

AVALIAÇÃO DO CÁLCULO DE COMPRIMENTO DE RIOS EM ARQUIVOS DE FORMATO RASTER

Regina Camara Lins¹; Carlos Ruberto Fragoso Júnior² & Walter Collischonn³

RESUMO --- Em projetos de recursos hídricos, o comprimento de rios, canais, gasodutos, estradas, redes de transmissão é um parâmetro fundamental para o estudo. Geralmente, para estimar o comprimento, partindo de imagens satélites em formato matricial, programas de geoprocessamento utilizam um transformador de distância euclidiano, o qual pode acumular erros indesejáveis que, muitas vezes, não são computados pelo projetista e podem comprometer o resultado final do projeto. Desta forma, este trabalho avalia os erros cometidos no cálculo de comprimentos em arquivos no formato matricial (*raster*) obtidos a partir de vetores aplicando distintos transformadores de distância em rios com diferentes sinuosidades. Os comprimentos, em arquivos em formato *raster*, foram estimados através de um algoritmo desenvolvido em linguagem FORTRAN e comparados com as distâncias vetoriais exatas. Observou-se que os erros variam de acordo com o nível de sinuosidade do rio, pois dependendo da resolução trabalhada, a transformação de *vector* para *raster* gera distorções indesejáveis que são refletidas no cálculo do comprimento. Foi verificado que utilizando um transformador de distância diferente do euclidiano os erros podem ser minimizados na maioria dos casos.

ABSTRACT --- In water resources projects is fundamental the knowledge of length in rivers, channels, pipes, roads. Most of geoprocessing programs use a Euclidian distance transform to evaluate the length, from satellite images in raster format, which can accumulate undesired errors that many times are not considered by designer. Therefore, this paper evaluated the committed errors in length calculus using raster files applying distinct distance transforms in rivers with different sinuosities. We use a numeric algorithm developed in FORTRAN to evaluate the lengths in raster format and compare with vectorial distances admitted as real distances. The errors oscillated according to rives' sinuosity levels and they depend of the image resolution, because the vector to raster transformation produces undesired distortion, which are reflected on the length calculus. When a distance transform unlike Euclidian is used, those errors can be reduced in most of cases.

Palavras-chave: SIG, transformadores de distâncias, rios.

¹ Mestranda do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS). Rua General Lima e Silva, nº 1045, aptº 415, Cidade Baixa, 90050-102, Porto Alegre, RS. reginacamaralins@yahoo.com.br

² Doutorando do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS). Rua General Lima e Silva, nº 1045, aptº 415, Cidade Baixa, 90050-102, Porto Alegre, RS. crubertofj@hotmail.com

³ Professor adjunto do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH/UFRGS). Av Bento Gonçalves, nº 9500, Porto Alegre, RS. collischonn@iph.ufrgs.br

1 – INTRODUÇÃO

O uso de ferramentas de suporte a decisão em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem dado um grande apoio às aplicações de Recursos Hídricos no que diz respeito a impactos, conveniência e análise de viabilidade (Mendes e Cirilo, 2001).

Ao se utilizar uma imagem do tipo matricial (*raster*), o domínio real é digitalizado e aproximado por retângulos, com uma resolução definida. Para estas imagens, alguns softwares de geoprocessamento (IDRISI, ARCVIEW, etc) utilizam o cálculo simplificado de distâncias, utilizando um transformador euclidiano de distância em uma janela 3 x 3. Assim, as isocurvas de distância, a partir de um ponto central, são octógonos ao invés de circunferências (Smith, 2004a). Esta simplificação gera imprecisões para o cálculo dos comprimentos, acumulando erros indesejáveis que, muitas vezes, não são computados pelo projetista e podem comprometer o resultado final do projeto.

Uma alternativa para minimizar os erros envolvidos nesse problema seria a utilização de diferentes transformadores de distância com o objetivo de aproximar melhor as isocurvas, que são octógonos, em circunferências. Existem diversos transformadores de distância que podem ser aplicados. A Tabela 1 mostra o erro máximo absoluto envolvido, relativo ao octógono e a circunferência, para diferentes transformadores de distância (Smith, 2004b). Estes mesmos erros foram comparados e avaliados com respeito a precisão e incertezas para diferentes escalas de resolução em diversos transformadores.

Tabela 1 – Erro máximo absoluto para alguns transformadores de distâncias 3 x 3.

Transf. Distância	Erro máximo abs. (%)	Comentários
(1,1)	41.41	Xadrez
(1,2)	29.29	City block
(1,√2)	7.61	Euclidiano
(3,4)/3	6.07	Chanfrado inteiro
(1,1.3507)	5.63	(Borgefors, 1986)
(1,1.3420)	5.38	(Butt e Maragos, 1998)
(0.95509,1.36930)	4.69	(Borgefors, 1991)
(0.96194,1.36039)	3.96	(Butt e Maragos, 1998)

Foi observado que a aplicação de transformadores de distância tem mostrado ser uma simples, poderosa e extensiva ferramenta para análise espacial, planejamento urbano e tomada de decisão. Além do mais, este procedimento não só permite um melhor tratamento de uma vasta gama de problemas envolvendo a cálculo de distâncias euclidianas incrementais, mas também problemas relacionados ao cálculo de caminhos de mínimo custo, problemas dinâmicos, problemas de

multicritérios ponderados, bem como a incorporação de restrições espaciais tais como obstáculos e regiões indesejáveis.

Em projetos de recursos hídricos, a estimativa do comprimento de rios, canais, gasodutos, estradas, redes de transmissão é uma constante em projetos de engenharia (Mercante et al., 2005; Collischonn e Pilar, 2000). Este parâmetro, geralmente, é requisito de entrada de modelos hidrológicos, os quais já apresentam em sua estrutura diversas simplificações dos processos hidrológicos. Desta forma, a obtenção de uma medida precisa do comprimento destes corpos d'água é de grande interesse no intuito de minimizar os erros envolvidos.

Desta maneira, este trabalho tem o objetivo de avaliar a aplicação do transformador de distância proposto por Butt e Maragos (1998) e verificar se existe melhoria no cálculo do comprimento de rios em arquivos no formato *raster* obtidos a partir de vetores para dois rios hipotéticos com diferentes índices de sinuosidade. Os comprimentos, em arquivos em formato *raster*, foram estimados através de um algoritmo desenvolvido em linguagem FORTRAN e comparados com as distâncias vetoriais exatas.

2 – METODOLOGIA

2.1 – Cálculos Preliminares

Algumas ferramentas de geoprocessamento permitem que o usuário calcule a distância acumulada a partir de um ponto inicial. Utilizado a ferramenta de geoprocessamento IDRISI *for windows*, isto pode ser realizado a partir da função Cost Grow. Esta função requer uma imagem fonte inicial que indica as células cujo custo deverá ser determinado. Os pontos de partida são indicados por valores não nulos. Por padrão, é considerado um custo unitário entre células e a distância é determinada multiplicando o custo acumulado pela resolução da imagem. Desta maneira, foram calculadas as distâncias acumuladas a partir de um único ponto e verificadas as isocurvas de distância. A Figura 1 mostra as isocurvas de distância separadas em classes de 10 m. É possível observar que as isocurvas são octógonos concêntricos, uma vez que o transformador de distância padrão utilizado por esta função é o euclidiano que gera um erro máximo absoluto de 7.61% nas direções 22.5° e 67.5° com relação a horizontal para o primeiro quadrante.

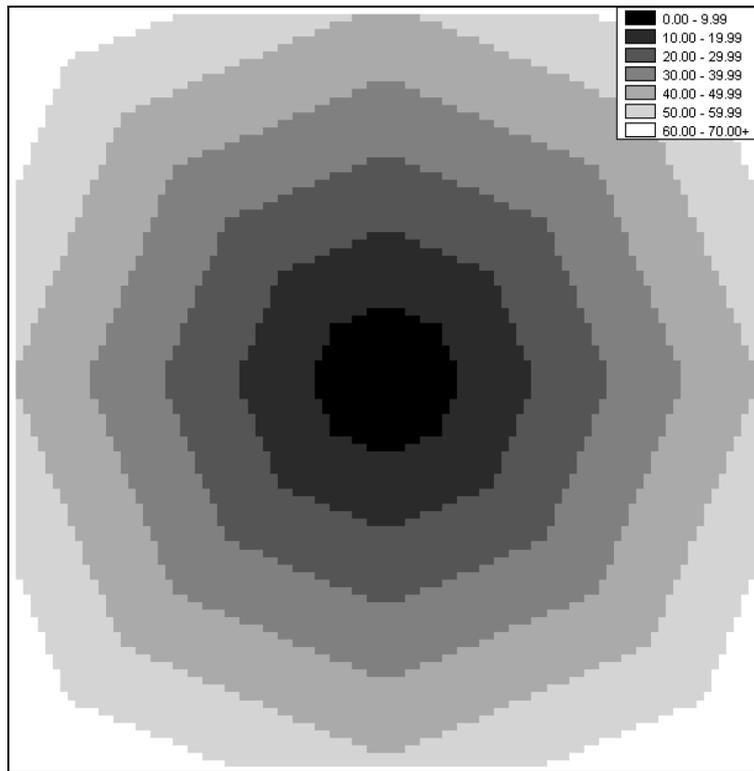


Figura 1 – Isocurvas de distância geradas no IDRISI utilizando um transformador de distância euclidiano, o qual gera octógonos concêntricos ao invés de circunferências. A distância entre classes corresponde a 10 m.

Nas direções em que existem erros, as distâncias calculadas sempre superestimam as distâncias reais. Estes erros vão se acumulando de uma célula para outra, refletindo em imprecisões no cálculo do comprimento de rios e canais. Portanto, verifica-se a necessidade de implementar soluções alternativas, tal como a aplicação de diferentes transformadores de distância, com intuito de minimizar os erros relativos a esses algoritmos pré-estabelecidos.

2.2 – Descrição do Algoritmo

Visando melhorar os resultados dos cálculos das distâncias acumuladas, um algoritmo foi desenvolvido em linguagem FORTRAN. A estrutura deste algoritmo é semelhante àquela utilizada pela função Cost Grow, com uma diferença: o transformador de distância utilizado. Este algoritmo utiliza o transformador de distância proposto por Butt e Maragos (1998), cujo erro máximo absoluto é o menor dentre os demais. Vale ressaltar que este algoritmo poderia ser ampliado e utilizado para avaliação de caminhos de mínimo custo, semelhante ao desenvolvido por Collischonn e Pilar (2000).

Este algoritmo requer uma imagem inicial que indica as células onde o rio ou canal passa e cuja distância acumulada deverá ser determinada, bem como o ponto inicial de partida. A célula de

partida, assim como as restantes das células pertencentes ao rio ou canal deverão ser indicados por valores não nulos. Todo o processo de atribuição de custo é feito célula por célula, para toda a área abrangida pela imagem inicial. Uma janela móvel de 3 x 3 células percorre todo o domínio da imagem identificando células cujo custo já foi calculado, células cuja distância acumulada foi alterada na iteração anterior e células cuja distância acumulada ainda não foi calculada. A Figura 2 apresenta esta janela, de 3 x 3 células, onde as células estão marcadas com números para sua identificação. A distância acumulada de uma célula vizinha à célula central (DA₅) é o valor mínimo entre o valor atual da célula vizinha e a soma da distância acumulada de uma célula vizinha à central com a distância incremental entre a central e a vizinha.

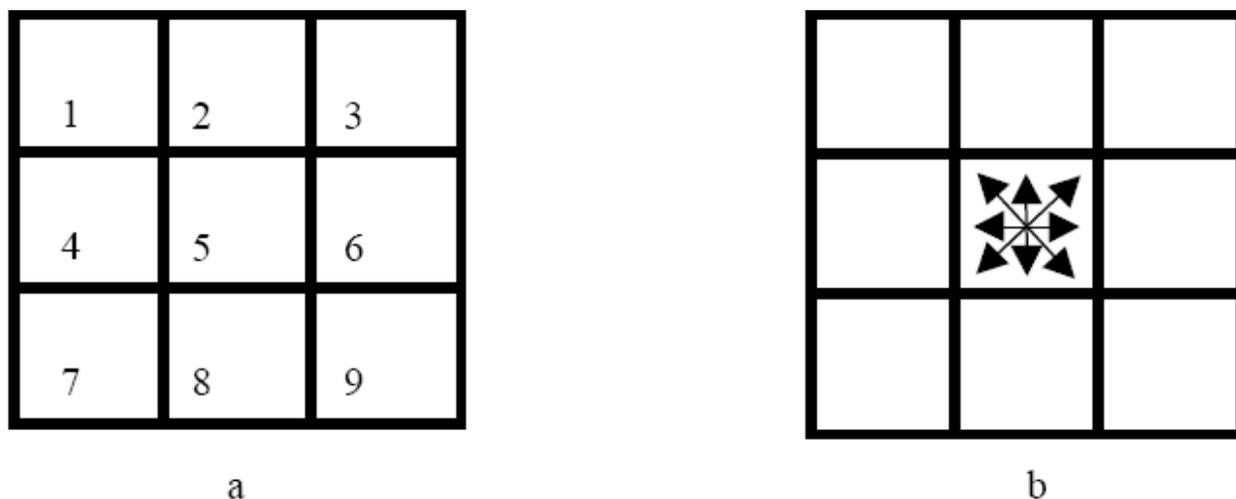


Figura 2 – (a) Janela de 3 x 3 células sobre a qual é realizado o processo de cálculo e (b) as oito direções que um rio ou canal pode seguir a partir da célula central. Reproduzido de Collischonn e Pilar (2000).

Por exemplo, a distância acumulada na célula 6, supondo que o rio ou canal siga da célula 5 para a célula 6, é dado pela expressão:

$$DA_6 = \min(DA_5 + Res \cdot TD_{5-6}, DA_6) \quad (1)$$

onde DA_5 é a distância acumulada na célula 5, DA_6 é a distância acumulada na célula 6 e TD_{5-6} é o valor do transformador de distância entre as células 5 e 6, e Res é a resolução definida pela imagem.

O processo de cálculo encerra quando, de uma iteração para a outra, nenhuma célula sofreu alteração da distância acumulada. Esta situação significa que cada célula já teve seu custo acumulado mínimo definido. O produto final é uma imagem tipo raster com os valores de distâncias mínimas acumuladas a partir do ponto inicial.

2.3 – Definição dos cenários

O algoritmo proposto foi aplicado em dois rios hipotéticos, com diferentes índices de sinuosidade (IS) para as resoluções de 1, 10 e 50 m. Para Riccomini et al. (2000), o valor de 1.5 divide arbitrariamente os rios de alta (maior que 1.5) e baixa (menor que 1.5) sinuosidade. Este mesmo autor define o índice de sinuosidade como a razão entre o comprimento verdadeiro do canal (projeção ortogonal) e a distância vetorial (comprimento em linha reta) entre os dois extremos do canal principal. Valores próximos a 1.0 indicam que o canal tende a ser retilíneo. Já os valores superiores a 2.0 sugerem canais tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares.

Desta forma, avaliou-se a influência da morfologia, para diferentes resoluções, sobre os erros relativos. As trajetórias dos rios foram definidas no AutoCAD, onde foram obtidas as medidas consideradas exatas. No mesmo software foram obtidas as distâncias vetoriais entre os extremos do rio. A Tabela 2 apresenta os valores dos IS e dos comprimentos para os rios em análise.

As trajetórias estabelecidas no AutoCAD foram importadas para o IDRISI em forma de vector e convertidas para imagem *raster* com resoluções de 1, 10 e 50 m (Figura 3).

Tabela 2 – Valores dos índices de sinuosidade e comprimento para os rios analisados.

	IS	Comprimento (m)
Rio 1	1.16	2245.05
Rio 2	2.29	4519.99

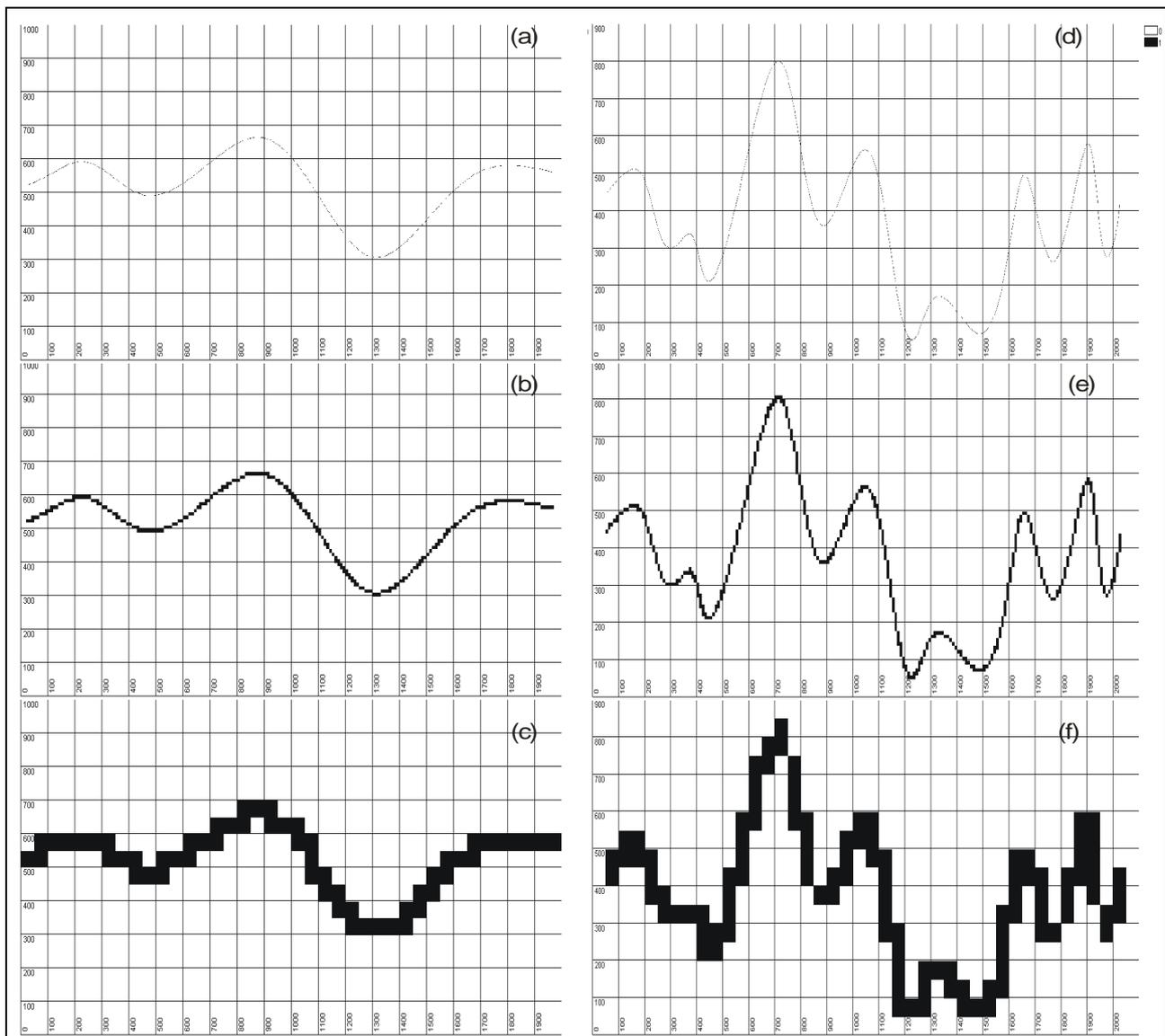


Figura 3 – Trajetórias dos rios hipotéticos em imagem *raster*. (a), (b) e (c) representam o Rio 1, com índice de sinuosidade baixo; e (d), (e) e (f) o Rio 2, com índice de sinuosidade alto, para as resoluções de 1, 10 e 50 m, respectivamente.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Definidas as imagens base de entrada para o algoritmo é possível estimar as distâncias acumuladas a partir do ponto inicial. Com o intuito ilustrativo, a Figura 4 apresenta o resultado da aproximação dos octógonos à circunferência gerada pelo algoritmo, sendo a linha pontilhada o resultado obtido utilizando um transformador de distância euclidiana e a linha tracejada utilizando um transformador de distância fracionário proposto por Butt e Maragos (1998). Nota-se uma melhor aproximação da circunferência do octógono proposto gerando um menor erro máximo absoluto de nas direções 22.5° e 67.5° com relação a horizontal para o primeiro quadrante.

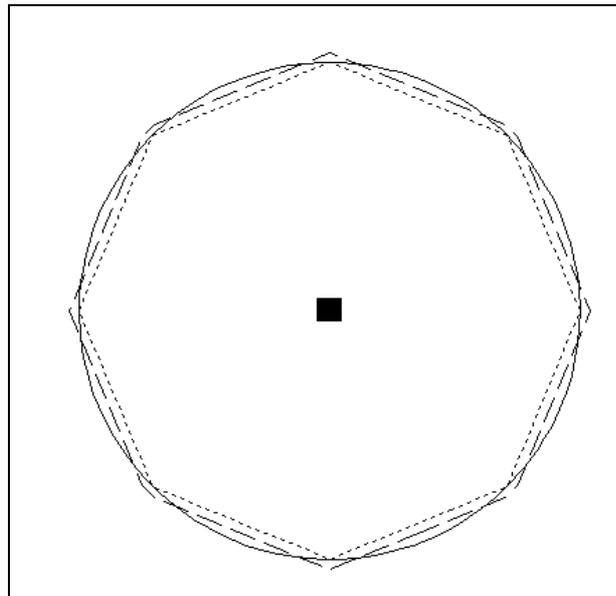


Figura 4 – Resultado da aproximação dos octógonos à circunferência. A linha pontilhada representa a aproximação euclidiana. A linha tracejada representa a aproximação proposta por Butt e Maragos (1998).

Os erros relativos absolutos para os dois rios hipotéticos, com diferentes índices de sinuosidade, utilizando diferentes resoluções no arquivo *raster* são apresentados de forma resumida na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores dos índices de sinuosidade e comprimento para os rios analisados.

	Transformador Euclidiano			
	Rio 1	Erro Rel. (%)	Rio 2	Erro Rel. (%)
Dist. Real	2245.05	-	4519.99	-
Res. 1x1	2367.04	5.43	4824.62	6.74
Res. 10x10	2365.90	5.38	4790.00	5.97
Res. 50x50	2343.50	4.39	3725.00	17.59
	Transformador Fracionário			
	Rio 1	Erro Rel. (%)	Rio 2	Erro Rel. (%)
Dist. Real	2245.05	-	4519.99	-
Res. 1x1	2276.93	1.42	4640.87	2.67
Res. 10x10	2275.88	1.37	4607.73	1.94
Res. 50x50	2254.31	0.41	3583.11	20.73

Utilizando o transformador de distância euclidiano constata-se que o mesmo tende a superestimar o cálculo do comprimento do rio para ambos índices de sinuosidade, com exceção do Rio 2 para uma resolução de 50 m, cujo comprimento foi abaixo do valor real devido a má definição da trajetória do rio para aquela resolução. Este fato faz com que o caminho ótimo mínimo

despreze uma quantidade significativa de células durante o percurso afetando o cálculo da distância acumulada.

Quando o transformador de distância fracionário é utilizado os erros relativos absolutos são minimizados, contudo os comprimentos ainda são superestimados, com a mesma exceção citada para o caso euclidiano, devido às mesmas razões anteriores.

Com relação à sinuosidade, verifica-se que os transformadores de distância são mais eficientes no Rio 1 (IS baixo). Este resultado já era esperado, uma vez que esses tipos de rios tendem a apresentar curvas mais suaves, melhor representadas em arquivos raster, facilitando a escolha do caminho a ser percorrido. Torna-se evidente a existência de um limiar próximo ao raio de curvatura, para uma determinada morfologia do rio, no qual as resoluções acima deste resultam na subestimativa da distância acumulada. Para o Rio 2, o limiar encontra-se entre as resoluções de 10 e 50 m. Para o Rio 1, provavelmente, este limiar está entre 50 e 100 m.

Foi possível observar que, em geral, o uso do transformador de distância fracionário minimizou os erros relativos absolutos de forma significativa e proporcionou uma melhor aproximação no cálculo do comprimento de rios e canais utilizando imagens satélites em formatos do tipo matricial (*raster*).

4 – CONCLUSÕES

Este trabalho avaliou a aplicação do transformador de distância fracionário e verificou as melhorias no cálculo do comprimento de distâncias em arquivos no formato raster obtidos a partir de vetores para dois rios hipotéticos com índices de sinuosidade considerados alto e baixo.

Observou-se que a utilização de um transformador de distância fracionário minimizou os erros relativos absolutos, aproximando os comprimentos calculados aos reais.

Pôde-se deduzir que para rios com sinuosidade alta, uma resolução grande pode gerar erros no cálculo da distância acumulada que seriam combatidos com menores resoluções para o algoritmo desenvolvido.

Em resumo, o transformador de distância fracionário é eficiente, desde que exista uma combinação adequada entre resolução e morfologia do rio.

BIBLIOGRAFIA

BORGEFORS G. (1986). Distance transformations in digital images. *Computer Vision, Graphics, Image Processing*. Vol. 34, 344-371.

BORGEFORS G. (1991). Another Comment on “A Note on Distance Transformations in Digital Images”. *CVGIP: Image Understanding*. Vol. 54, No. 2. pp. 301-306.

- BUTT M. A.; MARAGOS P. (1998). Optimal design of chamfer distance transforms" IEEE Transactions on Image Processing 7, 1477-1484.
- COLLISCHONN, W. e PILAR, J. V. (2000) A direction dependent least-cost-path algorithm for roads and canals. *International Journal of Geographical Information Science*. Vol. 14, 4.
- MENDES, C.A.B. e CIRILO, J.A. (2001) *Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação*. Porto Alegre: ABRH. 536 p
- MERCANTE E.; ANTUNES, J. F. G.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R.A. C.; ZULLO JR., J. (2005). Integração de dados de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica para análise de trajetos de um gasoduto. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2717-2723.
- RICCOMINI, C.; GIANNINI, P. C. F. & MANCINI, F. (2001). *Decifrando a Terra*. Org: Wilson Teixeira (*et al.*). São Paulo: Oficina de Textos, 2000.568 p.
- SMITH, M. J. (2004a). Distance transforms as a new tool in spatial analysis, urban planning, and GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 31, 85-104.
- SMITH, M. J. (2004b). *Distance and Path: The development, interpretation and application of distance measurement in mapping and spatial modeling*. PhD Thesis. University of London, University College, Department of Geography. 386p.