

DETERMINAÇÃO DA EXTENSÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

PAULO AFONSO SILVA
GERALDO GENTIL VIEIRA
MIGUEL FARINASSO
ROSEMERY JOSÉ CARLOS

CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales dos Rios São Francisco e Parnaíba
SGAN Quadra 601 Lote I - Ed. CODEVASF
70830-901 - Brasília - DF, Brasil
(paulo.afonso, geraldov, miguel, rose)@codevasf.gov.br

Abstract. The extension of the São Francisco river appears with many different values in the literature. This paper presents the determination of that value using satellite images, as it is considered to be the most accurate source that covers the entire river length. It also contains discussion and determination of the principal/tributary relationship between the São Francisco and the Samburá rivers, considering its importance for the calculation of the whole length of the São Francisco.

Keywords: remote sensing, image processing, water resources.

1. Introdução

O rio São Francisco é considerado o maior rio totalmente brasileiro. Sua extensão, na literatura, aparece com valores muito divergentes. A maioria das fontes disponíveis apresenta o valor de 2700 km. Pode-se citar valores extremos nas enciclopédias Britânica/Mirador (1995) e Delta Larousse (1971), iguais a 2624km e o “site” da Bahiatursa (www.bahiatursa.ba.gov.br), com 3200 km. É importante notar que os valores não citam a referência da informação. Há, ainda, um questionamento com relação às nascentes, devido a dúvidas sobre o relacionamento rio principal/afluente entre o São Francisco e seu primeiro importante afluente, o rio Samburá, conforme Vieira (1998), Vieira (jul/2001) e Vieira (dez/2001). Assim, a CODEVASF constituiu uma equipe técnica para dirimir as dúvidas e determinar a extensão do rio, de maneira técnica e economicamente aceitável.

2. Relação Hidrológica entre os rios São Francisco e Samburá

2.1 Discussão

Em seu caminhamento para a foz um rio qualquer vai recebendo descarga de outros rios, de diversas dimensões, denominados seus tributários. Assim, sempre que houver confluência entre dois cursos d’água, um deles é denominado rio principal e o outro seu tributário, ou afluente. Daquele ponto em diante, o curso d’água derivado da junção dos dois recebe a denominação do rio considerado principal. E assim por diante, o processo continua até que o rio principal deságüe em outro curso d’água (do qual passa a ser afluente), num lago ou num oceano.

Percorrendo o caminho inverso, de jusante para montante, pode-se então chegar até às nascentes daquele rio em estudo. O problema aqui levantado é que muitas vezes, em uma confluência, a discriminação e denominação de rio principal e afluente foi efetuada de maneira arbitrária, de modo que se têm, nos mapeamentos, alguns rios principais e afluentes que deveriam ter denominação inversa, caso tivesse ocorrido o critério técnico no processo.

A literatura oferece diferentes critérios para a determinação de principal e afluente (tributário). Vejamos alguns:

O United States Geological Survey (USGS), em seu Water Science Glossary of Terms (www.usgs.com) define *tributary* como “um rio menor que desemboca em um rio maior”. A UNESCO, em seu glossário de termos de recursos hídricos (webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/PT), define *Afluente* sin. *tributário* como “Curso de água que vai desaguar num curso maior ou num lago”.

Das fontes relativas ao IBGE podemos citar:

Em seu glossário de termos de cartografia (www.ibge.com.br): “Rio: Curso d’água natural que deságua em outro rio, lago ou mar. Os rios levam as águas superficiais, realizando uma função de drenagem, ou seja, escoamento das águas. Seus cursos estendem-se do ponto mais alto (nascente ou montante) até o ponto mais baixo (foz ou jusante), que pode corresponder ao nível do mar, de um lago ou de outro rio do qual é afluente”. Em seu Dicionário Geológico-geomorfológico (Guerra, 1972): “Afluente: Curso d’água, cujo volume ou descarga contribui para aumentar outro, no qual desemboca. Chama-se ainda de afluente o curso d’água que desemboca num lago ou numa lagoa.” Em seu Dicionário Cartográfico (Oliveira, 1980): “Afluente: Curso d’água, cujo volume ou descarga contribui para aumentar outro, no qual desemboca.”

O conceito que envolve “deságua” ou “desemboca” sugere que o afluente tem, na confluência, cota de talvegue maior que a do rio principal. Já quando se diz que o afluente é um rio *menor* que contribui para a vazão de um outro *maior*, há a dúvida sobre qual o critério de comparação: se o maior dos dois é o rio que tem maior vazão, extensão, largura (na confluência) ou maior área de contribuição.

2.2 São Francisco x Samburá

A observação de diversas fontes de informação gera um questionamento sobre a relação hidrológica rio principal/afluente entre os rios São Francisco e Samburá. Esse fato foi observado em imagens de satélite Landsat e em cartas topográficas.

Nos arquivos digitais pode-se observar que a bacia hidrográfica do rio Samburá possui *maior área geográfica* do que a do São Francisco, a montante da confluência de ambos. Pelo critério de área da bacia hidrográfica o rio Samburá conteria, assim, as nascentes verdadeiras do São Francisco.

Nas imagens de satélite e cartas disponíveis pode-se também verificar que o Samburá é um rio *mais extenso* que o São Francisco, a partir de suas confluências.

A definição mais aceita de afluente ou tributário é, com certeza, aquela que define o tributário como um rio que deságua ou desemboca em outro, tendo uma cota de talvegue superior ao do outro, que seria, então, o rio principal. O rio principal é, então, o mais profundo dos dois. Essa é, inclusive a definição oficial do IBGE, como visto acima.

Assim, para caracterizar a relação hidrológica entre o São Francisco e o Samburá, foram efetuados levantamentos de campo na área de confluência dos dois. Os levantamentos constaram de determinação de cotas e de seções transversais nos dois rios, além de cálculo expedito de suas vazões. Esses levantamentos foram realizados entre 19 e 27 de agosto de 2002, durante o período da estação seca, mais indicado para caracterização dessas relações. As cotas de talvegue dos rios na confluência, determinadas pelo levantamento foram: São Francisco: 666,108 m e Samburá: 664,944 m. As vazões encontradas foram de 5,3 m³/s para o São Francisco e de 16,6 m³/s para o Samburá.

Assim, observa-se que, na confluência, o Samburá tem calha mais larga e maior vazão que o São Francisco e, principalmente, que o São Francisco tem cota de talvegue superior ao do Samburá, caracterizando sua condição de afluente deste último.

As determinações de escritório e de campo demonstram que o rio São Francisco, em qualquer dos critérios analisados, é um afluente natural (geográfico) do rio Samburá, e não o contrário.

3. Metodologia para Determinação da Extensão do Rio

A definição da escala de trabalho a ser utilizada para a medição da extensão do rio viria a definir a metodologia a ser empregada na própria medição. O critério empregado foi de que a escala seria aquela mais precisa possível, desde que fosse economicamente recomendável, que cobrisse uniformemente o rio e, ainda, que sua precisão relativa fosse justificável com relação aos recursos que fossem empregados em sua determinação (tempo total, custos, horas de especialistas).

Dentre os levantamentos planialtimétricos disponíveis, com cobertura integral da região que cobre todo o rio São Francisco, revelou-se a escala de 1:100.000 como a mais precisa.

O laboratório de geoprocessamento da CODEVASF possui cartas digitais em diversas escalas. A extensão do rio foi anteriormente calculada para aquelas que cobrem todo o São Francisco, obtendo-se o valor de 2.758 km, na escala 1:100.000 (à Projeção Sinusoidal), valor calculado para o talvegue do rio, que foi definido manualmente. A busca de uma escala mais precisa levou à utilização, neste trabalho, de imagens de satélite recentes, que podem ser consideradas como fontes cartográficas de melhor precisão que as cartas citadas.

Assim, considerando a metodologia específica, que envolveu imagens espectrais e, ainda, a produção de imagens classificadas, com cobertura de toda a extensão do rio de maneira homogênea e economicamente viável, foi decidida a utilização de imagens do satélite Landsat. Essa fonte pode ser considerada como de precisão de até 1:50.000, para suas imagens multiespectrais, de forma que o valor da extensão final do rio pode ser determinado com precisão de até 50 metros, utilizando as imagens como dados básicos e considerando o erro gráfico de 1 mm, bastante conservador, uma vez que o valor adotado no Brasil é de 0.2 mm (na escala 1:50.000, significaria uma precisão de 10 m). No entanto, considerando a ordem de grandeza da extensão do rio (cerca de 3.000 km), para efeitos práticos foi decidida a utilização de 1km para a determinação do valor final.

Uma decisão básica foi a de que a metodologia deveria envolver o cálculo da extensão da maneira mais automatizada possível, ou seja, com o mínimo de subjetividade ou interpretação pessoal dos técnicos. Daí o motivo de se utilizar dados, levantamentos e software no processo, e a decisão de ser o mesmo executado na área de geoprocessamento da Empresa.

A metodologia de trabalho estabeleceu que o valor da extensão do rio seria aquele medido ao longo de seu talvegue, a linha que une os pontos de maior profundidade no sentido de prolongamento do rio. A determinação dessa linha envolveu três situações:

1. Trechos do rio de largura inferior a 60 metros (dois pixels da imagem)
2. Trechos do rio em grandes reservatórios de barragens
3. Demais trechos

Os trechos compreendidos na situação 1 são aqueles que vão das nascentes até o início do lago da barragem de Três Marias. Nestes trechos, como a largura não ultrapassa 60 metros (dois pixels da imagem de satélite classificada), assumiu-se o talvegue como sendo uma linha central, entre as duas margens. Assim, após a classificação da imagem, o rio foi vetorizado. A linha central foi determinada geográfica e automaticamente, com uso adaptado de função específica do software Arc/Info, de SIG (Sistema de Informações Geográficas).

Para a situação 2, trechos onde se localizam os grandes reservatórios das barragens do rio, especificamente Três Marias e Sobradinho, a solução encontrada foi digitalizar as margens do rio, através de linhas oriundas de cartas topográficas da região, elaboradas em período anterior

à construção daquelas barragens. O talvegue foi definido como a linha média entre as margens, como na situação anterior. As cartas se encontram à escala de 1:25.000. Os trechos restantes, situação 3, representam aqueles em que a largura do rio na imagem de satélite é superior a 60 metros (dois pixels na imagem de satélite). Para essa situação foi gerada uma imagem classificada do rio, agora bem mais largo, a partir da qual foi definida uma faixa da calha do rio, onde a profundidade era mais acentuada. Essa faixa contendo o talvegue foi em seguida vetorizada e sofreu o mesmo processo da situação 1 acima, utilizando-se função específica do software Arc/Info para definição da linha central, novamente assumida como o talvegue. Ver **Figura 01**.

A extremidade jusante do rio (foz) foi considerada no prolongamento da linha de costa das duas margens.

Considerando a dificuldade de caracterizar as nascentes verdadeiras do rio através das imagens de satélite e das cartas disponíveis, elas foram definidas através de levantamento de campo.

Para a realização dos trabalhos de determinação da calha dos rios São Francisco e Samburá foram utilizadas imagens de satélite Landsat 5 e Landsat 7. Foram utilizadas as bandas 2, 3 e 4, porque as mesmas são as que apresentam melhor diferenciação das reflectâncias, para efeito de classificação da água.

As imagens foram tratadas no software Imagine 8.3. O trabalho foi realizado de acordo com a seguinte seqüência:

1. Registro da imagem de satélite com erro RMS menor que 0.5, na Projeção Lambert Cônica Conforme, salvando-se o arquivo para posterior processo de classificação. Este sistema de projeção cartográfica é o mesmo utilizado pelo IBGE nas Cartas do Brasil ao Milionésimo, que formam a base cartográfica que constitui a base digital da CODEVASF para o vale do São Francisco. Foram utilizados os mesmos parâmetros, no registro das imagens.
2. Coleta de pontos nas regiões com ocorrência de nuvens na imagem, para efetuar correção atmosférica.
3. Recorte das imagens para constituir arquivos contendo apenas a área da calha do rio, incluindo corpos d'água e ilhas.
4. Classificação não supervisionada da imagem construída na etapa anterior. Separação em 20 classes, após treinamento do software.
5. Agrupamento das 20 classes em legenda específica: água profunda, água média, água rasa e outras.
6. Vetorização da classe "água profunda", faixa da calha do rio onde se encontra o talvegue.

Essa seqüência foi utilizada para a situação 3 (demais trechos), descrita acima, que compreende os trechos do rio a jusante do reservatório de Três Marias e não situados nos reservatórios das barragens.

Nos trechos anteriores ao reservatório citado (situação 1), o rio é bastante estreito, com largura não superior a 60 metros. Nesta situação foi utilizada imagem do satélite Landsat 7, efetuando-se "merge" com a banda pancromática, de modo a ter uma resolução espacial (pixel) de 15 metros. A imagem, não classificada, definiu melhor as margens do rio, que foram então vetorizadas.

O resultado da vetorização, para as duas situações, foi importado para o software Arc/Info de SIG (Sistema de Informações Geográficas).

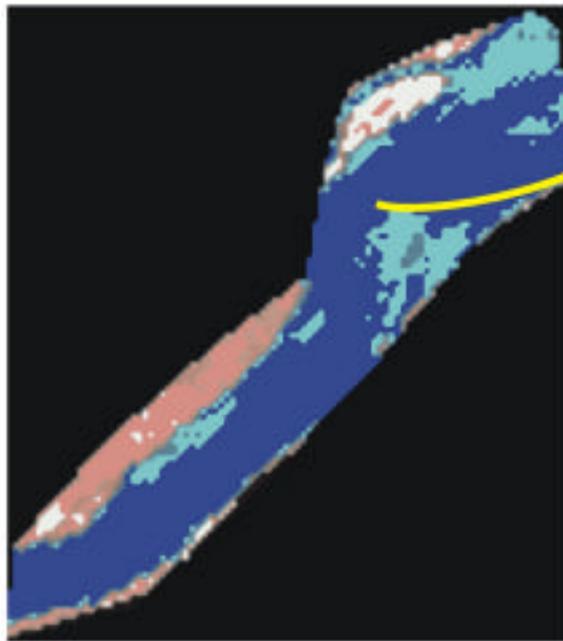
No Arc/Info foi utilizada uma função (Centerline) que define uma linha média ao longo de duas outras de referência. Assim, foi definida a linha de talvegue do rio como uma linha central ao longo dos arquivos vetoriais obtidos com as margens do rio e com a faixas da calha

TRECHO DO RIO SÃO FRANCISCO COM
LARGURA SUPERIOR A 60 METROS (2 PIXELS)

LINHA DO TALVEGUE



CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA



Água profunda

Figura 01

do rio nos trechos mais largos. Juntaram-se os diversos trechos no software, convertendo o arquivo final para um sistema de projeção cartográfica adequado para a medição (Projeção Sinusoidal), também com uso do Arc/Info.

É de conhecimento geral a dificuldade de se obter imagens de satélite da região do baixo São Francisco sem nuvens e, portanto, que possam ser tratadas digitalmente. Como mesmo em imagens mais recentes o problema persiste, foi decidido optar-se pela definição da faixa de localização do talvegue do rio, na região próxima à foz, através da experiência de técnicos da empresa que conhecem o trecho.

4. Materiais e Métodos

4.1 Trabalhos de Escritório

A realização dos trabalhos de escritório envolveu manipulação das seguintes cartas topográficas:

- 1:100.000, IBGE, folhas 2529, 2530, 2531, 2567, 2568 e 2569, para as regiões das nascentes e confluência do São Francisco e Samburá.
- 1:50.000, IBGE, folhas Serra da Canastra, Serra da Guarita, São Roque de Minas, Vargem Bonita, Rio Ajudas, Rio Piumhi e Piumhi, para as mesmas regiões.
- 1:25.000, Carta Topográfica do Vale do São Francisco, Comissão do Vale do São Francisco, para as áreas relativas aos lagos das barragens de Três Marias e Sobradinho.

Arquivos digitais de cartas topográficas cobrindo todo o vale do rio São Francisco:

- 1:1.000.000, Cartas do Brasil ao Milionésimo, IBGE, formato Arc/Info, digitalizadas pela CODEVASF. (Folhas Aracaju, Jaguaribe, Rio São Francisco, Brasília, Belo Horizonte e Rio de Janeiro).
- 1:100.000, IBGE, formato Arc/Info, digitalizadas pela CODEVASF.

Foram utilizadas as seguintes imagens de satélite Landsat, cobrindo toda a extensão de todo o rio (órbita_ponto): 215_67, 216_66, 217_66, 217_67, 218_67, 218_68, 218_69, 219_67, 219_68, 219_69, 219_70, 219_71, 219_72, 219_73 e 219_74.

Nos trabalhos de geoprocessamento foram utilizados os software:

- Tratamento de imagens: ERDAS Imagine 8.3
- Sistema de Informações Geográficas: ARC/INFO 8.0

As cartas à escala 1:25.000, contendo a região dos lagos das barragens de Três Marias e Sobradinho, foram escaneadas em Scanner A1, com processo posterior de vetorização do rio São Francisco.

4.2 Trabalhos de Campo

Foram realizados levantamentos de campo para duas finalidades, para o presente trabalho: caracterização da área de confluência entre os rios São Francisco e Samburá, e caracterização das nascentes dos dois rios.

Os equipamentos utilizados foram: GPS Geodésico ASTECH SCA 12S, Teodolito Zeiss THEO 010, Distanciômetro AGA210 Geodimeter e Nível Zeiss.

5. Determinação da Extensão do Rio

A metodologia foi aplicada nos diferentes trechos do rio, para as situações descritas, em cada imagem de satélite, trabalhada na projeção cartográfica Lambert Cônica Conforme, utilizada nas Cartas do Brasil ao Milionésimo, do IBGE, com parâmetros definidos pela CODEVASF

para a cobertura da área de todo o vale do São Francisco. O talvegue final do rio nos diferentes trechos foram então juntados em um único “coverage” no software Arc/Info.

O cálculo da extensão do rio deveria ser efetuado com o talvegue representado em um sistema de projeção cartográfica adequado. Esse sistema deveria ser do tipo equidistante (manter o aspecto distância) e adequado para cobrir a característica norte/sul do desenvolvimento do rio (sentido nascente-foz) e a de cobrir o tamanho da área do vale do São Francisco. Dentre o grande número de opções disponíveis no software Arc/Info, foi adotada a projeção Sinusoidal (do tipo pseudo-cilíndrica), por melhor atender às características necessárias citadas.(ESRI, 1991)

Tendo em vista a escala de trabalho de 1:50.000, poder-se-ia considerar a precisão (acurácia) de até 50 metros para o cálculo da extensão, considerando o erro gráfico de 1 mm, para todo processo, incluindo o de aquisição da imagem. Por questões de praticidade, no entanto, podemos definir um valor conservador de 1 km para a precisão do resultado final. Este valor é suficiente, considerando a ordem de grandeza da extensão do rio.

Com essas considerações, o cálculo da extensão do rio São Francisco pode ser considerado:

2.716 km, para o trecho entre a foz, no Oceano Atlântico, e a confluência entre o São Francisco e o Samburá.

98 km, da confluência até as nascentes históricas, na Serra da Canastra.

147 km, da confluência até as nascentes do rio Samburá.

Assim, o comprimento total do rio São Francisco é:

2.814 km, para o trecho tradicional do rio, com nascentes na Serra da Canastra.

2.863 km, para o trecho dito geográfico, consideradas as nascentes do rio Samburá.

6. Conclusões e Recomendações

As imagens de satélite Landsat, utilizando bandas multiespectrais, revelaram-se adequadas para a medição da extensão do rio, dentro de uma precisão bastante aceitável (1:50.000), tendo em conta a magnitude da medida.

As indicações das imagens de satélite e cartas planialtimétricas revelaram uma possível inversão da relação natural rio principal/afluente entre os rios São Francisco e o Samburá. Isto foi plenamente comprovado pelos levantamentos de campo efetuados. Os valores de extensão, tamanho da bacia hidrográfica e características na confluência: largura, vazão e, finalmente, cota do fundo (talvegue), indicam claramente que o São Francisco é, naturalmente, afluente do rio Samburá e não o contrário.

Assim, foi determinada a extensão do rio São Francisco para um valor denominado histórico (considerando suas nascentes tradicionais) e um valor dito geográfico, que implica em considerar suas nascentes verdadeiras nas nascentes do rio Samburá.

Os valores calculados para a extensão do São Francisco foram:

2.814 km para o trecho histórico (nascentes na Serra da Canastra); e

2.863 km para o trecho geográfico (nascentes consideradas no rio Samburá).

A CODEVASF está desenvolvendo uma pesquisa com uma nova técnica em processamento de imagens que utiliza uma Imagem de Sedimentos em Suspensão na Água, derivada de imagens Landsat, e tenta determinar, indiretamente, faixas de profundidade de um rio. Recomenda-se a aplicação da mesma metodologia às imagens aqui utilizadas, assim que o trabalho de pesquisa estiver concluído, para efeito de comparação de valores encontrados entre as duas metodologias e, inclusive, para validar o resultado da pesquisa e recomendar seu uso em outros trabalhos.

Referências

- BAHIATURSA. Empresa de Turismo da Bahia. (www.bahiatursa.ba.gov.br). "São Francisco". Acesso: 18/01/02.
- DNAEE, 1994. *Norma para Classificação dos Cursos d'Água Brasileiros quanto ao Domínio*. Norma DNAEE No. 06. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Brasília.
- Enciclopédia Mirador Internacional/Britânica. 1995. vol. 18. São Paulo/Rio de Janeiro.
- ESRI, 1991. *Map Projections & Coordinate Management, concepts and procedures*. Arc/Info User's Guide.
- Grande Enciclopédia Delta Larousse. 1971. vol. XIII. Ed. Delta S.A. Rio de Janeiro, RJ.
- Guerra, Antônio Teixeira. 1972. *Dicionário Geológico-geomorfológico*. 4ª Edição. IBGE, Rio de Janeiro, RJ. 439p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (www.ibge.gov.br). Acesso: 23/01/02.
- Kammerer, J.C. 1990. *Largest Rivers in the United States. USGS Fact Sheet. Lengths of the Major Rivers. in Water Science for Schools*. USGS – United States Geological Survey. (www.usgs.gov/edu). Acesso: 22/01/02.
- Oliveira, Cêurio de. 1980. *Dicionário Cartográfico*. IBGE, Rio de Janeiro, RJ. 448p.
- Pfafstetter, O., 1989. "*Classificação de bacias hidrográficas: metodologia de codificação*", manuscrito não publicado, DNOS. Rio de Janeiro, RJ.
- Silva, P.A. – "*Classificação e Codificação das Bacias Hidrográficas Brasileiras Segundo o Método Pfafstetter, com Uso de Geoprocessamento*". Anais do II Encuentro de las Águas. Governo do Uruguai/OEA/IIICA/ – Instituto Latino-americano de Cooperación para la Agricultura. Montevideo, Uruguai. 1999.
- UNESCO. (webworld.unesco.org/water/ihp/db/glossary/glu/PT). Acesso: 22/01/02.
- USGS. *Water Science Glossary of Terms*. United States Geological Survey. (www.ga.usgs.gov/edu/dictionary.html). Acesso: 21/01/02.
- Vieira, G.G., 1998. *Mata de Pains: um rico e raro ecossistema – Proposta de Parque Estadual da Mata de Pains*. Iguatama, MG. 25p.
- Vieira, G.G. 2001, jul. *Mata de Pains e Cabeceiras do São Francisco: ecossistemas sob tensão antrópica – Porque a criação de unidades de conservação pode levar ao desenvolvimento sustentado*. In 13th International Congress of Speleology, Speleo Brazil. Brasília, DF. 5p.
- Vieira, G.G. 2001, dez. *Expedição Américo Vespúcio, 3000km de Iguatama-MG até a foz em SE/AL*. Codevasf. Brasília, DF.