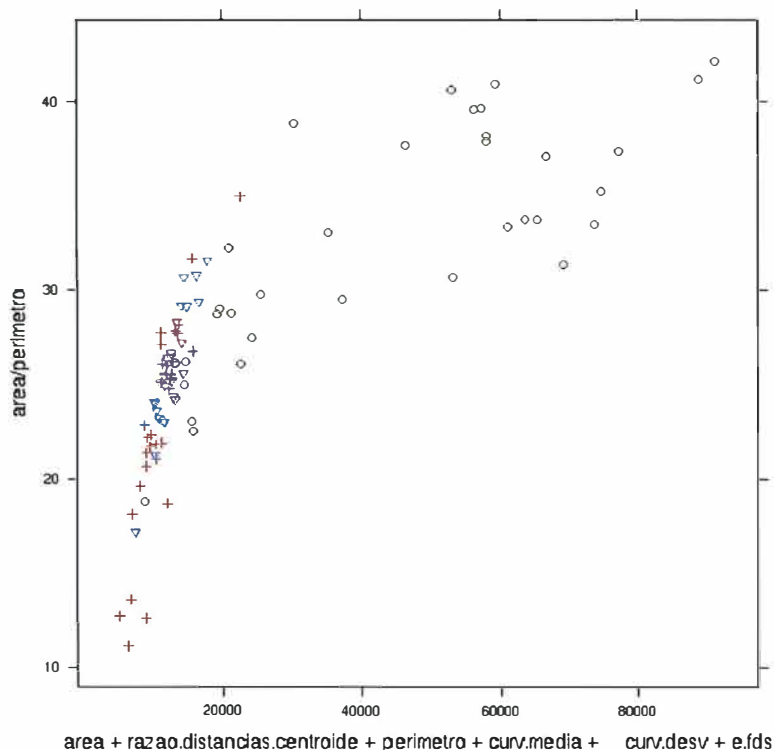


Figura 17 - Projeção do espaço de descritores: *M. gouazoubira* (círculos), *L. tigrinus* (cruzes) e *L. wiedii* (triângulos)

Em outra exploração dos dados, constatou-se que apesar de haver separação entre as classes (ver figura 16) as relações são não lineares como apontado pela figura 17.

Acredita-se que índices de acerto superiores a 90% seriam possíveis com os seguintes procedimentos:

- descritores de forma: existem vários descritores de forma na literatura com bom potencial de uso para o problema;
- modelagem: a tentativa de uso de modelos não lineares pode gerar melhores resultados;
- amostragem: no presente momento são gerados descritores por escama. A utilização de uma medida estatística de posição (como mediana) de cada descritor de forma poderia reduzir a dispersão nos dados, de maneira a se gerar descritores por pêlo.
- perfil do pêlo: as formas das escamas variam ao longo do pêlo. Ao se obter imagens ao longo do pêlo, seria possível acompanhar a velocidade de mudança das formas sobre os descritores, gerando um tipo de assinatura com grande potencial para auxiliar na separação das espécies de mamíferos.

Existem perspectivas de ampliação deste trabalho, relacionadas aos seguintes aspectos:

- Espécies: estudo de um número maior de espécies de mamíferos, inicialmente para grupos menos especiosos (grandes mamíferos) e posteriormente para grupos mais especiosos;
- Modelagem: estudo de técnicas alternativas para classificação das espécies, com agregação de conhecimento do pesquisador local (região do levantamento, espécies de ocorrência conhecida);
- Software: aperfeiçoamento do programa desenvolvido durante este trabalho, buscando criação de uma interface mais amigável e integração com o processo de classificação (feito em separado no momento).

3 CONCLUSÕES

Foi possível a identificação das espécies de mamíferos estudadas, construindo-se um modelo matemático que considera caracteres quantitativos de forma, extraídos das escamas de cutículas da superfície de pêlos destas espécies.

Espécies com padrões morfológicos muito semelhantes ainda impõem dificuldades para o método proposto, embora já se conheça propostas com bom potencial para melhorar a eficiência da classificação.

A principal contribuição deste trabalho é sugerir uma abordagem quantitativa e objetiva sobre estudos de tricologia, aumentando a confiabilidade desta ferramenta para estudos de populações.

REFERÊNCIAS

BENEDICT, F.A. Hair structure as a generic character in bats. **University of California Publications in Zoology**, Berkeley, v. 59, p. 285–548, 1957.

BISHOP, C.M. **Neural networks for pattern recognition**. Oxford, UK: Oxford University Press, 1995. 504 p.

BOEUF, J.; BELIN, P.; MAÎTRE, H. **Fourier descriptors**. Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris. Disponível em: www.tsi.enst.fr/tsi/enseignement/ressources/mti/descript_fourier/. Acesso em: 3 jul. 2005.

BOURKE, P. **Calculating the area and centroid of a polygon**. Centre for astrophysics & supercomputing. Melbourne. Disponível em: <http://astronomy.swin.edu.au/pbourke/geometry/polyarea/>. Acesso em: 10 jul. 2005.

BRADSKI, G. The openCV library. **Dr. Dobb's Journal**, San Francisco, v. 25, p.120-125, 2000.

BRYCE, J. R. Identification of hairs of 3 asian commensal mammals - *Suncus murinus*, *Bandicota bengalensis* and *Rattus exulans*. **Journal of AOAC International**, Arlington, v. 77, p. 403–410, 1994.

BULL, E.L. Seasonal and sexual differences in american marten diet in northeastern oregon. **Northwest Science**, La Grande, v. 74, p. 186–191, 2000.

CAMPOS, C.B. **Impacto de cães (*Canis familiaris*) e gatos (*Felis catus*) errantes sobre a fauna silvestre em ambiente peri-urbano**. 2004. 71 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARMO, M.P.D. **Differential geometry of curves and surfaces**. New Jersey: Prentice-Hall, 1976. 503 p.

CESAR JÚNIOR, R.M.; COSTA, L.F. Towards effective planar shape representation with multiscale digital curvature analysis based on signal processing techniques. **Pattern Recognition**, Amsterdam, v. 9, p. 1559–1569, 1996.

CESAR JÚNIOR, R.M.; COSTA, L.F. Neural cell classification by wavelets and multiscale curvature. **Biological Cybernetics**, Berlin, v. 79, p. 347–360, 1998.

CHAKRABORTY, R.; DE, J.K. Identification of dorsal guard hairs of five indian species of the family canidae (*Carnivora: Mammalia*). **Mammalia**, Paris, v. 65, p. 483–493, 2001.

CHAKRABORTY, R.; CHAKRABORTY, S.; DE, J.K. Identification of dorsal guard hairs of indian species of the genus *Panthera* Oken (*Carnivora: Felidae*). **Mammalia**, Paris, v. 60, p. 473–480, 1996.

- CHAKRABORTY, R.; CHAKRABORTY, S.; DE, J.K. Identification of dorsal guard hairs of the species of indian lesser cats (*Carnivora: Felidae*). **Mammalia**, Paris, v. 63, p. 93–104, 1999.
- CHANG, C.H.; TSAI, R.K.; YU, H.S. Apoptosis coordinates with proliferation and differentiation during human hair follicle morphogenesis. **Journal of Dermatological Science**, Amsterdam, v. 39, p. 9–16, 2005.
- CHERNOVA, O.F. Architectonic and diagnostic significance of hair cuticule. **Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences**, Moscow, v. 29, p. 238–247, 2002.
- CHERNOVA, O.F. Architectonic and diagnostic significance of hair cortex and medulla. **Biology Bulletin of the Russian Academy of Sciences**, Moscow, v. 30, p. 53–62, 2003.
- COSTA, L.F.; CESAR JÚNIOR, R.M. **Shape analysis and classification**. Boca Raton: CRC Press, 2001. 659 p.
- COSTA, S.M.F. **Classificação e verificação de impressões digitais**. 2001. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- CYPHER, B.L. Food item use by coyote pups at crab orchard national wildlife refuge illinois. **Transactions of the Illinois State Academy of Science**, Springfield. v. 86, p. 133–137, 1993.
- DARIMONT, C.T.; REIMCHEN, T.E. Intra-hair stable isotope analysis implies seasonal shift to salmon in gray wolf diet. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 80, p. 1638–1642, 2002.
- DAVISON, A.; BIRKS, J.D.S.; BROOKES, R.C, BRAITHWAITE, T.C.; MESSENGER, J.E. On the origin of faeces: morphological versus molecular methods for surveying rare carnivores from their scats. **Journal of Zoology**, London, v. 257, p. 141–143, 2002.
- DEMARINIS, A.M.; AGNELLI, P. A guide to the microscope analysis of italian mammals hairs - insectivora, rodentia and lagomorpha. **Bolletino di Zoologia**, Porto Cesareo, v. 60, p. 225–232, 1993.
- DONN, T.; YATES, B.C. **Identification guidelines for Shahtoosh & Pashimina**. Ashland: National Fish and Wildlife Forensics Laboratory, 2002, 11 p.
- DUDA, R.O.; HART, P.E.; STORK, D.G. **Pattern classification**. 2nd. ed. New York: Wiley-Interscience, 2001. 654 p.
- EGGERT, L.S.; EGGERT, J.A.; WOODRUFF, D.S. Estimating population sizes for elusive animals: the forest elephants of kakum national park, ghana. **Molecular Ecology**, Oxford, v. 12, p. 1389–1402, 2003.
- FERRAZ, H. Sistemas de proporções matemáticas. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, v. 26, 2005.

FEYNMAN, R.P.; LEIGHTON, R.B.; SANDS, M.L. **The Feynman lectures on physics**. 1st. ed. Reading: Addison Wesley, 1963.

FOATE, K. *Leopardus tigrinus*, 2003, **Animal Diversity Web**. Disponível em: <http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/___accounts/information/Leopardus_tigrinus.html>. Acesso: em 11 out. 2005.

FRANTZ, A.C.; SCHAUL, M.; POPE, L.C.; FACK, F.; SCHLEY, L.; MULLERÂ, C. P.; ROPER, T. J. Estimating population size by genotyping remotely plucked hair: the eurasian badger. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 41, p. 985–995, 2004.

GALAN, M.; BALZINGER, C.; HEWISON, A. J. M.; COSSON, J. F. Deer species identification using dna extracted from hair samples and the polymerase chain reaction (pcr) method. **Wildlife Society Bulletin**, Starkville, 2003.

LOPEZ-GIRALDEZ, F.; GOMEZ-MOLINER, B. J.; MARMI, J.; DOMINGO-ROURA, X. Genetic distinction of american and european mink (*Mustela vison* and *M. lutreola*) and european polecat (*M. putorius*) hair samples by detection of a species-specific sine and rflp assay. **Journal of Zoology**, London. v. 265, p. 405–410, 2005.

GONZALES, R.C.; WOODS, R.E. **Digital image processing**. 3th ed. Reading: Addison-Wesley, 1992. 716 p.

GOOSSENS, B.; WAITS, L.P.; TABERLET, P. Plucked hair samples as a source of dna: reliability of dinucleotide microsatellite genotyping. **Molecular Ecology**, Oxford. v. 7, p. 1237–1241, 1998.

HARALSON, C. *Mazama gouazoupira*, 2004, **Animal Diversity Web**, Ann Arbor. Disponível em: <http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Mazama_gouazoupira.html>. Acesso em: 11 out. 2005.

HARKINS, D.K.; SUSTEN, A.S. Hair analysis: exploring the state of the science. **Environmental Health Perspectives**, Cary, v. 111, p. 576–578, 2003.

HAUSMAN, L.A. Structural characteristics of the hair of mammals. **The American Naturalist**, Chicago, v. 54, p. 496–523, 1920.

HAUSMAN, L.A. Further studies of the relationships of the structural characters of mammalian hair. **The American Naturalist**, Chicago, v. 58, p. 544–557, 1924.

HAUSMAN, L.A. The cortical fusi of mammalian hair shafts. **The American Naturalist**, Chicago, v. 66, p. 461–470, 1932.

INAGAKI, H.; TSUKAHARA, T. A method of identifying chimpanzee hairs in lion feces. **Primates**, Tokyo, v. 34, p. 109–112, 1993.

INTEL CORPORATION. **Open source computer vision library**: reference manual. 2001. 417 p. Disponível em: <http://developer.intel.com>. Acesso em: 15 maio 2005.

JONES, C.; MOLLER, H.; HAMILTON, W. A review of potential techniques for identifying individual stoats (*Mustela erminea*) visiting control or monitoring stations. **New Zealand Journal of Zoology**, Hamilton, v. 31, p. 193–203, 2004.

KELLER, A. Note on a comparative study of the guard hair of 3 equidae species - *Equus asinus*, *Equus przewalskii* and *Equus caballus*. **Revue Suisse de Zoologie**, Geneva, v. 99, p. 735–739, 1992.

KERNIGHAN, B.W.; RITCHIE, D. **The C programming language**. 2nd ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1998. 274 p.

KRAKAUER, A. *Leopardus wiedii*. 2002, Animal Diversity Web, Ann Arbor. Disponível em: http://animaldiversity.ummz.umich.edu/site/accounts/information/Leopardus_wiedii.html. Acesso: em 11 out. 2005.

KUNTTU, I.; LEPISTO, L.; RAUHAMAA, J.; VISA, A. Multiscale fourier descriptor for shape classification. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON IMAGE ANALYSIS AND PROCESSING, 12., 2003, Mantova, **Proceedings...** Mantova: Dipartimento di Informatica e Sistemistica University of Pavia, 2003. p. 536.

MALLAT, S.; ZHONG, S. Characterization of signals from multiscale edges. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, San Diego, v. 14, p. 710–733, 1992.

MEYER, B.W.; SCHNAPPER, A.; HÜLMANN, G.; SEGER, H. Domestication related variations of the hair cuticula pattern in mammals. **Journal of Animal Breeding and Genetics**, Berlin, v. 117, p. 281–283, 2000.

MEYER, W.; SEGER, H.; HULMANN, G.; NEURAND, K. A computer-assisted method for the determination of hair cuticula patterns in mammals. **Berl Munch Tierarztl**, Berlin, v. 110, p. 81–85, 1997.

MOKHTARIAN, F.; MACKWORTH, A. A theory of multiscale, curvature based shape representation for planar curves. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, San Diego, v. 14, n. 8, p. 17, 1992.

MONTEIRO, L.R.; REIS, S.F. **Princípios de morfometria geométrica**. Ribeirão Preto: Holos Editora, 1999. 190 p.

OLI, M.K. A key for the identification of the hair of mammals of a snow leopard (*Panthera uncia*) habitat in Nepal. **Journal of Zoology**, London, v. 231, p. 71–93, 1993.

PARSON, W. Species identificatin by means of the cytochrome b gene. **International Journal of Legal Medicine**, Münsters, v. 114, p. 23–28, 2000.

PASITSCHNIAKARTS, M.; MESSIER, F. Predator identification at simulated waterfowl nests using inconspicuous hair catchers and wax-filled eggs. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 73, p. 984–990, 1995.

PIERALLINI, R.; KELLER, A.; MORETTI, M. Identification key of bats (chiroptera) from switzerland based on hair structure observed through optical microscope. **Revue Suisse de Zoologie**, Geneva, v. 111, p. 381–393, 2004.

PISKOUNOV, N. **Cálculo diferencial e integral**. 6. ed. Porto, Portugal: Lopes da Silva Editora, 1978. 516 p.

POLIKAR, R. **The wavelet tutorial**. Rowan University, New Jersey. Disponível em: <http://users.rowan.edu/~polikar/WAVELETS/WTtutorial.html>. Acesso em: 10 maio 2005.

PRESS, W.H.; FLANNERY, B.P; TEUKOLSKY, S.A.; VETTERLING, W.T. **Numerical recipes in C: the art of scientific computing**. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 994 p.

QUADROS, J. **Identificação microscópica de pêlos de mamíferos brasileiros e sua aplicação no estudo da dieta de carnívoros**. 2002. 127 p. Dissertação (Doutorado em Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

QUADROS, J.; MONTEIRO-FILHO, E.L.A. Effects of digestion, putrefaction and taxidermy process on didelphis albiventris hair morphology. **Journal of Zoology**, London, v. 244, p. 331–334, 1998.

RODEL, H.G.; EBERSBACH, H.; STUBBE, M. Factors affecting the identification of stone marten (martes foina) and pine marten (martes martes) faeces by bile acid content. **Wiss Mitt Niederost Landesmus**, Bayreuth, v. 14, p. 153–160, 2001.

ROLLINS, C.K.; HALL, D.M. Using light and scanning electron microscopic methods to differentiate ibex goat and tibetan antelope fibers. **Textile Research Journal**, Princeton, v. 69, p. 856–860, 1999.

ROON, D.A.; WAITS, L.P.; KENDALL, K.C. A quantitative evaluation of two methods for preserving hair samples. **Molecular Ecology Notes**, Oxford, v. 3, p. 163–166, 2003.

SANECKI, G.M.; GREEN, K. A technique for using hair tubes beneath the snowpack to detect winter-active small mammals in the subnivean space. **European Journal of Wildlife Resources**, Bonn, v. 51, p. 41–47, 2005.

SHAPIRO, L.G.; STOCKMAN, G.C. **Computer vision**. Reading: Prentice Hall, 2001. 580 p.

SHIH, M.Y.; TSENG, D.C. A wavelet-based multiresolution edge detection and tracking. **Image and Vision Computing**, v. 23, p. 441–451, 2005.

SOKOLOV, V.E.; USHAKOVA, N.A.; KOLTOVOI, N.A. The possibility of systematic

identification of mammals on the basis of mathematical characters of hair surface structure. **Doklady Akademii Nauk**, Moscow, v. 356, p. 846–848, 1997.

SOKOLOV, V.E. Analysis of some taxo-specific parameters of the cuticle of guard hairs for development of the system of identification of mammals by morphometric characteristics of the hair. **Izvestiya Akademii Nauk Seriya Biologicheskaya**, Moscow, v. 5, p. 554–561, 1999.

STROUSTRUP, B. **The C++ programming language**. 2nd. ed. Reading: Addison-Wesley, 1991. 669 p.

TABERLET, P.; MATTLOCK, H.; DUBOIS-PAGANON, C.; BOUVET, J. Sexing free-ranging brown bears (*Ursus arctos*) using hairs found in the field. **Molecular Ecology**, Oxford, v. 2, p. 399–403, 1993.

TEERINK, B.J. **Hair of west-european mammals**. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. 224 p.

TENENBLAT, K. **Introdução à geometria diferencial**. 2. ed. Brasília: Editora UnB, 1990. 278 p.

TÓTH, M.A. Identification of hungarian mustelidae and other small carnivores using guard hair analysis. **Acta Zoologica Acaemiae Scientiarum Hungaricae**, Budapest, v. 48, p. 237–250, 2002.

VERHOEVEN, L.E. The advantages of the scanning electron microscope in the investigation studies of hair. **Journal of Criminal Law, Criminology and Police Science**, Chicago, v. 63, p. 125–128, 1972.

WALLIS, R. L. A key for the identification of guard hairs of some Ontario mammals. **Canadian Journal of Zoology**, Ottawa, v. 71, p. 587–591, 1993.

WIKIPÉDIA. **Continous Fourier transform**. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/>>. Acesso em: 26 out. 2005.

WIKIPÉDIA. **Fast Fourier transform**. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/>>. Acesso em: 26 out. 2005.

WIKIPÉDIA. **Fourier series**. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/>>. Acesso em: 24 out. 2005.

WIKIPÉDIA. **Jaguatirica**. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/ Jaguatirica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Jaguatirica)>. Acesso em: 11 out. 2005.

WIKIPÉDIA. **Joseph Fourier**. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/>>. Acesso em: 25 out. 2005.

WIKIPÉDIA. **Proporção áurea**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/>. Acesso em: 4 maio 2005.

WILLIAMSON, R.E.; CROWELL, R.H.; TROTTER, H.F. **Calculus of vector functions**. 1st. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1972. 617 p.

YANG, L.; SUEN, C.Y.; BUI, T.D.; ZHANG, P. Discrimination of similar handwritten numerals based on invariant curvature features. **Pattern Recognition**, Washington, v. 38, p. 947–963, 2005.

ZHANG, D.; LU, G. Content-based shape retrieval using different shape descriptors: a comparative study. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIMEDIA AND EXPO. 2001, Tokyo, **Proceedings...** Tokyo: Waseda University, 2001. p. 289–293.

ANEXOS

Anexo A - Modelo linear: *L. tigrinus*, *L. wiedii*, *M. gouazoupira*

September 27, 2005 18

The SAS System

11:09 Tuesday,

The DISCRIM Procedure
 Classification Results for Calibration Data: WORK.A2
 Resubstitution Results using Linear Discriminant Function

Generalized Squared Distance Function

$$D_j^2(X) = (X - \bar{X}_j)' \text{COV}_j^{-1} (X - \bar{X}_j) - 2 \ln \text{PRIOR}_j$$

Posterior Probability of Membership in Each ESP

$$\text{Pr}(j|X) = \frac{\exp(-.5 D_j^2(X))}{\sum_k \exp(-.5 D_k^2(X))}$$

Posterior Probability of Membership in ESP

From Classified

IDENT	ESP	into ESP		LTIG	LWIE	MGOU
1	MGOU	LWIE	*	0.1091	0.4654	0.4256
2	MGOU	LWIE	*	0.3346	0.6157	0.0497
3	MGOU	MGOU		0.0005	0.0042	0.9953
4	MGOU	MGOU		0.0250	0.2453	0.7298
5	MGOU	MGOU		0.0003	0.0080	0.9917
6	MGOU	MGOU		0.0060	0.0604	0.9336
7	MGOU	MGOU		0.0096	0.1204	0.8699
8	MGOU	MGOU		0.0506	0.3019	0.6474
9	MGOU	MGOU		0.0003	0.0060	0.9937
10	MGOU	MGOU		0.0000	0.0001	0.9999
11	MGOU	MGOU		0.0005	0.0026	0.9969
12	MGOU	MGOU		0.0000	0.0001	0.9999
13	MGOU	MGOU		0.0192	0.1126	0.8682
14	MGOU	MGOU		0.0000	0.0002	0.9998
15	MGOU	MGOU		0.0032	0.0153	0.9814
16	MGOU	MGOU		0.0045	0.0115	0.9840
17	MGOU	MGOU		0.0036	0.0164	0.9800
18	MGOU	LWIE	*	0.4534	0.4868	0.0598
19	MGOU	MGOU		0.1178	0.2928	0.5894
20	MGOU	MGOU		0.0002	0.0011	0.9987
21	MGOU	MGOU		0.0001	0.0002	0.9997
22	MGOU	MGOU		0.0004	0.0012	0.9984
23	MGOU	MGOU		0.0001	0.0002	0.9997
24	MGOU	MGOU		0.0000	0.0002	0.9998
25	MGOU	MGOU		0.1100	0.3319	0.5580
26	MGOU	LTIG	*	0.6411	0.3400	0.0190
27	MGOU	MGOU		0.0001	0.0002	0.9997
28	MGOU	MGOU		0.0009	0.0040	0.9950
29	MGOU	MGOU		0.0010	0.0055	0.9936

Anexo A - Modelo linear: *L. tigrinus*, *L. wiedii*, *M. gouazoupira* (Continuação)

30	MGOU	MGOU		0.1601	0.3364	0.5036
31	MGOU	MGOU		0.0000	0.0004	0.9996
32	MGOU	MGOU		0.0007	0.0007	0.9985
33	MGOU	MGOU		0.0072	0.0220	0.9708
34	MGOU	LWIE	*	0.2469	0.3927	0.3605
35	MGOU	MGOU		0.0003	0.0007	0.9990
36	LTIG	LTIG		0.6121	0.3595	0.0284
37	LTIG	LTIG		0.9330	0.0670	0.0000
38	LTIG	LTIG		0.7988	0.2007	0.0004
39	LTIG	LTIG		0.5829	0.4116	0.0055
40	LTIG	LTIG		0.7824	0.2172	0.0003
41	LTIG	LWIE	*	0.2754	0.6491	0.0755
42	LTIG	LTIG		0.6406	0.3486	0.0109
43	LTIG	LTIG		0.7607	0.2386	0.0006
44	LTIG	LTIG		0.5287	0.4622	0.0091
45	LTIG	LWIE	*	0.4240	0.5526	0.0235
46	LTIG	LTIG		0.7237	0.2763	0.0000
47	LTIG	LTIG		0.6650	0.3338	0.0011
48	LTIG	LTIG		0.6084	0.3877	0.0039
49	LTIG	LTIG		0.5089	0.4805	0.0106
50	LTIG	LTIG		0.7756	0.2243	0.0001
51	LTIG	LTIG		0.7973	0.2020	0.0007
52	LTIG	LTIG		0.5808	0.4153	0.0040
53	LTIG	LWIE	*	0.4777	0.4814	0.0409
54	LTIG	LWIE	*	0.2458	0.7492	0.0050
55	LTIG	LTIG		0.8023	0.1976	0.0001
56	LTIG	LTIG		0.5660	0.4212	0.0128
57	LTIG	LTIG		0.5769	0.4189	0.0042
58	LTIG	LWIE	*	0.2156	0.5548	0.2296
59	LTIG	LTIG		0.6351	0.3564	0.0085
60	LTIG	LTIG		0.8047	0.1948	0.0004
61	LTIG	LWIE	*	0.3322	0.5840	0.0838
62	LTIG	LTIG		0.7325	0.2605	0.0070
63	LTIG	LTIG		0.8354	0.1645	0.0002
64	LTIG	LTIG		0.7392	0.2596	0.0013
65	LTIG	LTIG		0.8394	0.1579	0.0027
66	LTIG	LTIG		0.5887	0.3092	0.1021
67	LTIG	LTIG		0.9413	0.0583	0.0004
68	LTIG	LTIG		0.9419	0.0581	0.0000
69	LWIE	LWIE		0.4347	0.5645	0.0008
70	LWIE	LWIE		0.2577	0.7403	0.0020
71	LWIE	LWIE		0.2648	0.6504	0.0848
72	LWIE	LWIE		0.0581	0.9331	0.0088
73	LWIE	LWIE		0.1105	0.7660	0.1235
74	LWIE	LWIE		0.4083	0.5603	0.0314
75	LWIE	LWIE		0.4032	0.5235	0.0733
76	LWIE	LTIG	*	0.5734	0.4240	0.0026
77	LWIE	LWIE		0.4158	0.5764	0.0077
78	LWIE	LTIG	*	0.4808	0.4423	0.0769
79	LWIE	LTIG	*	0.6556	0.3428	0.0015
80	LWIE	LWIE		0.4667	0.4980	0.0353
81	LWIE	MGOU	*	0.1095	0.3683	0.5222
82	LWIE	LWIE		0.3802	0.5760	0.0439
83	LWIE	LTIG	*	0.6359	0.3627	0.0014
84	LWIE	LTIG	*	0.7114	0.2857	0.0030

Anexo A - Modelo linear: *L. tigrinus*, *L. wiedii*, *M. gouazoupira* (Continuação)

85	LWIE	LTIG	*	0.5567	0.4078	0.0355
86	LWIE	LTIG	*	0.7970	0.2008	0.0022
87	LWIE	LWIE		0.1133	0.5699	0.3168
88	LWIE	LTIG	*	0.5344	0.4611	0.0045
89	LWIE	LTIG	*	0.8967	0.1033	0.0000
90	LWIE	LTIG	*	0.6928	0.3046	0.0026
91	LWIE	LWIE		0.2886	0.5672	0.1442
92	LWIE	LWIE		0.1733	0.5024	0.3244
93	LWIE	LTIG	*	0.6135	0.3837	0.0027

* Misclassified observation

ANEXO B - Trecho de código para cálculo de diâmetro de uma forma

```
float* calc_diam(CvSeq *contour, int *size) {
    CvSeq *temp = NULL;
    float *result = NULL;
    m_point *coord = NULL;
    int csize = 0;
    int counter = 0;

    for(temp = contour; temp != NULL; temp = temp->h_next)
        counter++;

    *size = counter;
    result = new float[counter];

    for(int i = 0; i < counter; ++i) {
        coord = points(contour, &csize);
        result[i] = diameter(coord, &csize);
        delete [] coord;
        contour = contour->h_next;
    }

    return result;
}
```