

EXTRAÇÃO DE ALVOS CARTOGRÁFICOS A PARTIR DO USO DE TÉCNICAS DE MORFOLOGIA MATEMÁTICA

Extraction Cartographic Targets from the Use of Techniques of Mathematical Morphology

Erivaldo Antônio da Silva¹
Fernando Leonardi¹

¹**Universidade Estadual Paulista - Unesp**
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT
Departamento de Cartografia, Presidente Prudente - SP
silva.erivaldo@gmail.com; fernandoleonardi@gmail.com; erivaldo@fct.unesp.br

RESUMO

A cartografia tem sido um instrumento fundamental para o planejamento, demarcação e outras aplicações na superfície terrestre. No entanto, existem deficiências na atualização dos produtos cartográficos. Sendo assim, as imagens de Sensoriamento Remoto têm contribuído para minimizar esse problema. O uso conjunto de produtos de Sensoriamento Remoto e técnicas de Processamento Digital de Imagens – PDI foram utilizados para o desenvolvimento deste trabalho. Dentre as várias ferramentas de PDI, a teoria da Morfologia Matemática (MM) foi escolhida. Utilizou-se para o desenvolvimento deste trabalho dois recortes de imagens obtidas pelo satélite *QuickBird* e *Ikonos*, tendo como feições de interesses os hipódromos localizados nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Foi proposta uma rotina de operadores morfológicos, para detectar as pistas dos hipódromos com a mínima segmentação possível. As feições detectadas podem ser usadas em processos convencionais de atualização de produtos cartográficos. Sobre os resultados finais das detecções foram aplicados testes estatísticos de integridade e exatidão. Foi utilizada para a manipulação das imagens a caixa de ferramentas “*toolbox*” desenvolvida pela *SDC Information Systems*, que roda acoplada ao software *Matlab*. Os resultados obtidos são positivos e mostram o potencial do uso da teoria da morfologia matemática em cartografia.

Palavras chaves: Sensoriamento Remoto, Morfologia Matemática, Extração de Feições, PDI.

ABSTRACT

The cartography has been a fundamental instrument for the projection, landmark and other applications on the terrestrial surface. However, there are deficiencies in the Brazilian cartographic products updating. So, the Sensing Remote Images are contributing to minimize this problem. The use of remote sensing products and techniques of Digital Processing Images (DPI) were used to development in this work. Among many DPI tools, the Mathematical Morphology Theory were choose. For the development of this work two images taken with the *QuickBird* and *Ikonos* satellites were used, having the Jockey Club in Rio de Janeiro/RJ and Sao Paulo/SP cities, as the interest feature. Therefore a routine of morphologic operators was proposed to apply to the image with the aim of eliminating as much segmentation as possible. The detected features can be used in conventional processes of cartographic products updating. Over the final results of Extractions were applied statistics tests of completeness and correctness. For the manipulation images the toolbox developed by *SDC Information Systems* was used, that works with the software *Matlab*. The results obtained are positives and show the potential use of mathematical morphology theory in Cartography.

Keywords: Remote Sensing, Mathematical Morphology, Features Extraction, DPI.

1. INTRODUÇÃO

Afirma-se, ao estudar as civilizações, que o mapa é de todas as modalidades de comunicação, a mais antiga da humanidade. Desde cedo o homem preocupa-se em demarcar e representar os seus limites espaciais de ocupação. Segundo Harley (1991), o mapa mais antigo que se tem notícia, foi feito por volta do ano de 6.000 ac. Esse mapa foi descoberto em 1963 durante uma escavação arqueológica em Catal Hoyuk, localizada na região centro-ocidental da Turquia, e contém o traçado de ruas e casas, guardando certa similaridade com as plantas das cidades modernas.

Devido aos avanços tecnológicos nas áreas envolvidas com a produção de mapas, o homem pôde aprimorar a forma de fazê-los, chegando aos dias atuais com a produção de mapas digitais, que de forma simples pode ser definido como sendo a arte de representar a superfície terrestre na forma de mapas. Aos poucos surgiu a área atualmente conhecida por Cartografia, a qual Bakker (1965) define como sendo a ciência e a arte de expressar graficamente, por meio de mapas e cartas, o conhecimento humano da superfície terrestre.

A Cartografia é um instrumento fundamental para o planejamento. Dada a rapidez com que ocorrem as alterações de algumas áreas da superfície, faz-se necessária a contínua atualização cartográfica. Um dos pontos críticos da Cartografia brasileira é a falta de atualização dos mapas existentes, que chegam a estar obsoletos em até 4 décadas, de acordo com a escala e região (SILVA, 2002).

O uso de produtos e técnicas de Sensoriamento Remoto pode minimizar o problema da desatualização. O Sensoriamento Remoto tem por objetivo a identificação dos alvos presentes no ambiente terrestre, através do estudo entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas diversas manifestações, sem que haja o contato físico direto. O Sensoriamento Remoto se utiliza do Processamento Digital de Imagens (PDI) que envolve a manipulação e a interpretação de imagens digitais. Dentre as diversas ferramentas de PDI, a utilizada foi a Morfologia Matemática para o tratamento digital de imagens e extração das feições (SILVA, 2002).

Sendo assim, este trabalho visou contribuir para a automação da área de Cartografia através da utilização integrada de dados de Sensoriamento Remoto com dados cartográficos convencionais, efetuando a extração e a melhoria da qualidade visual das feições a partir de técnicas de Morfologia Matemática.

Após a extração do alvo de interesse, são aplicados filtros convencionais de extração de bordas e sobreposição do vetor do alvo detectado sobre a carta topográfica da região homóloga, com o objetivo de verificar se houve alteração do mesmo. Também são realizados testes estatísticos de integridade (completeza) e exatidão com o intuito de confirmar

quantitativamente e qualitativamente a viabilidade do uso das ferramentas de Morfologia Matemática em cartografia, ou seja, procurando um produto de melhor qualidade e com integridade entre os dados.

A utilização da Teoria de Morfologia Matemática, na área de Cartografia, apresenta resultados interessantes que demonstram seu potencial de aplicação.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho consistiu em elaborar e testar uma rotina de operadores morfológicos para extração de alvo de interesse com as mesmas características (hípicas).

Foram aplicados diversos operadores sob os recortes de imagens providas dos sensores *QuickBird* e *Ikonos* com o objetivo de detectar feições cartográficas de interesse.

Almeja-se no final de todas as etapas demonstrar que as técnicas de Morfologia Matemática aplicada em imagens orbitais é uma alternativa econômica e eficaz para extração de feições de interesse que podem ser utilizadas em processos de atualização das cartas Brasileiras.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A origem da Morfologia Matemática remonta a 1964, com trabalhos de Matheron e Serra na Escola de Minas de Paris localizada em Fontainebleau, França.

Segundo Soille (1999), a Morfologia Matemática pode ser definida como uma teoria para a análise das estruturas espaciais. Esta é chamada de morfologia, pois seu objetivo é analisar a forma e o modelo dos objetos. Ela é matemática no sentido que a análise é baseada no conjunto de teorias geométricas e algébricas. A Morfologia Matemática não é apenas uma teoria, mas uma poderosa técnica de análise de imagens.

Os pilares dessa ferramenta apóiam-se na noção teórica de uma análise da estrutura geométrica das imagens, através de um conjunto conhecido e bem definido denominado elemento estruturante. Este elemento é a chave para o sucesso das operações, desde que seja escolhido de forma adequada. O elemento estruturante é um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), que é comparado, a partir de uma transformação ao conjunto desconhecido da imagem. O resultado desta transformação permite avaliar o conjunto desconhecido (FACON, 1996). Alguns exemplos de elementos estruturantes (3x3), com origem no centro do elemento, são apresentados na Figura 1(a),(b) e (c).

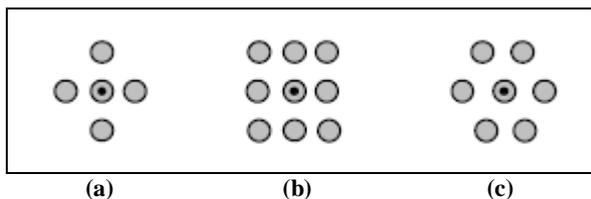


Fig. 1 - Elemento Estruturante - (a) Cruz, (b) Quadrado, (c) Hexagonal

A Morfologia Matemática é constituída a partir de dois operadores básicos: erosão e dilatação.

3.1 Erosão

De acordo com Soille (1999), a erosão de f por um elemento estruturante B é definida como:

$$[\mathcal{E}^B(f)](x) = \min_{b \in B} f(x + b) \quad (1)$$

Como se observa pela Equação 1, o valor da erosão para um dado *pixel* x é o valor mínimo da imagem na janela definida pelo elemento estruturante quando sua origem está em x .

O resultado visual da imagem erodida em níveis de cinza se apresenta com uma redução dos padrões claros e o alargamento das regiões escuras. Esses efeitos podem ser observados na Figura 2, que ilustra a imagem original (2a) e a aplicação do operador erosão em níveis de cinza com elemento estruturante de tamanho 3x3(2b), máscara cheia.

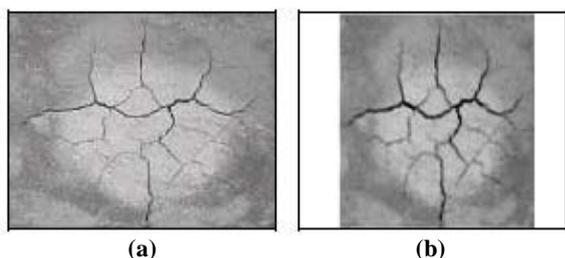


Fig. 2 (a) Imagem original, (b) Imagem resultante da erosão em níveis de cinza

3.2 Dilatação

A dilatação de um sinal f por um elemento estruturante B , segundo Soille (1999) é:

$$[\mathcal{D}^B(f)](x) = \max_{b \in B} f(x + b) \quad (2)$$

Segundo a Equação 2, o valor da dilatação para um dado *pixel* x é o valor máximo da imagem na janela definida pelo elemento estruturante quando sua origem está em x .

O resultado visual da imagem dilatada em níveis de cinza apresenta-se com diminuições dos padrões escuros e alargamento nas regiões claras. A Figura 3 ilustra a imagem original(3a) e a imagem após a aplicação do operador dilatação em níveis de cinza com elemento estruturante de tamanho 3x3(3b), máscara cheia.

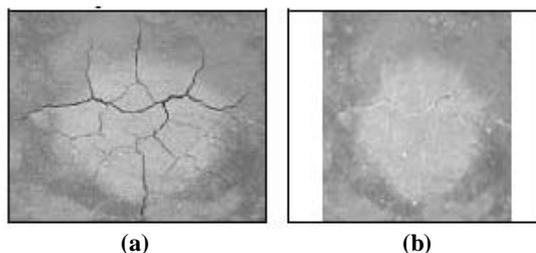


Fig. 3 (a) Imagem original, (b) Imagem resultante da dilatação em níveis de cinza

Os operadores dilatação e erosão morfológicas aplicados isoladamente, são transformações que nem sempre evidenciam características das imagens. De qualquer forma, permitem construir operadores muito interessantes, como por exemplo, o fechamento e a abertura.

3.3 Toolbox

A *toolbox* (caixa de ferramentas) de Morfologia Matemática é um conjunto específico de arquivos que tem como plataforma o *software* de linguagem matemática chamado *MATLAB*. Nela estão contidos todos os operadores morfológicos utilizados. A *toolbox* foi desenvolvida pela *SDC Information Systems*.

4. ÁREAS TESTES

Utilizou-se para os processamentos morfológicos dois recortes de imagens. Um contendo o Jóquei Clube Brasileiro localizada na cidade do Rio de Janeiro – RJ. Este recorte foi obtido a partir do satélite IKONOS, com resolução espacial de 4m no modo multiespectral, órbita Polar e heliossíncrona, datada de 2005. A Figura 4 apresenta a imagem original contendo a hípica.



Figura 4 – Hipódromo do Rio de Janeiro

A segunda área é um recorte contendo o Jóquei Clube de São Paulo – SP, também datada de 2005. Este segundo recorte é do satélite

QUICKBIRD, com resolução espacial de 1m no modo multiespectral, órbita Polar e heliossíncrona. Na Figura 5 é ilustrado o recorte utilizado.

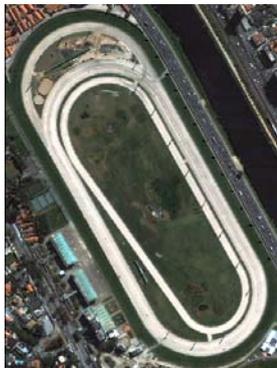


Figura 5 – Jôquei Clube de São Paulo

5 METODOLOGIA

A manipulação das imagens foi realizada na caixa de ferramentas “*Toolbox*” de Morfologia Matemática (MM) desenvolvida pela *SDC Information Systems*.

Antes da extração das feições de interesse, aplicou-se rotinas de morfologia matemática visando a melhoria da qualidade visual de feições cartográficas com o intuito de facilitar o processo de extração.

Após a extração, as imagens foram sobrepostas aos mapas digitais. Tal processo teve por objetivo comprovar o potencial do uso das ferramentas morfológicas.

As cartas topográficas referente aos hipódromos foram convertidas do formato analógico para o digital por meio de um scanner A4. Para o georreferenciamento foram utilizados pontos de controle, sendo estes correspondentes aos cruzamentos entre paralelos e meridianos das cartas topográficas.

Foram aplicados os filtros convencionais Gradiente e Sobel sobre as imagens originais contendo os hipódromos com o propósito de realizar a comparação visual entre os resultados obtidos com processos de extração morfológica com os métodos convencionais.

No final de todo processo, utilizou-se de parâmetros estatísticos de integridade (completeza) e exatidão, com o objetivo de verificar quantitativamente os resultados obtidos.

Espera-se através dos resultados obtidos, que o uso dos operadores morfológicos em imagens seja encarado como um método aplicável em atividades de Cartografia de forma corrente. Para o desenvolvimento deste trabalho, as etapas desenvolvidas foram:

- 1 Definição das áreas testes;
- 2 Desenvolvimento e aplicação de rotinas para a melhoria visual das feições cartográficas detectadas;
- 3 Extração da feição de interesse;
- 4 Georeferenciamento das cartas topográficas e dos hipódromos detectados por MM;

- 5 Vetorizações dos resultados da extração dos Hipódromos;
- 6 Sobreposições das feições detectadas via MM sobre as cartas topográficas;
- 7 Aplicação de operadores de extração de bordas convencionais;
- 8 Comparação visual entre os resultados obtidos por MM e métodos convencionais;
- 9 Aplicação dos testes estatísticos;
- 10 Análises dos resultados finais obtidos;
- 11 Conclusões;

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O primeiro passo foi converter os recortes de imagens multiespectrais para níveis de cinza, para iniciar os processamentos morfológicos. A Figura 6(a) e (b) ilustra as mesmas em níveis de cinza. Para um melhor entendimento, adotou-se a nomenclatura (a) para todos os recortes contendo a hípica do RJ e, (b) para os recortes da hípica de SP.

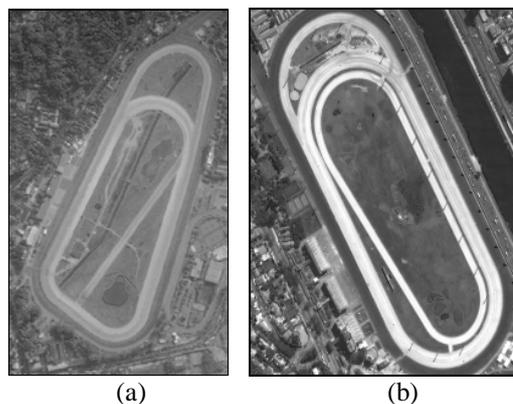


Figura 6(a) e (b) – Imagens em tons de cinza

A partir das conversões das imagens para níveis de cinza, deu-se início aos pré-processamentos. Os hipódromos destacaram-se mais em relação as demais feições presentes na imagem após os pré-processamentos, e como os resultados obtidos nesta etapa são melhores que as imagens originais, as imagens pré-processadas foram utilizadas como imagens de entrada. Deve-se ressaltar que os parâmetros utilizados nas funções variam conforme os alvos presentes na imagem. Foram empregados os que melhor se adequaram as imagens e apresentaram melhores resultados.

Com o propósito de validar a rotina elaborada, a mesma foi aplicada para a extração das raiais dos dois hipódromos, porém com os valores dos limiares alterados em função dos níveis de cinza presentes nas imagens. Vale destacar que para cada imagem os valores de brilho dos alvos contidos variam, o que leva a necessidade da alteração dos limiares. A escolha deles, na maioria das vezes, foi feita com base na análise do histograma da imagem.

Sendo assim, o primeiro operador utilizado foi o *hsteq*, cujo objetivo foi aumentar o contraste entre as feições. Os resultados desta aplicação são ilustrados na Figura 7(a) e (b).



(a) (b)
Figura 7(a) e (b) – Imagens contrastadas

Na seqüência, aplicou-se o operador *hbasin*, com limiares 10 e 150 respectivamente para cada recorte. Este operador tem a função de remover valores com contraste menor que o limiar escolhido por meio da reconstrução da imagem em tons de cinza. A Figura 8(a) e (b) mostram os resultados de tal aplicação.



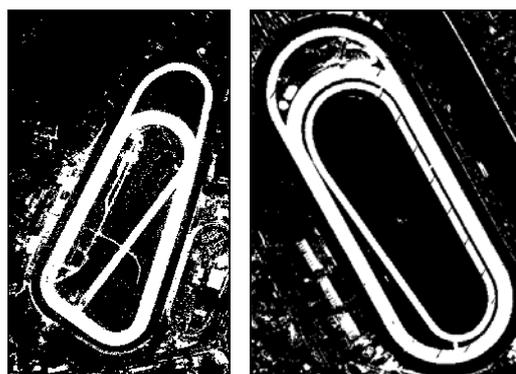
(a) (b)
Figura 8(a) e (b) – Remoções de picos de contraste

O próximo operador empregado foi o *addm*, com limiares 50 e 20, cuja função é criar uma nova imagem pela adição de outras duas, com saturação. Os resultados da aplicação deste operador estão na Figura 9(a) e (b).



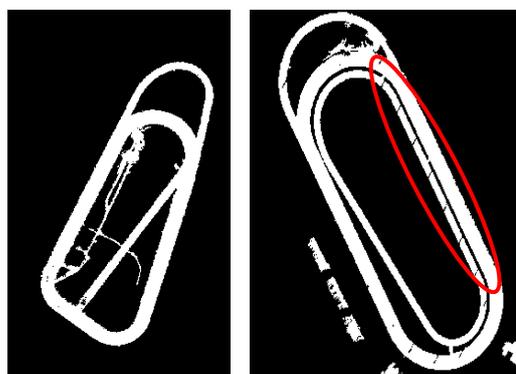
(a) (b)
Figura 9(a) e (b)– Imagens adicionadas

Terminada a etapa de pré-processamento, as imagens foram binarizadas com limiares 245 e 225 respectivamente para cada recorte. Tais valores foram obtidos pela análise dos histogramas das imagens. Os valores de pixels que estavam abaixo do limiar estipulado assumiram o valor “0” (preto) e os valores que estavam acima receberam valor “1” (branco). Os resultados da aplicação deste operador são ilustrados na Figura 10(a) e (b).



(a) (b)
Figura 10(a) e (b)– Imagens binarizadas

Na seqüência, aplicou-se o operador *areaopen*, com limiares 21000 e 1000 respectivamente para cada recorte. Esse operador tem por objetivo remover qualquer componente com área menor que um valor estipulado. A Figura 11(a) e (b) mostram os resultados obtidos.



(a) (b)
Figura 11(a) e (b)– Remoções de ruídos

Note que a hípica do RJ ilustrada na Figura 11(a) encontra-se totalmente extraída. Já a hípica de SP ilustrada na Figura 11(b) necessita de mais processamentos. Sendo assim, os próximos processamentos aplicados são referentes apenas aos recortes referentes ao hipódromo de SP com nomenclatura (b).

Na etapa seguinte, o resultado da imagem ilustrado na Figura 11(b) foi dilatado pelo operador *dil*, com o propósito de conectar as discontinuidades das raíes do hipódromo para a remoção dos ruídos que

restaram. Tais discontinuidades estão indicadas pela elipse. Vale ressaltar que a dilatação é um operador fundamental para a construção de todos os outros operadores morfológicos, sendo chamado operador elementar de Morfologia Matemática. O resultado da dilatação é ilustrado na Figura 12(b).

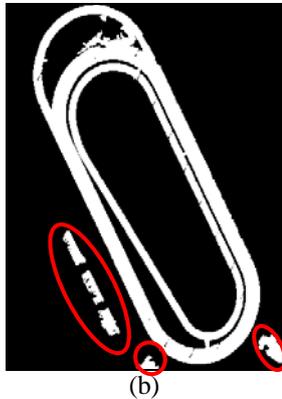


Figura 12(b) – Imagem dilatada

Com o intuito de remover os ruídos restantes, aplicou-se o operador *areaopen*, com limiar 4000, novamente. O resultado é ilustrado na Figura 13(b).

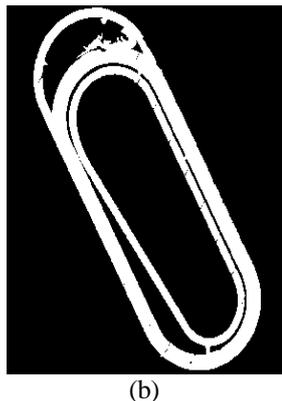


Figura 13(b) – Remoção de ruídos

Em seguida, a imagem foi erodida pelo operador *ero*, retomando a sua forma original, devido a mesma ter sido dilatada anteriormente. O resultado da erosão é ilustrado na Figura 14(b).

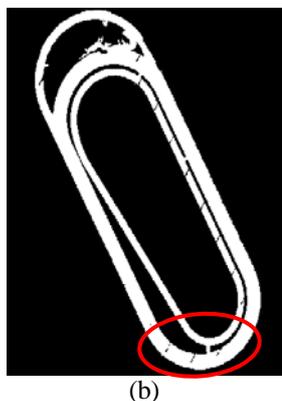


Figura 14(b) – Imagem erodida

A partir da análise da imagem, foi possível perceber alguns ruídos no interior das raias, o que levou a aplicação do operador *areaclose*, com limiar 100, para a remoção desses. O resultado é dado na ilustração 15(b).

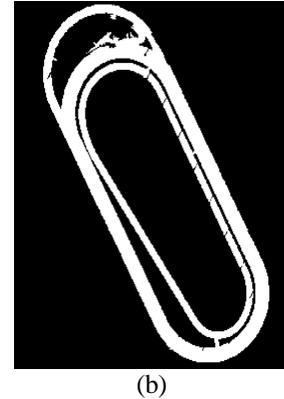


Figura 15(b) – Remoção de ruídos internos

Para finalizar, aplicou-se o operador *close* sobre os resultados obtidos nas Figuras 11(a) e 15(b), com o objetivo de gerar o fechamento morfológico das imagens. Este operador preenche pequenos buracos e lacunas no contorno de uma imagem. Os resultados da aplicação são dados pela Figura 16(a) e (b).

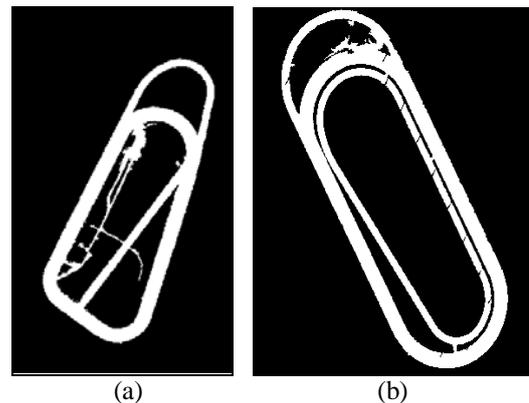


Figura 16(a) e (b)– Hipódromos detectados

Os mesmos resultados são apresentados na Figuras 17(a) e (b), porém, com os valores de brilho invertidos.

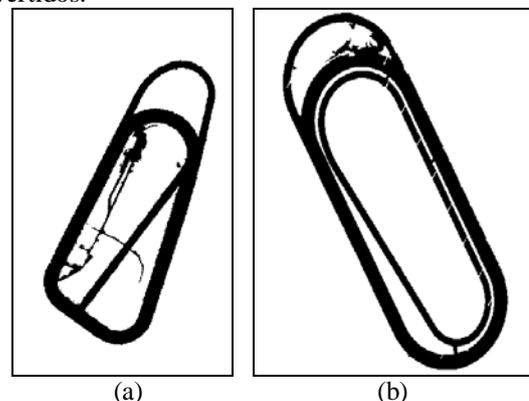


Figura 17(a) e (b)– Hipódromos detectados

Para comprovar visualmente que a feição foi totalmente detectada, realizou-se as sobreposições dos hipódromos detectados sobre as imagens originais. A Figura 18(a) e (b) mostram os resultados sobrepostos.

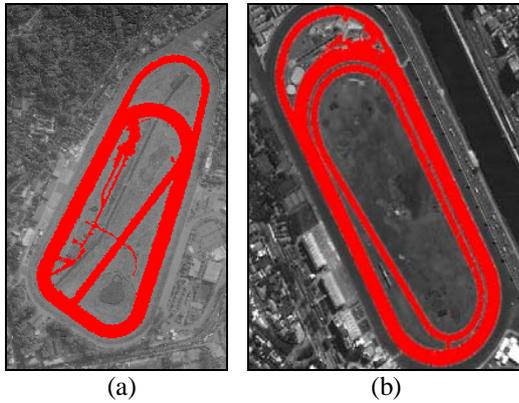


Figura 18(a) e (b)– Sobreposições

Os resultados obtidos indicam que os processamentos morfológicos empregados foram adequados para que as feições de interesse fossem detectadas e comprovam que aplicação de rotinas morfológicas não altera a posição locacional das feições em relação à original.

6.1 APLICAÇÃO DOS FILTROS GRADIENTE E SOBEL

Realizou-se a aplicação dos filtros de Gradiente e Sobel, nas imagens contendo os hipódromos, com o propósito de ser efetuada a comparação visual entre os resultados obtidos por MM e os por métodos convencionais.

Com o intuito de facilitar a comparação, os resultados da aplicação dos filtros convencionais e os da MM estão apresentados em conjunto na Figura 19(a), (b), (c) e (d) para a hípica de SP e na Figura 20(a), (b), (c) e (d) para a hípica do RJ.

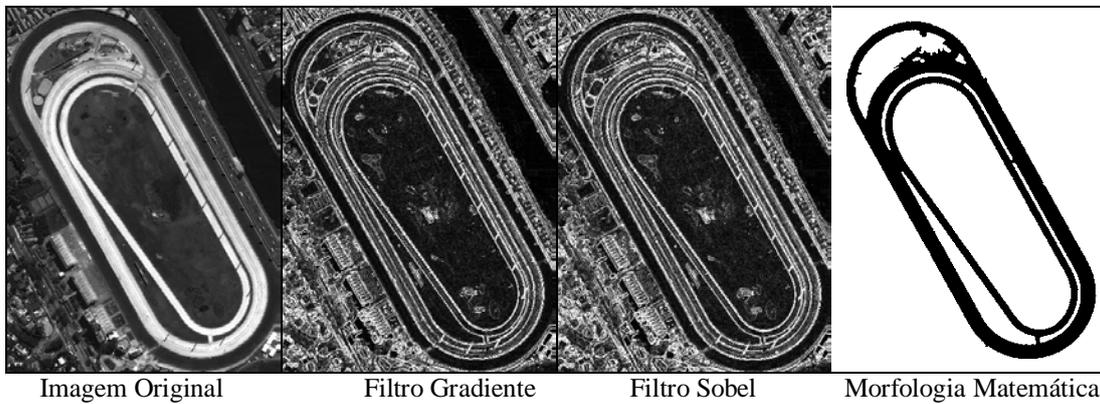


Figura 19(a), (b), (c) e (d) – Resultado da aplicação dos filtros para a hípica de SP

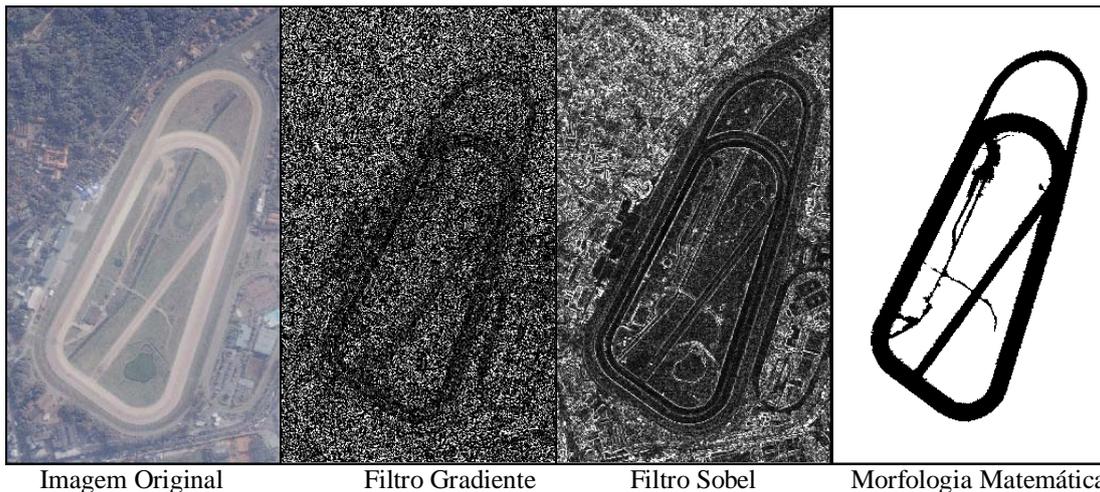


Figura 20(a), (b), (c) e (d) – Resultado da aplicação dos filtros para a hípica do RJ

Na comparação visual entre os resultados obtidos pelos operadores morfológicos e os convencionais apresentados nas Figuras 19 e 20, percebe-se que os resultados obtidos convencionalmente apresentam maior segmentação ao redor das feições de interesse que os obtidos por MM, o que dificulta o processo de atualização e indica que a extração via MM apresentou melhores resultados.

6.2 SOBREPOSIÇÃO DO RESULTADO OBTIDO VIA MM COM A CARTA TOPOGRÁFICA

Para comprovar que as detecções das feições a partir dos operadores morfológicos atendem os objetivos esperados, foram realizadas as sobreposições das feições detectadas nos processamentos com as respectivas bases digitais da região homóloga na carta topográfica.

As sobreposições foram efetuadas com o uso do software *Spring*.

Primeiramente, foi necessário “scanear” a área da carta topográfica correspondente as áreas testes utilizadas. Estando as cartas topográficas no formato Raster, as imagens foram referenciadas no software *Spring*. Na seqüência, realizou-se o georeferenciamento das cartas topográficas utilizando as coordenadas UTM do retângulo envolvente dos recortes das cartas topográficas. Estando as cartas georeferenciadas, o próximo passo foi selecionar os pontos de controle a serem utilizados no processo de georeferenciamento dos recortes das imagens. Foram utilizados 6 pontos de controle para o georeferenciamento de cada carta topográfica e 6 para cada recorte.

Na tabela 1 ilustrada na seqüência apresenta os valores resultantes nas componentes XY dos georeferenciamentos.

Resultado Georeferenciamentos		
	Hípica de SP	Hípica do RJ
Carta Topográfica	0,2577pixel	0,2435pixel
Feição extraída	0,9708pixel	0,6233pixel

Analisando os resultados dados na tabela 1, verifica-se que os resultados apresentam precisão planimétrica abaixo de 1 pixel.

A partir do georeferenciamento dos resultados obtidos via MM, foi possível realizar a vetorização das pistas dos hipódromos as quais foram sobrepostas às cartas topográficas posteriormente. As Figuras 21 e 22 e as 23 e 24 mostram os hipódromos vetorizados e sobrepostos.

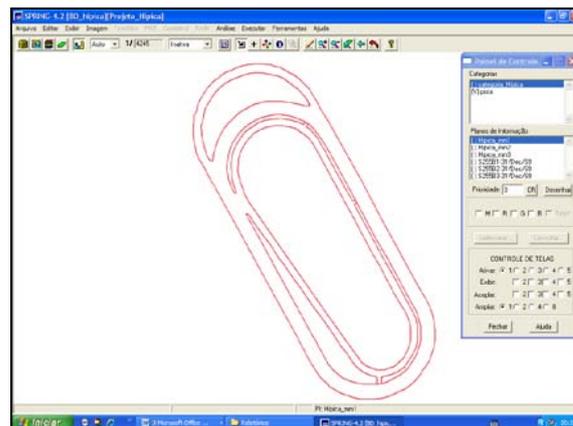


Figura 21 – Hípica de SP Vetorizada

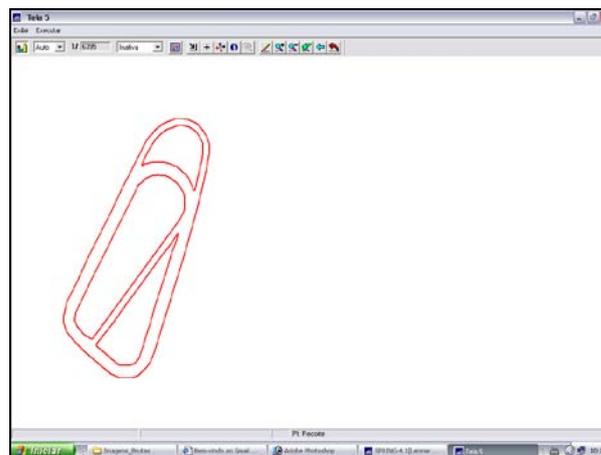


Figura 22 – Hípica do RJ Vetorizada

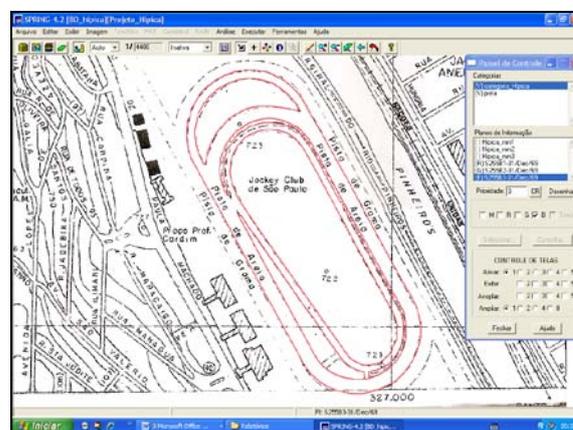


Figura 23 – Resultado da Sobreposição na Carta

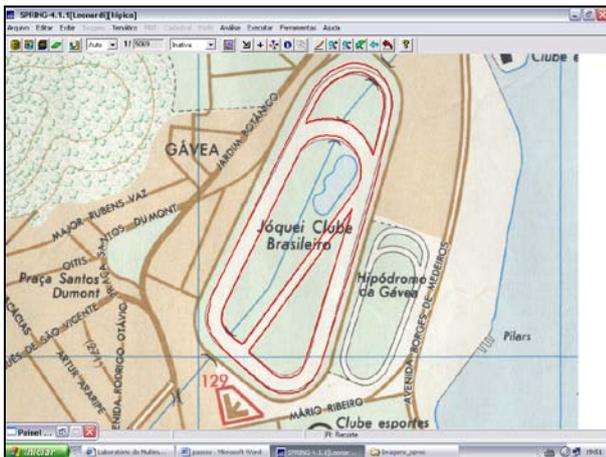


Figura 24 – Resultado da Sobreposição na Carta

Das análises das Figuras 23 e 24, depreende-se que as detecções foram realizadas com sucesso, confirmando que a rotina morfológica elaborada pode ser utilizada na extração de raias de hipódromos, já que a sobreposições das feições homólogas foram realizadas a contento.

Observando os resultados obtidos é possível perceber que houve um ótimo “casamento” entre as feições cartográficas detectadas nas imagens (vermelho) e os mapas digitais das áreas testes, fato esse que vem comprovar o potencial de uso das ferramentas morfológicas contidas na *Toolbox* (caixa de ferramentas) de Morfologia Matemática como técnica alternativa para a extração de feições visando à atualização de produtos cartográficos. As pequenas diferenças no “casamento” das feições sobrepostas podem ser explicadas pelas raias dos hipódromos serem de areia e pela generalização cartográfica adotado nas cartas topográficas. O importante é que para processos de atualização os resultados obtidos na extração das feições podem ser utilizados a contento.

6.3 ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA LINEAR

O desenvolvimento da análise linear comparativa foi executado a partir do programa L-CAT (*Linear Feature Comparative Analysis Toolbox*, SEO e O’HARA, 2004), que toma como base a comparação entre *buffers* calculados a partir das linhas de referência e das linhas extraídas e/ou detectadas. O L-CAT os compara na forma matricial, razão pelas quais os elementos lineares que alimentam o programa são inicialmente convertidos para *raster*.

Devido ao grande incentivo para atualização e manutenção da base cartográfica viária norte-americana, o programa L-CAT foi desenvolvido com o objetivo de fornecer parâmetros quantitativos para avaliar a correspondência entre rodovias extraídas manual ou automaticamente a partir de imagens e mapas viários existentes.

Nesta etapa do trabalho, utilizou-se de funções de correspondência entre feições lineares, como

integridade (ou completeza - *completeness*) e precisão (*correctness*), entre os elementos lineares extraídos/detectados e os elementos lineares de referência, bem como a redundância com que esses elementos lineares apresentam.

Segundo (Nóbrega, R. A. A. 2005), a correspondência entre as linhas referenciais e linhas extraídas tem como base a análise do casamento geométrico entre ambas as feições.

Weidemann (2003), diz que, quanto maior a tolerância para o casamento entre as linhas, menor o rigor do processo de extração. No entanto, uma tolerância maior desse casamento acaba gerando resultados aparentemente mais precisos e, na prática, menos confiáveis, uma vez que a área de abrangência dos *buffers* passa a ser aumentada. A adoção de *buffers* com largura próxima da largura real das vias implica em resultados mais próximos do real.

Para a realização da correspondência linear, são necessários alguns parâmetros básicos, que por Wiedemann (2003) e Seo e O’Hara (2003) podem ser descritos por:

- Integridade (*completeness*): percentual dos dados de referência que podem ser explicados pelos dados extraídos. Em outras palavras, a completeza revela o percentual da rede de referência detectada no processo de extração. O valor ótimo da completeza é 100%.

$$\text{integridade} = \frac{\text{comprimento da linha extraída}}{\text{comprimento do buffer de referência}}$$

- exatidão (*correctness*): percentual das linhas corretamente extraídas, ou seja, o percentual das linhas extraídas que se encontra de acordo com as linhas referenciais. O valor ótimo da precisão é 100%.

$$\text{exatidão} = \frac{\text{comprimento da linha referência}}{\text{comprimento do buffer da linha extraída}}$$

Para a análise de correspondência linear, são utilizados outros parâmetros que permitem inferir sobre a qualidade da malha linear extraída. Esses parâmetros são chamados de qualidade, ordem de distância e lacunas. Para Wiedemann (2003), esses três parâmetros que são derivados da integridade e da exatidão, não fornecem informações mais significativas do que a integridade e a exatidão.

Sendo assim, utilizou-se desses dois parâmetros para avaliar os resultados obtidos nos processamentos morfológicos. A Tabela 2 ilustra os resultados da aplicação dos parâmetros estatísticos de completeza e exatidão para as hípcas de São Paulo e do Rio de Janeiro.

Tabela 2 – Síntese dos testes estatísticos

	Hípica de SP	Hípica do RJ
Completeza	97,86%	98,27%
Exatidão	97,85%	98,08%

Analisando os resultados na tabela de síntese, verifica-se que os resultados são excelentes, e confirmam quantitativamente a viabilidade de aplicação dos operadores morfológicos na extração de alvos de interesse.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos atenderam aos objetivos quanto ao uso das ferramentas da Morfologia Matemática nos processos de melhoria da qualidade visual da imagem original e da extração de feições cartográficas em imagens digitais visando à utilização destes na atualização de produtos cartográficos por métodos convencionais.

Vale ressaltar que a escolha dos operadores e limiares adequados contribuíram sobremaneira para a extração da feição, resultando em processamentos morfológicos adequados.

Todos os limiares adotados basearam-se na análise do histograma da imagem envolvida. A escolha adequada destes limiares é uma das chaves para que os resultados obtidos sejam os melhores possíveis, e com isso possam ser obtidos bons resultados sem que haja a necessidade da aplicação de muitos operadores na imagem.

A partir dos bons resultados obtidos na sobreposição das feições detectadas com as cartas topográficas digitais, foi possível demonstrar a potencialidade do uso dos operadores morfológicos em cartografia.

No que refere-se aos resultados estatísticos, tanto nos parâmetros de completeza (“*completeness*”) quanto para os parâmetros de exatidão (“*correctness*”), para ambas as imagens aplicados, obteve-se mais de 97% de qualidade nos alvos detectados morfológicamente.

Com a aplicação dos testes estatísticos e dos filtros convencionais de extração de bordas, fica comprovada quantitativamente e qualitativamente a viabilidade de uso das ferramentas morfológicas nos processos de extração de feições com vistas a possibilidade de atualização cartográfica.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

FACON, J. **Morfologia Matemática: Teorias e Exemplos**. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba. 1996. xii. 320p: il.

GOUTSIAS, J., HEIJMANS, H.J.A M. **Mathematical Morphology**. 2000. ISBN 1 58603 056 6.

SERRA, J. **Image analysis and mathematical morphology**. London: Academic Press, 1982. 610p.

SILVA, E. A. *Extração de feições cartográficas de imagens multiespectrais fundidas*. São Paulo:USP, 1995. 114p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP, 1995.

SDC MORFHOLOGY “TOOLBOX” FOR MATLAB 5, SDC “Information Systems”, June 28, 1999

BAKKER, M. P. R. **Cartografia: Noções Básicas** - Rio de Janeiro: DHN, 1965. 242p.

HARLEY, J. B. **A nova história da Cartografia**. O Correio da UNESP, Rio de Janeiro, v. 19, n. 08, p. 3-9, ago. 1991.