

# O Uso de Morfologia Matemática na Detecção de Pistas em Autódromo

Thiago Gonçalves Rodrigues<sup>1†</sup>, Fernando Leonardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Avenida dos Astronautas, 1758 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil*

Erivaldo Antônio da Silva<sup>2†</sup>

<sup>2</sup>*Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT/UNESP - Depto de Cartografia  
R. Roberto Simonsen, 305-Campus Universitário-19060-900-Presidente Prudente-SP - Brasil*

## ABSTRACT

Brazil needs cheap faster and alternative methods that can be used in processes of extraction cartographic features whose resulted will be used in the update of cartographic bases. With this intention, the images of remote sensing have contributed of decisive form, together with techniques of Digital Processing Images (DPI). One of these techniques is the theory of the Mathematical Morphology. – MM. The MM is based on the principle of the images geometric structure analysis. The image used contains features of interest the racecourse of Interlagos – SP -Brazil area from IKONOS with 1 meter of spatial resolution. With the use of the Theory of Mathematical Morphology, this work has for main to detect the tracks of the racecourse from digital image through the application of morphologic operators. Many are the techniques available for this goal. In this paper we used Remote Sensing allied to Digital Image Processing (DPI). The used operators had improved the visual quality of the original image, contributing for the improvement of the process of detection of the main features. The manipulation of the images was carried through in the box of tools (“Toolbox”) of Mathematical Morphology (MM) developed by the SDC Information Systems, which works connected to software MATLAB. The results obtained were very interesting and comproved the potencial use of the MM in cartography to detect racecourse tracks.

## 1. INTRODUÇÃO

Os produtos cartográficos são de fundamental importância para o planejamento e o gerenciamento urbano e rural nas esferas municipal, estadual e nacional. Portanto, a atualização destes é uma prática necessária devido as constantes alterações na superfície terrestre.

---

† Autor correspondente ([silva.erivaldo@gmail.com](mailto:silva.erivaldo@gmail.com))

<sup>1</sup> Mestrando em Sensoriamento Remoto

<sup>2</sup> Professor

Segundo a Associação Cartográfica Internacional (ACI) a definição de cartografia é o conjunto dos estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que intervêm na elaboração dos mapas a partir dos resultados das observações diretas ou da exploração da documentação, bem como da sua utilização.

O mapa é de todas as modalidades de comunicação, uma das mais antigas da humanidade. Desde cedo, os homens preocupam-se em demarcar e representar os seus limites espaciais de ocupação.

Um dos problemas enfrentados pelo Brasil é a desatualização de seus produtos cartográficos, o qual pode chegar a 3 décadas e nas mais diversas escalas. Um país com dimensão continental como o Brasil necessita de uma base cartográfica sólida e atualizada.

O Brasil requer alternativas que permitam realizar a atualização de produtos cartográficos a um baixo custo. Esse processo é de grande importância para a obtenção de bases cartográficas confiáveis e economicamente viáveis, sem a necessidade de realizar procedimentos convencionais, que são dispendiosos e demorados. Uma forma utilizada para reduzir o custo e minimizar a desatualização é o uso integrado de produtos de sensoriamento Remoto e técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI).

Dentre as ferramentas de PDI, escolheu-se para o desenvolvimento deste trabalho, a teoria de Morfologia Matemática – (MM), elaborada inicialmente por Matheron (1975) e Serra (1982) e seus colaboradores a partir de 1964, na escola Superior de Minas de Paris.

Segundo Soille (1999), a Morfologia Matemática pode ser definida como uma teoria para análise das estruturas espaciais. Ela visa analisar a forma dos objetos, através da teoria de conjuntos, integrais geométricas e álgebra booleana. A Morfologia Matemática não é apenas uma teoria, mas também uma poderosa técnica de análise de imagens.

Os produtos de Sensoriamento Remoto objetiva a identificação dos alvos presentes no ambiente terrestre, esta identificação é dada através do estudo da relação entre radiação eletromagnética dos alvos e do meio, sem o contato físico direto. Portanto, a partir da identificação dos alvos pelos sensores a Morfologia Matemática é utilizada na detecção dos mesmos, sendo que posterior à detecção pode ser feito o processo de atualização.

A “Toolbox” (caixa de ferramentas) de Morfologia Matemática foi desenvolvida pela SDC Information Systems. Esta utiliza técnicas de Processamento digital de Imagens com o objetivo de realce, detecção de bordas, afinamento, esqueletização e análise de formas. Esta caixa de ferramenta roda acoplada ao *software* MATLAB.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Morfologia Matemática

Segundo Banon et al. (1994), a base da Morfologia Matemática está no estudo de decomposições de operadores entre reticulados completos em termos de quatro classes de operadores elementares conhecidos por erosão, dilatação, anti-erosão e anti-dilatação. A MM fundamenta-se no uso dos elementos estruturantes.

O elemento estruturante segundo Facon (1996) é um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), o qual é comparado, a partir de uma transformação, ao conjunto desconhecido da imagem. O resultado desta transformação permite avaliar o conjunto desconhecido. Alguns exemplos de elementos estruturantes, com origem no centro do elemento, são apresentados na Figura 1.

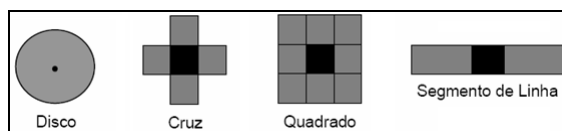


Figura 1 – Elemento estruturante.

A MM é constituída a partir de dois operadores básicos: a erosão e a dilatação. A erosão de  $f$  por um elemento estruturante  $B$  é definida como (Soille, 1999):

$$[\delta_B(f)](x) = \min_{b \in B} \{f(x+b) - B(b)\} \quad (1)$$

Os efeitos da erosão em níveis de cinza são:

- Escurecer a imagem;
- Alargar e engordar os valores (padrões escuros);
- Conectar vales próximos;
- Reduzir e às vezes eliminar picos (padrões claros); e
- Separar picos próximos.

O resultado visual da imagem erodida em níveis de cinza ilustrado na Figura 2.



Figura 2 – Resultado da erosão em níveis de cinza com determinado elemento estruturante.  
Fonte: Silva (1995).

A dilatação de uma imagem em tons de cinza por um elemento estruturante é definida como (Soille, 1999):

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

Os efeitos da dilatação em níveis de cinza são:

- Clarear a imagem;
- Alargar e engordar os picos (padrões claros);
- Conectar picos próximos;
- Reduzir e às vezes eliminar vales (padrões escuros); e
- Separar vales próximos.

O resultado visual da imagem dilatada em níveis de cinza está ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Resultado da dilatação em níveis de cinza com um determinado elemento estruturante.  
Fonte: Silva (1995).

Observa-se que os operadores dilatação e erosão morfológicos, quando aplicados isoladamente, são transformações que nem sempre evidenciam características das imagens, ou

seja, não realçam as características da imagem. Tem-se que a erosão e dilatação fornecem condições básicas para a construção dos demais operadores morfológicos, como gradiente morfológico, abertura, fechamento.

## 2.2 Gradiente Morfológico

Define o Gradiente Morfológico por dilatação e erosão como sendo a diferença aritmética entre a dilatação e erosão de uma imagem  $f$  por um elemento estruturante  $B$  (Soille, 1999):

$$\rho(f) = \delta_B(f) - \varepsilon_B(f) \quad (3)$$

onde:  $f$  é a imagem original;  $\rho$  representa o gradiente por dilatação e erosão;

$\delta_B$  é a dilatação pelo elemento estruturante  $B$ ;

$\varepsilon_B$  é a erosão pelo elemento estruturante  $B$ .

O gradiente morfológico é invariante à operação de complementação, sendo, portanto uma transformação auto-complementar.

## 2.3 Abertura e Fechamento Morfológicos

Os operadores morfológicos básicos erosão e dilatação podem ser utilizados de forma composta, definindo assim dois outros operadores morfológicos conhecidos como abertura e fechamento.

A abertura  $\gamma_B$  de uma imagem  $f$  por um elemento estruturante  $B$ , é definida pela operação de erosão de  $f$  por  $B$ , seguido pela operação de dilatação com elemento estruturante transposto  $\tilde{B}$ , a qual é determinada pela expressão 4:

$$\gamma_B(f) = \delta_{\tilde{B}}[\varepsilon_B(f)] \quad (4)$$

O fechamento  $\Phi_B$  de uma imagem  $f$  por um elemento estruturante  $B$ , é definido pela operação de dilatação de  $f$  por  $B$ , seguido pela operação de erosão com elemento estruturante transposto  $\tilde{B}$ , o qual é determinado pela expressão 5:

$$\phi_B(f) = \varepsilon_{\tilde{B}}[\delta_B(f)] \quad (5)$$

## 3. METODOLOGIA

No processamento morfológico foi utilizada uma imagem pancromática com resolução espacial de 1 m do satélite IKONOS, contendo como feição de interesse o Autódromo de Interlagos, localizado no município de São Paulo – SP.

De posse da imagem contendo a feição de interesse, foi elaborada uma rotina, onde foram testados os operadores morfológicos, sendo que os mesmos foram escolhidos considerando as características da feição, de forma que a rotina apresentasse como resultado final a detecção das pistas do autódromo. Para atingir o objetivo do trabalho as etapas seguidas foram:

- Definição da área teste;
- Desenvolvimento e aplicação da rotina;
- Apresentação dos resultados;

- Análise do resultado da detecção;
- Sobreposição na carta; e
- Conclusão.

A Figura 4 apresenta a imagem original do Autódromo de Interlagos.



Figura 4 – Imagem original do Autódromo de Interlagos

A Figura 5 apresenta o fluxograma contendo todas as etapas envolvidas no desenvolvimento e aplicação da rotina para a detecção da feição bem como os operadores utilizados.

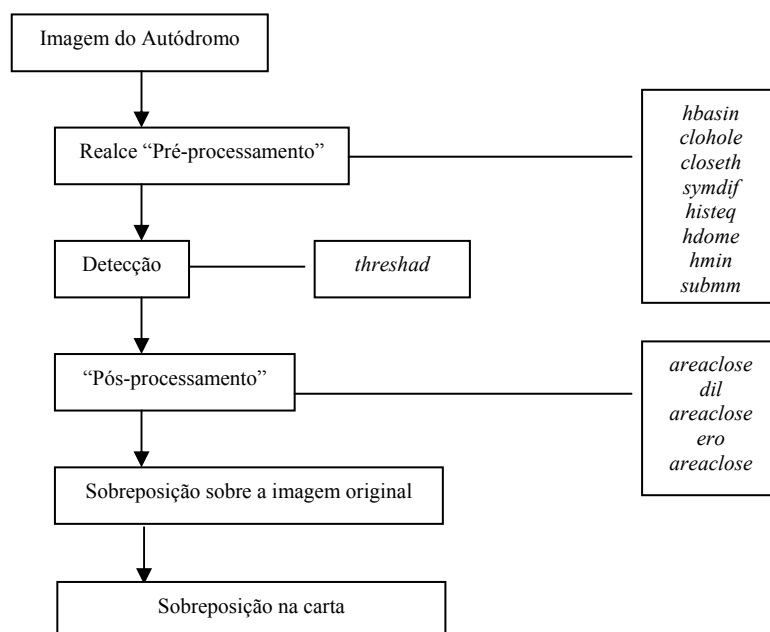


Figura 5 – Fluxograma da etapa de desenvolvimento e aplicação da rotina

Para a sobreposição entre as imagens contendo a feição extraída e a carta topográfica foi necessária as etapas apresentadas na Figura 6.

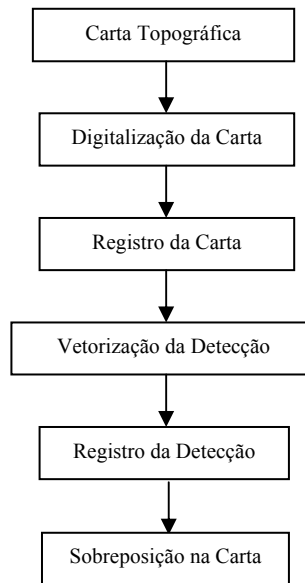


Figura 6 – Fluxograma da etapa de sobreposição na carta

#### 4. RESULTADOS

Inicialmente, com o intuito de realçar as pistas do autódromo, foi realizada a etapa de pré-processamento. Nesta, utilizou-se o operador *basin* com limiar 50, cujo objetivo foi remover os valores com contraste menor que 50.

Na seqüência, para diferenciar as pistas do autódromo das feições do seu entorno, aplicou-se o operador *clohole* com elemento estruturante *secross* de tamanho 1. Este operador cria uma imagem por meio do fechamento dos buracos de acordo com o elemento estruturante adotado.

Em seguida, utilizou-se o operador *closeth* com elemento estruturante *sedisk* de tamanho 5. Este operador gera uma imagem a partir da subtração entre o fechamento morfológico da imagem anterior e o elemento estruturante. O resultado visual de sua aplicação permite diferenciar as pistas com tons mais claros e as feições em seu entorno com tons mais escuros.

No intuito de deixar as pistas com tons escuros e as feições do entorno com tons claros, utilizou-se o operador *syndif*. Este operador cria a imagem a partir da união e subtração entre as imagens geradas a partir dos operadores *closeth* e *clohole*.

Aplicou-se em seguida o operador *histeq* para aumentar o contraste entre as feições através da equalização dos níveis de cinza.

Dando continuidade, utilizou-se o operador *hdome* com limiar 50, para que a pista apresentasse um maior destaque, facilitando a diferenciação dos pixels das bordas da mesma. O objetivo deste operador foi reconstruir uma imagem em tons de cinza pela subtração de um valor inteiro e positivo, ou seja, remover os picos com contraste menor que o limiar estipulado.

Na seqüência utilizou-se o operador *hmin* com limiar 50 e elemento estruturante *sedisk* tamanho 1. Este operador teve por objetivo reconstruir a imagem pelo marcador criado pela adição de um valor inteiro positivo usando a conectividade do elemento estruturante.

Finalizando a etapa de pré-processamento utilizou-se o operador *subm*. Com a aplicação deste operador houve uma melhora nos pixels das bordas, facilitando dessa forma a detecção da pista do autódromo. Este operador criou uma imagem pela subtração dos pixels da imagem gerada pelo operador *hmim* e da imagem criada a partir do operador *closeth*.

Todos os operadores citados foram utilizados visando o realce da feição de interesse em relação às outras feições presentes na imagem. Esta etapa é de fundamental importância para detecção. A Figura 7 apresenta o resultado obtido na etapa de pré-processamento.

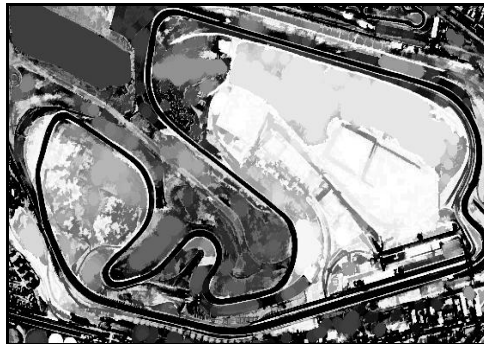


Figura 7 - Imagem pré-processada

Na etapa de detecção da feição de interesse aplicou-se o operador *threshad*, com limiares 17 e 240 com objetivo de converter a imagem em tons de cinza em uma imagem binária. O limiar foi escolhido através da análise do histograma da imagem. Os valores de pixel que estão abaixo do limiar 17 assumem o valor “0” (preto) e os valores que estão acima do limiar 240 recebe valor “1” (branco). A Figura 8 apresenta o resultado da etapa de detecção da feição autódromo.

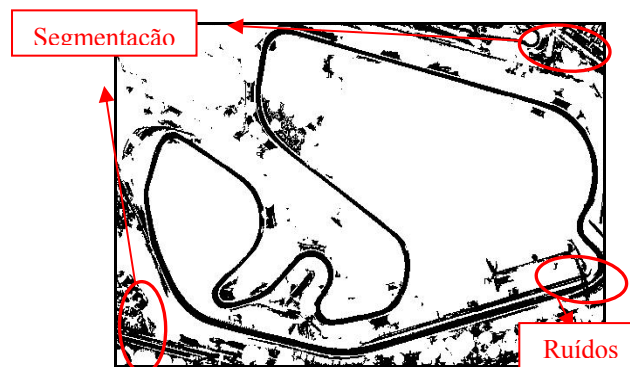


Figura 8 – Feição detectada

Nota-se, pela análise dos resultados obtidos na figura 8, que a imagem detectada apresenta uma grande quantidade de ruídos e segmentação. Definiu-se, neste trabalho, segmentação como sendo todos os pontos da imagem que não fazem parte da feição de interesse e que não está conectados a essa. Já os ruídos são todos os pontos da imagem que estão conectados ou presentes no interior da feição de interesse. Portanto realizou-se a etapa de pós-processamento para eliminar ao máximo a segmentação e os ruídos presentes na imagem.

Utilizou-se o operador *areaclose* com limiar 4000. Este operador eliminou os alvos com área menor que 4000.

Com o objetivo de desconectar ruídos presentes na imagem, aplicou-se o operador *dil* com elemento estruturante *secross* de tamanho 1. Este operador dilata a imagem com base no elemento estruturante *secross*.

A fim de minimizar a segmentação e os ruídos que ainda restaram na imagem, aplicou-se o operador *areaclose* com limiar 40. Este operador eliminou os alvos com área menor 40.

Pelo fato da imagem ter sido dilatada anteriormente, fez-se necessário a realização da erosão para que as características da feição fossem mantidas de acordo com a imagem

original. Portanto aplicou-se o operador *ero* com elemento estruturante *secross* de tamanho 1. Este operador tem por objetivo erodir a imagem através do elemento estruturante.

Por último foi utilizado o operador *areaclose* com limiar 700. Este operador eliminou os alvos com área menor que 700. A Figura 9 mostra o resultado desta etapa e também a sobreposição da imagem contendo a feição detectada com a imagem original.



Figura 9 – Feição detectada sobreposta na imagem original

Com a finalidade de comprovar que a feição detectada pela rotina de operadores morfológicos é eficaz, e que pode ser utilizada como método alternativo para detectar as alterações numa fase anterior à atualização de produtos cartográficos, realizou-se a sobreposição do resultado contendo a feição detectada com a base digital da região homóloga na carta.

A carta topográfica utilizada no processo de conversão analógico-digital possui a nomenclatura SF-23-Y-C-VI-2-SO-C, folha Vila Veleiros do município São Paulo – SP na escala 1:10.000 com coordenadas UTM. O retângulo envolvente utilizado para a feição do autódromo possui coordenadas 7457000m a 7459000m no sentido vertical (N) e 681000m a 683000m no sentido horizontal (E).

Na seqüência são apresentados na Tabela 1 os pontos de controle utilizados no georreferenciamento (transformação afim).

Tabela 1 – Pontos de controle usados para o registro da carta topográfica

Pontos de Controle		
(coordenadas UTM)		
	E(m)	N (m)
1	327041,90	7378148,10
2	326905,00	7378031,80
3	326782,10	7378101,40
4	326740,50	7378134,80
5	326767,40	7377999,80
6	326818,50	7377891,90
7	326678,20	7377891,50
8	326959,10	7377833,90
9	327197,80	7377591,10
10	326700,50	7377523,20
11	326626,20	7377839,90
12	326665,40	7378006,50
13	326733,30	7378197,40
14	326683,30	7377768,00
15	326780,60	7377276,50



As Figuras 10 e 11 ilustram a vetorização do resultado via morfologia matemática.

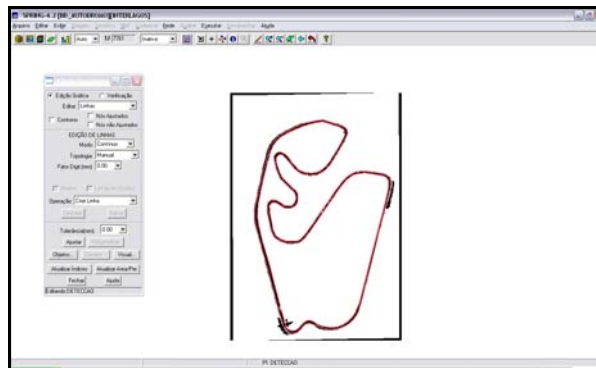


Figura 10 – Imagem da vetorização

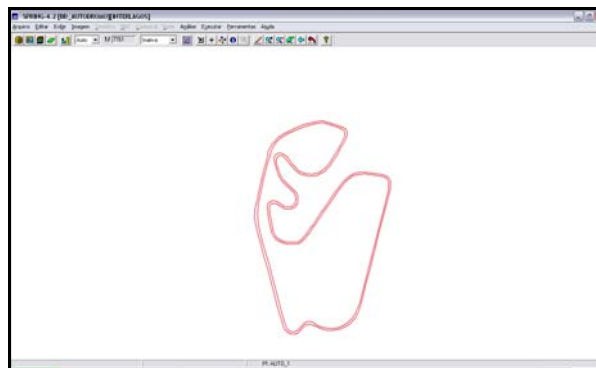


Figura 11 – Vetor Resultante

Para o processo de sobreposição foi necessária a escolha de pontos de controle, que foram obtidos da carta topográfica a partir da utilização do *software* Spring no modo tela. Na Tabela 2 são ilustrados os pontos de controle utilizados no processo de sobreposição.

Tabela 2 – Pontos de controle utilizados no registro da Imagem

Pontos de Controle (coordenadas UTM)		
	E(m)	N (m)
1	326000,00	7378000,00
2	326000,00	7379000,00
3	326000,00	7380000,00
4	327000,00	7380000,00
5	327000,00	7379000,00
6	327000,00	7378000,00

Por seguinte, a figura 12 apresenta o resultado obtido com a sobreposição.

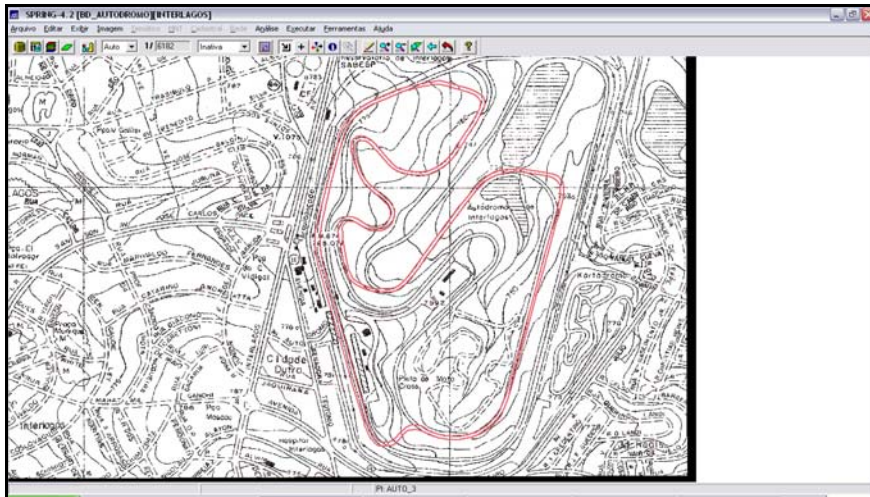


Figura 12 – Resultado da sobreposição

Observando o resultado obtido na Figura 12, pode-se inferir que o resultado da detecção foi positivo e pode ser utilizado para indicar as alterações ocorridas ao longo de tempo e que devem ser atualizadas cartograficamente.

As regiões em que a sobreposição não foi verificada podem ser explicadas pelo fato do traçado do autódromo ter sofrido modificações entre as datas da obtenção da imagem e da produção da carta topográfica. Nas posições onde constatou-se modificações, nota-se que as características da pista foram mantidas e que essas alterações podem ser adicionadas à carta topográfica posteriormente, por métodos convencionais de atualização de produtos cartográficos.

## 5. CONCLUSÃO

Todos os testes realizados com as ferramentas da Morfologia Matemática reafirmam seu potencial de uso na área de Cartografia.

Verifica-se que a Morfologia Matemática juntamente com o Sensoriamento Remoto podem ser utilizados para detecção de alterações e atualização de produtos cartográficos respectivamente, apresentando-se como uma alternativa de baixo custo, viável e com bons resultados, como observar-se nos resultados obtidos nesse trabalho.

Vale ressaltar que a escolha dos operadores e limiares adequados contribuíram sobremaneira para a detecção da feição, na qual o resultado indica que os processamentos morfológicos empregados foram adequados. Todos os limiares e operadores foram escolhidos a partir da observação do histograma da imagem.

Na detecção das pistas do autódromo, houveram alguns ruídos conectados às pistas que não puderam ser eliminados por apresentarem características radiométricas muito semelhantes as pistas.

Observando o resultado obtido é possível perceber que houve uma boa sobreposição entre as feições cartográficas detectadas da imagem (vermelho) e o mapa digital da área teste em preto.

Pode-se ressaltar que na sobreposição da detecção sobre a carta, não houve perda da informação da pista e suas características foram mantidas. Também se observa que houve modificação no traçado da pista e a detecção permite a visualização dessas modificações.

As diferenças entre o traçado da pista na carta e o da imagem justificam o objetivo do trabalho. O resultado obtido possibilitou a identificação das alterações ocorridas no traçado e,

tais alterações podem ser utilizadas para o processo de atualização cartográfica. A metodologia pode ser aplicada em outras regiões e outros tipos de feição. Como continuidade deste trabalho pretende-se realizar estudos para o desenvolvimento de uma metodologia automatizada para a detecção das pistas de autódromos. Os maiores problemas a serem enfrentados são a grande variabilidade nos valores dos níveis de cinza presentes em imagens digitais de alta resolução e os valores de brilho similares em feições próximas ou conectadas à feição de interesse.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO DE CARTOGRAFIA INTERNACIONAL - ACI. *Multilingual dictionary of technical terms in cartography*. Viesbaden: Steiner Verlag.

Bakker, M. P. R. *Cartografia: noções básicas*. [Rio de Janeiro]: Ministério da Marinha - Diretoria de Hidrografia e Navegação (1965).

Banon, G.J.F.; Barrera, J. *Bases da Morfologia Matemática para a Análise de Imagens Binárias*. UFPE, Recife (1994).

Facon, J. *Morfologia Matemática: Teorias e Exemplos*. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba (1996).

Matheron, G. *Radom sets and integral geometry*. New York: John Wiley (1975).

SDC Information Systems. *SDC Morphology "Toolbox" For Matlab 5*. January 20, 1999.

Serra, J. *Image analysis and mathematical morphology*. London: Academic Press (1982).

Silva, E. A. Extração de feições cartográficas de imagens multiespectrais fundidas. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da USP – São Paulo (1995).

Silva, E. A. Viabilidade de uso de operadores morfológicos na extração de feições cartográficas em imagens orbitais de Sensoriamento Remoto. Tese (Livre Docência) – Universidade Estadual Paulista – São Paulo (2002).

Soille, P. *Morphological Image Analysis: Principles and applications*. Springer-Verlag, Berlin (1999).

