

FOTOGRAFIAS AÉREAS INFRAVERMELHO FALSA COR (CIR) APLICADAS À ANÁLISE HIDRO
MORFOLÓGICA DE CANAIS FLUVIAIS DESAJUSTADOS

M.M.P. Orellana

Departamento de Geografia e História

Universidade de Brasília - DF

R.K. Holz

Dep. Geography - Univesity of Texas at Austin

S.M. Sutton

Colorado Sch. of Mines Res. Inst. Golden. Co.

RESUMO

Fotografias aéreas infravermelho falsa cor (CIR) revelam claramente muitos elementos da morfologia fluvial do Gran Chaco na Província de Formosa, Argentina, possibilitando medidas da sinuosidade, comprimento de onda dos meandros e largura dos canais antigos e atuais. As medidas foram usadas para determinação de relações empíricas (Leopold et alii, 1964; Carlston, 1965; Dury, 1976 e Shumm 1969) entre os elementos da morfologia fluvial e o regime, para os canais aluviais em vários ambientes. A análise morfológica das medidas sugere que todos os canais atuais são provavelmente desajustados e a interpretação hidrológica dos dados sugere as causas possíveis desse desajustamento. Nossa análise mostrou três tipos de desajustamentos nas quatro áreas selecionadas: 1) um rio manifestamente desajustado; 2) um canal e vale desajustados que não meandram, mas semelhantes ao vale manifestamente desajustado; 3) canais desajustados circulares (tipo "Osage") cercados de meandros abandonados por rios antigos. A comparação da morfologia fluvial moderna e antiga sugere que a descarga na área do desajustamento tipo 1, declinou conforme um fator maior que $2,0 \times 10^3$, enquanto que a descarga no rio retilíneo (tipo 2) tem declinado de acordo com um fator de cerca de $0,7 \times 10^3$. Esses fatores são, respectivamente, 130 e 37 vezes maiores do que os fatores de declínio das descargas mais comumente associados com desajustamento de causa climática. A causa mais provável de tão grande redução na descarga é quase a total situação de abandono dos canais primitivos. Os rios do Gran Chaco estão em processo de sedimentação desde o Terciário. Durante o Quaternário a Cordilheira Andina levantou milhares de metros enquanto o Chaco sofreu ligeira subsistência (Harrington, 1956). A comparação da morfologia atual e primitiva indica ainda que as descargas nos sítios dos canais do tipo 3 "Osage" declinaram conforme fatores de 10 a 20. Tais fatores são coerentes com o desajustamento por causa climática. Entretanto os rios desajustados tipo "Osage" são agora intermitentes e parcialmente cobertos por vegetação, sugerindo que esses canais também podem estar parcialmente abandonados. Os canais desajustados do Gran Chaco da Argentina chamam a atenção por várias razões as formas fluviais desajustadas nessa região são diversas; a morfologia e as descargas calculadas indicam uma interação complexa de causas para o abandono dos canais; finalmente observa-se que o desajustamento de canais está tanto em processo inicial como em evolução bastante adiantada. As aerofotos CIR usadas constituem excelente ferramenta para análise da morfologia fluvial Quaternária (atual e passada) em áreas relativamente isoladas do globo como no Gran Chaco e elas são especialmente úteis para formas de relevo identificadas por tipos distintos de vegetação (Conway e Holz, 1973). As fotos utilizadas foram tomadas em 19/07/1969 durante a Missão 97 do Programa de Recursos da Terra da NASA.

ABSTRACT

False-color infrared aerial photographs clearly reveal many elements of fluvial morphology on the Gran Chaco in Provincia de Formosa, Argentina.

These photographs enable the measurement of channel sinuosity, meander wavelength, and channel width for both modern and prior channels. Morphologic analysis of the measurements suggest that the modern channels may all be underfit. Hydrologic interpretation of the data suggests possible causes of underfitness. Our analysis suggest the four sites include three types of underfit streams: 1) a manifestly underfit stream; 2) an underfit channel and its valley that do not meander but that are otherwise similar to a manifestly underfit channel and valley; and 3) Osage-like underfit streams that are surrounded by meanders abandoned by prior streams. Underfit streams have been previously reported from this region, but they have not been widely noted by geologists outside South America. Comparison of modern and prior fluvial morphology suggests that the discharge at the site of the possibly manifestly underfit stream has declined by a factor greater than 2.0×10^3 , whereas the discharge at the site of the straight, manifest-like underfit stream has declined by a factor of about 0.7×10^3 . These factors are, respectively, 130 and 37 times greater than the factors of decline of discharge that are most commonly associated with climatically-induced underfitness. The most probable cause of such large reductions in discharge is the near-total abandonment of the prior channels. Comparisons of modern and prior morphology indicate that discharges at the sites of the Osage-like underfit streams have declined by factors of 10 to 20. These factors are consistent with a climatic cause for underfitness. However, the Osage-like underfit streams are now intermittent and partly overgrown by vegetation, suggesting that these channels also may be partly abandoned. Underfit streams on the Gran Chaco of South America deserve further attention for several reasons. The underfit fluvial forms in this region are diverse. These streams may reflect the complex interaction of compound causes, including climatic change and the abandonment of channels. Furthermore, processes of the initiation and development of underfitness are still active in Provincia of Formosa.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho pretende testar fotos aéreas infravermelho falsa cor (CIR) para interpretações hidro-geomorfológicas numa área do globo onde as condições climáticas e hidrológicas de seca, são ideais para o estudo de planícies aluviais.

Foram usadas fotos da Missão 97 do Programa de Levantamento de Recursos da Terra, da NASA, na escala de 1:16.000, altitude vôo 2.440m, abrangendo uma faixa de 350 km, na direção ESE-WNW a 20° de latitude sul, na Província de Formosa no Gran Chaco - Argentina. As fotos foram tomadas em julho de 1969, período seco de inverno na América do Sul, no qual as condições para análise CIR da vegetação e da morfologia das planícies aluviais são ideais, por que as variações da vegetação em níveis morfológicos diferentes podem ser bem identificadas devido ao baixo nível do lençol freático (Conway e Holz, 1973). A vantagem do uso das fotos infravermelho é poder distinguir, diferencialmente, a vegetação sadia desde que esta reflete altamente a radiação próxima do infravermelho, permitindo ainda distinguir mudanças súbitas da morfologia aluvial, desde que a resolução das mesmas é excelente. Eyre (1968) relacionou tipos de vegetação às condições hidrológicas e Beaufait (1956) relacionou o caráter dos

solos e a frequência com que eles ficam recobertos pelas inundações às variações topográficas centimétricas, de modo que mudanças súbitas da morfologia aluvial podem estar relacionadas à variação do grau de umidade e do tipo de substrato, os quais suportam um conjunto distinto de vegetação.

A metodologia usada para análise da morfologia fluvial se apoia em relações empíricas entre elementos da morfologia e do regime fluvial para canais aluviais em equilíbrio dinâmico em vários ambientes (Leopoldo et alii, 1964; Dury, 1976; Carlston, 1965; Schumm, 1969). Essas relações estão representadas na Tabela 1. Elas foram usadas para entender o grau de equilíbrio morfológico dos rios aparentes nas imagens CIR e para inferir o valor aproximado dos parâmetros do regime através das medidas da morfologia.

Pela fato de estas equações não terem sido derivadas da Província de Formosa ou áreas vizinhas, a aplicação das mesmas à região é sujeita a debates. Os autores consideraram o uso das mesmas adequadas por uma série de razões entre as quais, pelo fato de que todas elas são baseadas em dados derivados de uma variedade de ambientes climáticos diferentes.

TABELA 1

RELAÇÕES EMPÍRICAS ENTRE ELEMENTOS DA MORFOLOGIA E DO REGIME FLUVIAL (1)

FONTE	EQUAÇÃO	UNIDADES	CLIMA
Leopold et alii (1964)	(1) $L = 10, 9w^{1,01}$	a mesma p/ L e W	Variado
Dury (1976)	(2) $Q_p = L/32,857^{1,81}$	metros	úmido
	(3) $Q_p = W/2,99^{1,81}$	m³/seg.	
	(4) $L/w = 11$		
Carlston (1965)	(5) $L = 8,2 Q_p^{0,62}$	ft ft³/seg.	úmido
Schumm (1969)	(6) $W = 2,3 Q_m^{0,58} M^{0,37}$	ft,	semi-árido
	(7) $L = 243 Q_m^{0,48} M^{0,74}$	ft³/seg.	
	(8) $L/w = 102 Q_m^{0,10} M^{0,37}$		
Schumm (1963)	(9) $P = 0,94 M^{0,25}$		semi-árido

(1) Explicação dos símbolos para os parâmetros da Tabela 1 e tabelas subsequentes:

L = comprimento de onda de meandro; W = largura de canal;

Qp = cheia mais provável (intervalo de recorrência de 1,58 anos);

Qm = cheia média anual (intervalo de recorrência de 2,33 anos);

M = porcentagem de silt e argila nos sedimentos do canal;

P = sinuosidade do canal (razão entre comprimento canal para comprimento do vale).

2. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS SÍTIOS ESTU DADOS

Foram estudados em detalhe 4 sítios diferentes, incluindo uma variedade de características morfológicas que puderam ser reconhecidas nas fotos aéreas, incluindo formas modernas e relitos umas ao lado das outras.

Nesses sítios foram tomadas medidas de canais atuais e antigos: comprimento de onda de meandro (L); largura dos canais (W); sinuosidade dos canais (P). Com esses dados foram elaboradas relações empíricas entre os elementos da morfologia e do regime fluvial, baseados nas equações da Tabela 1. Através das fotos puderam ser mapeadas as planícies aluviais atuais e antigas com todas as micro-formas, meandros abandonados e terraços.

Dos 4 sítios estudados apenas as fotos do sítio 3 são apresentadas, de canais desajustados tipo "Osage" por considerarmos que esse é o tipo mais interessante de desajustamento na área. Os sítios são os seguintes:

SÍTIO 1 - Inclui os seguintes níveis morfológicos de ambos os lados do canal:

1. planície aluvial moderna
2. um terraço
3. um nível mais elevado parecendo terraço, mas que foi considerado como leito antigo do canal primitivo.

A interpretação se baseou nos seguintes fatos: não é terraço porque se expande mais para montante do que para jusante. Não é planície aluvial antiga porque não possui a morfologia relíquia característica. Além desses elementos morfológicos foi possível identificar o tipo e a densidade de vegetação (através da refletividade no infravermelho).

O padrão do canal neste sítio é aproximadamente reto com inflexões, não sendo porém meândrico.

As medidas morfológicas do canal antigo e atual são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2

MORFOLOGIA DO SÍTIO 1

ESTÁGIO MORFOLÓGICO	L	W	L/W	P	M ⁽¹⁾
MODERNO	66m	5m	13,2	1,1	2
ANTIGO	(2)	420m	---	---	---

(1) Estimativa da sinuosidade de acordo com a equação 9 (Tabela 1).

(2) A linha interrompida indica que não foi possível a mensuração.

SÍTIO 2 - Trata-se de um rio manifestamente desajustado. O canal moderno é ladeado por uma planície aluvial com alguns meandros abandonados embutida entre escarpas de aluvião; por baixos terraços e altos terraços com arcos de meandros erodidos.

A interpretação das margens do baixo terraço é complicada porque ele foi parcialmente reflorestado e sua morfologia foi modificada pela atividade fluvial subsequente. As medidas morfológicas dos canais moderno e antigo estão resumidas na Tabela 3.

TABELA 3

MORFOLOGIA DO SÍTIO 2

ESTÁGIO MORFOLÓGICO	L	W	L/W	P	M ⁽¹⁾
MODERNO	170m	8m	21,3	1,4	4,9
ANTIGO	5.440m	400m	13,6	1,3	3,7

(1) Estimativa da sinuosidade, de acordo com a equação 9 (Tabela 1).

A planície aluvial e o baixo terraço seguem um curso de meandros muito amplos com curvas de ângulos altos. O comprimento de onda dessas curvas possui mais do que uma ordem de magnitude, maior do que aquela do canal moderno. Esse padrão sinuoso sugere que a planície aluvial e o baixo terraço seguem o curso de um canal meandrante anterior.

A razão do comprimento de onda do baixo terraço para a largura do seu canal é típica da razão entre as duas variáveis em canais aluviais em equilíbrio dinâmico. (Leopold et alii, 1964; Gregory e Valling, 1973).

SÍTIO 3 - O canal sinuoso é cercado de muitos meandros abandonados, de vários tamanhos, ocupando uma planície irregular. Nenhum terraço extensivo e aparente ocorre neste sítio (Figura 1).

A maior parte dos meandros abandonados possuem canais que são 3 ou 5 vezes mais largos que o canal moderno, mas os comprimentos de onda (L) dos meandros abandonados são apenas ligeiramente maiores do que os dos canais modernos.

A maioria das formas de meandros abandonados são compostas (os comprimentos de onda foram medidos ao longo dos arcos simples).

Os meandros abandonados foram agrupados em três classes, de tamanho distintas, grupadas na largura dos canais. A distribuição espacial dos meandros abandonados dentro de cada grupo sugere que todos eles podem ter sido formados mais ou menos contemporaneamente. Os meandros pertencentes aos dois grupos de canais mais largos estão localizados pouco mais afastados do canal moderno. Os outros, de canais mais estreitos estão localizados mais ou menos adjacentes ao canal moderno e parece terem sido seccionados de um canal posicionando como o canal atual. A distribuição dos meandros abandonados com canais de várias larguras sugere que através do tempo eles se tornaram mais estreitos à medida que se aproximavam de posições mais próximas do canal atual. Desse modo é possível traçar a migração do canal através de sua planície aluvial. Em alguns setores o canal migrou mais de 2 quilômetros.

Foi possível distinguir, na análise hidrográfica desse sítio, dois estágios primitivos da morfologia fluvial de particular significância. O estágio mais antigo (estágio 1) é representado pelo grupo de meandros de canais mais largos. O segundo estágio menos antigo (estágio 2) ocorreu quando o canal migrou para a sua posição presente. Nesse estágio se desenvolveram: os meandros abandonados com os canais mais estreitos e o padrão

dos canais modernos. As medidas desses canais estão representados na Tabela 4.

O estágio moderno possui uma morfologia herdada em grande parte do primitivo estágio 2 e que não é, geneticamente, relacionada ao regime fluvial atual. Por essa razão nós transferimos medidas de alguns elementos morfológicos do canal moderno para o estágio 2. Apesar da maior parte da morfologia do canal moderno não ser geneticamente relacionada com o regime fluvial atual, nós acreditamos que a largura do canal moderno seja atribuída ao regime atual. Esses fatos nos levaram a considerar o canal moderno desajustado do tipo "Osage", cercado de meandros relitos abandonados pelo canal antigo.

SÍTIO 4 - O canal moderno é extremamente sinuoso, sendo a alta sinuosidade resultante da amplitude dos meandros. O comprimento de onda dos meandros é muito grande para a largura do canal. O canal moderno ocupa uma planície irregular com segmentos de meandros antigos abandonados, os quais possuem o mesmo comprimento de onda e a mesma forma do canal moderno, mas cuja largura de canal é bem maior. Devido à magnitude do comprimento de onda, o padrão do canal moderno é interpretado como herdado do antigo estágio. A largura do canal moderno é atribuída ao regime hidrológico atual mas o comprimento de onda do canal moderno parece ter sido herdado. Esse tipo de canal altamente sinuoso e desajustado, cercado de meandros relitos é também considerado tipo "Osage". Desajustamento tipo "Osage" ocorre quando as descargas formadoras dos canais são capazes de reduzir o espaço entre as depressões escavadas e as soleiras sedimentadas (pools e riffles) e, ainda a largura do canal, mas são incapazes de reduzir proporcionalmente o comprimento de onda dos meandros (L).

Os "pools e riffles" não são distintamente aparentes nas imagens CIR do sítio 3 e 4 mas o desajustamento tipo "Osage" pode ser inferido através da razão do comprimento de onda do meandro para a largura do canal. Para rios não desajustados a relação típica (L/W) é de cerca de 11/1 (Tabela 1). As razões para os canais antigos nos sítios 3 e 4 são menores do que essas (Tabelas 4 e 5) mas estão dentro dos valores esperados para o equilíbrio dinâmico (Gregory e Valling, 1973).

A razão (L/W) para o canal moderno no sítio 4 está entre 40/1 e 50/1, típica de meandros "Osage" encontrada por nós U.S.A. (Dury, 1964).

A razão (L/W) para o canal moderno no sítio 3 é de cerca de 24/1. Essa razão é inferior aos valores típicos de rios desajustados tipo "Osage" encontrada por Dury, mas, o seu valor é substancialmente mais elevado do que as razões típicas encontradas nos rios não desajustados.

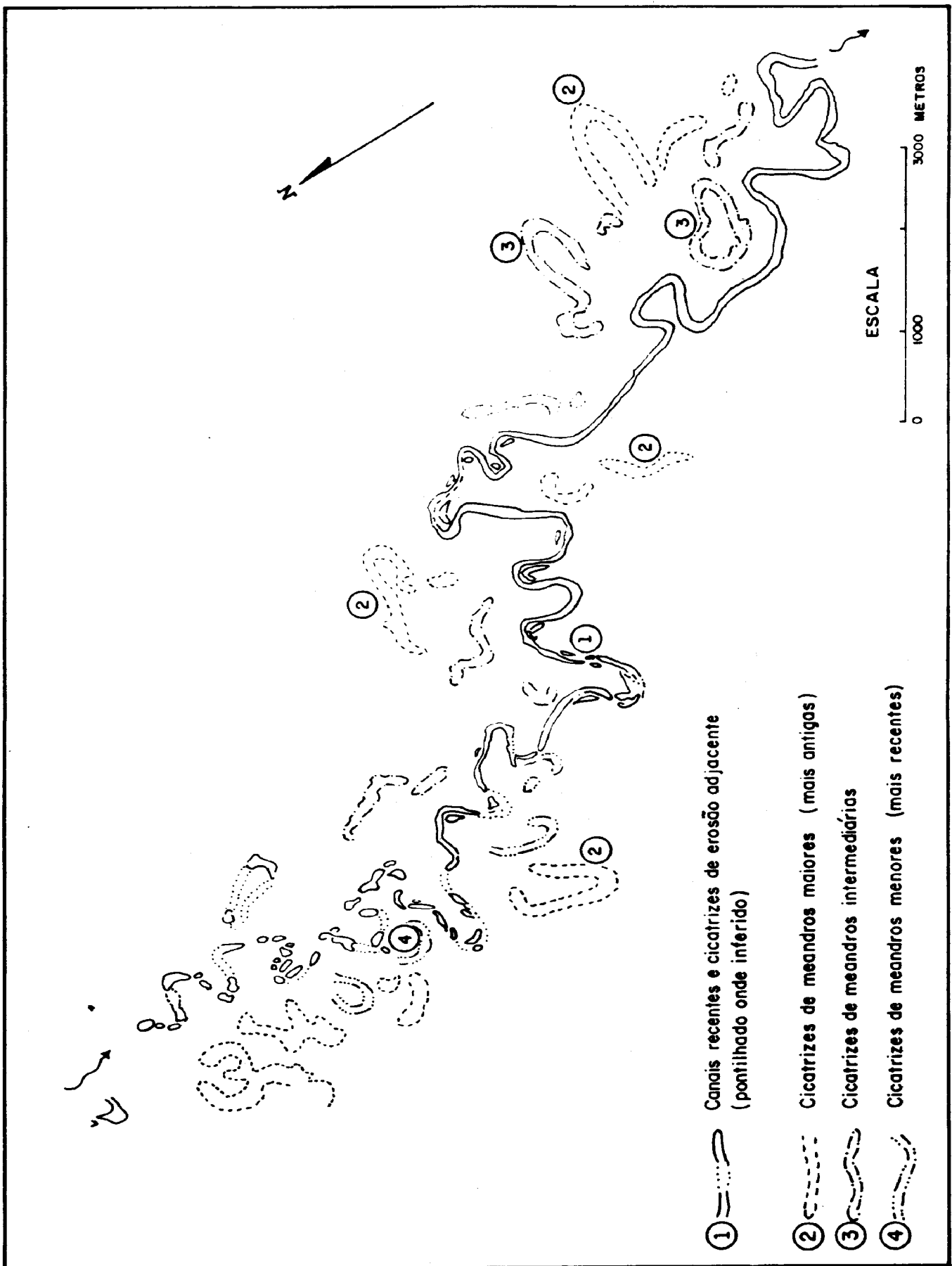


Fig. 1 - Canais Recentes e Meandros abandonados (Relictos) no sítio 3 (com base na foto).

TABELA 4

MORFOLOGIA DO SÍTIO 3

ESTÁGIO MORFOLÓGICO	L	W	L/W	P	M ⁽¹⁾
MODERNO	(2)	24m	---	---	---
PRIMITIVO 2	580m	55m	10,5	2,2	30
PRIMITIVO 1	630m	96m	6,6	---	---

(1) Estimativa da sinuosidade (P) de acordo com a equação 9, (Tabela 1).

(2) As linhas interrompidas indicam que nenhuma medida foi possível.

TABELA 5

MORFOLOGIA DO SÍTIO 4

ESTÁGIO MORFOLÓGICO	L	W	L/W	P	M ⁽¹⁾
MODERNO	(2)	18m	---	---	---
PRIMITIVO	770m	113m	6,9	3,4	100

(1) Estimativa da sinuosidade (P) de acordo com a equação 9 (Tabela 1).

(2) As linhas interrompidas indicam que nenhuma medida foi possível.

3. ANÁLISE PALEOHIDROLÓGICA

A causa geral dos rios desajustados é um declíneo na magnitude das frequências das descargas formadoras dos canais (Dury, 1965 e 1976). O autor afirma, que nas regiões úmidas, a cheia mais provável com um intervalo de recorrência de 1,58 anos exerce um controle dominante nas dimensões dos canais aluviais.

Carlston (1965) e Schumm (1969) notaram correlações altas de descargas frequentes com a morfologia fluvio-aluvial em uma variedade de ambientes climáticos.

Embora o declíneo das descargas possa conduzir a desajustamento de canais, a morfologia particular de qualquer canal é determinada pelo regime hidrológico e sedimentológico. As relações qualitativas entre morfologia e os aspectos do regime hidrológico-sedimentológico são indicadas pelas expressões:

$$Q = \frac{w, d, L}{S}$$

e

$$Q_s = \frac{w, S, L, F}{d, P}$$

onde:

Q = pode ser cheia média anual ou descarga média anual

Q_s = é a proporção de carga do leito na carga total de sedimentos sólidos

d = profundidade do canal

S = declividade do canal

F = razão da largura para a profundidade do canal.

Os outros parâmetros já foram definidos na Tabela 1.

Se o regime sedimentológico mudou significativamente nos sítios de Formosa, então as mudanças na morfologia podem não ser particularmente dependentes das mudanças do regime hi

drológico. Contudo os autores crêem que as mudanças sedimentológicas não tiveram uma influência importante sobre a morfologia geral dos rios desajustados, antes as mudanças de descarga foram as causas mais importantes do desajustamento.

4. ESTIMATIVAS DE DESCARGAS DOS CANAIS ANTIGOS E MODERNOS

Foram usadas as equações indicadas (Tabela 1) para estimar as descargas dos canais antigos e modernos em cada sítio estudado e para estimar as mudanças de descargas que criaram a morfologia desajustada. As estima

tivas de descargas para os sítios 1, 2, 3, e 4 estão resumidas nas Tabelas 6a, 7a, 8a e 9a. As estimativas das razões das descargas antigas para modernas estão representadas nas Tabelas 6b, 7b, 8b e 9b.

Os cálculos efetuados mostraram que as estimativas de mudanças de descargas baseadas em diferentes equações variaram conforme um fator menor do que 2. Essas estimativas de mudanças indicam que as magnitudes de frequências de descargas formadoras de canais declinaram conforme fatores da ordem de 10^1 nos sítios 3 e 4, enquanto as mesmas declinaram por fatores da ordem de 10^2 a 10^3 nos sítios 1 e 2 (Tabelas 6b, 7b, 8b e 9b).

TABELA 6a

HIDROLOGIA DO SÍTIO 1 - ESTIMATIVAS DE DESCARGA

PARÂMETRO DE DESCARGA	EQUAÇÃO USADA PARA ESTIMAÇÃO	PARÂMETROS USADOS PARA ESTIMAÇÃO	ESTIMADA $m^3/seg.$
MODERNO Q_p	2	L	3,6
MODERNO Q_p	3	W	2,5
MODERNO Q_p	5	L	5,5
MODERNO Q_m	6	W, M	1,3
MODERNO Q_m	7	L, M	0,1
ANTIGO Q_p	3	W	8.030
ANTIGO Q_m	6	W, M	2.720

TABELA 6b

COMPARAÇÕES DE DESCARGAS MODERNAS E ANTIGAS

PARÂMETRO DE DESCARGA	EQUAÇÃO USADA PARA ESTIMAÇÃO	PARÂMETROS USADOS PARA ESTIMAÇÃO	RAZÃO DE DESCARGAS
ANTIGO Q_p / MODERNO Q_p	3	W	3.160
ANTIGO Q_m / MODERNO Q_m	6	w, M	2.180

TABELA 7a

HIDROLOGIA DO SÍTIO 2 - ESTIMATIVAS DE DESCARGA

PARÂMETRO DE DESCARGA	EQUAÇÃO USADA PARA ESTIMAÇÃO	PARÂMETROS USADOS PARA ESTIMAÇÃO	ESTIMADA m ³ /seg.
MODERNO Q _p	2	L	20
MODERNO Q _p	3	w	5,9
MODERNO Q _p	5	L	26
MODERNO Q _m	6	w,M	5,1
MODERNO Q _m	7	L,M	2.0
ANTIGO Q _p	2	L	10.830
ANTIGO Q _p	3	w	7.350
ANTIGO Q _p	5	L	6.850
ANTIGO Q _m	6	w,M	3.680
ANTIGO Q _m	7	L,M	1.780

TABELA 7b

COMPARAÇÕES DE DESCARGAS ANTIGAS E MODERNAS

PARÂMETROS DE DESCARGA	EQUAÇÃO USADA PARA ESTIMAÇÃO	PARÂMETROS USADOS PARA ESTIMAÇÃO	RAZÃO DE DESCARGAS
ANTIGO Q _p / MODERNO Q _p	2	L	540
ANTIGO Q _p / MODERNO Q _p	3	w	1.230
ANTIGO Q _p / MODERNO Q _p	5	L	270
ANTIGO Q _m / MODERNO Q _m	6	w,M	720
ANTIGO Q _m / MODERNO Q _m	6	L,M	880

TABELA 8a

HIDROLOGIA DO SÍTIO 3 - ESTIMATIVAS DE DESCARGA

PARÂMETRO DE DESCARGA	EQUAÇÃO USADA PARA ESTIMAÇÃO	PARÂMETROS USADOS PARA ESTIMAÇÃO	ESTIMADA $m^3/seg.$
MODERNO Qp	3	w	44
MODERNO Qm	6	w,M	113
ANTIGO 2 Qp	2	L	185
ANTIGO 2 Qp	3	w	199
ANTIGO 2 Qp	5	L	185
ANTIGO 2 Qm	6	w,M	457
ANTIGO 2 Qm	7	L,M	421
ANTIGO 1 Qp	2	L	215
ANTIGO 1 Qp	3	w	549
ANTIGO 1 Qp	5	L	211
ANTIGO 1 Qm	6	w,M	1.200
ANTIGO 1 Qm	7	L,M	498

TABELA 8b

COMPARAÇÕES DE DESCARGAS MODERNAS E ANTIGAS

PARÂMETROS DE DESCARGA	EQUAÇÃO USADA PARA ESTIMAÇÃO	PARÂMETROS USADOS PARA ESTIMAÇÃO	RAZÃO DE DESCARGAS
ANTIGO 1 Qp/ ANTIGO 2 Ap	3	w	2,8
ANTIGO 2 Qp/ MODERNO Qp	3	w	4,5
ANTIGO 1 Qp/ MODERNO Qp	3	w	12,5
ANTIGO 1 Qm/ ANTIGO 2 Qm	6	w,M	2,6
ANTIGO 2 Qm/ MODERNO Qm	6	w,M	4,0
ANTIGO 1 Qm/ MODERNO Qm	6	w,M	10,6
ANTIGO 1 Qm/ ANTIGO 2 Qp	2	L	1,2
ANTIGO 1 Qp/ ANTIGO 2 Qp	5	L	1,1
ANTIGO 1 Qp/ ANTIGO 2 Qp	7	L,M	1,2

TABELA 9a

HIDROLOGIA DO SÍTIO 4 - ESTIMATIVAS DE DESCARGA

PARÂMETROS DE DESCARGA	EQUAÇÃO USADA PARA ESTIMAÇÃO	PARÂMETROS USADOS PARA ESTIMAÇÃO	ESTIMADA $m^3/seg.$
MODERNO Qp	3	w	26
MODERNO Qm	6	w,M	148
ANTIGO Qp	2	L	309
ANTIGO Qp	3	w	737
ANTIGO Qp	5	L	295
ANTIGO Qm	6	w,M	3.410
ANTIGO Qm	7	L,M	4.930

TABELA 9b

COMPARAÇÕES DE DESCARGAS MODERNAS E ANTIGAS

PARÂMETRO DE DESCARGA	EQUAÇÃO USADA PARA ESTIMAÇÃO	PARÂMETROS USADOS PARA ESTIMAÇÃO	RAZÃO DE DESCARGAS
ANTIGO Qp/ MODERNO Qp	3	w	28
ANTIGO Qm/ MODERNO Qm	6	w,M ⁽¹⁾	23

(1) Calculado supondo um valor constante mas inespecificado para M.

Dury (1965 e 1976) demonstra que a causa geral dos canais desajustados são mudanças climáticas que reduzem a magnitude da frequência de descargas formadoras dos canais. Cucchi (1973 e 1974) acredita que os canais desajustados de Formosa tiveram causa climática, e, Iriondo (1974) sugere que as mudanças de curso dos rios principais naquela região podem também ter criado canais desajustados.

Dury (1976) crê que as mudanças morfológicas associadas com desajustamento por causa climática, comumente indicam que a magnitude das descargas formadoras do canal declinaram conforme fatores próximos a 20. Foi o que ocorreu no sítio 4. No sítio 3 as descargas declinaram conforme fatores pela metade do anterior ou seja, fator 10. Assim parece que o desajustamento nos sítios 3 e 4 se fez em resposta a mudanças climáticas. Contudo, no sítio 1 a média dos fatores de declínio ficou em torno de 2.670 e no sítio 2 a média é de cerca de 730.

Essas mudanças estimadas são respectivamente 130 e 37 vezes maiores do que as mudanças típicas de descargas atribuídas a causas climáticas.

Diminuições e descargas de tão grande magnitude são provavelmente o resultado do quase completo abandono dos canais.

Embora o grau de mudança morfológica dos sítios 3 e 4 seja comparável a desajustamento por causa climática, outros fatores parecem estar em jogo. Os rios dos sítios 3 e 4 são intermitentes e parcialmente cobertos de vegetação e as condições de intermitência não são comuns em rios desajustados sob condições climáticas (Dury 1964 e 1965), mas são comuns nos canais abandonados de Formosa.

O desajustamento do sítio 3 se processou em duas fases distintas. O primeiro período entre os dois estágios morfológicos primitivos 1 e 2, envolveu um estreitamento pronunciado do canal enquanto o comprimento de onda de meandro permaneceu o mesmo.

Durante esse período o canal migrou livremente na planície aluvial. Durante o segundo período (do canal antigo 2, para o moderno) o canal continuou a estreitar mas seu padrão não mudou e o canal não migrou. Um seccionamento (avulsão) de meandro à montante pode ter sido a causa dessa transição. Uma repentina perda de descarga poderia responder pelo fim da migração e o começo do crescimento do canal.

É possível que os ajustamentos morfológicos dos sítios 3 e 4 estejam incompletos e que a redução aparente na descarga esteja apenas coincidentemente relacionada com de sajustamento por causa climática.

5. CONCLUSÕES

Com auxílio de fotografias CIR observamos:

- 1 - um rio manifestamente desajustado
- 2 - um rio desajustado que é semelhante ao manifestamente desajustado, exceto que não meandra.
- 3 - dois rios desajustados aparentemente semelhantes aos "Osage type", cerca dos por formas relitos de canais primitivos.

Assim, há pelo menos 3 variedades de rios desajustados na área do Gran Chaco:

- a) O rio manifestamente desajustado é identificável nas fotos como um rio meandrante que segue um curso meandrante muito mais amplo.
- b) O rio desajustado não meândrico, semelhante ao manifestamente desajustado e flanqueado por terraços que se estendem para montante do canal que podem ser interpretados como bancos de planície aluvial de um canal primitivo.
- c) Os rios desajustados similares ao tipo "Osage" não são identificáveis pelo espaçamento de seus "riffles e pools", por que eles não estão bem claros nas fotos. Esses rios foram identificados pelas suas altas relações de comprimento de onda de meandro para largura de canal. A interpretação do desajustamento foi auxiliada pela aparência dos meandros relitos abandonados nos quais as sucessivas mudanças nos parâmetros morfológicos puderam ser reconhecidas.

O abandono de canais é a causa provável do desajustamento em alguns canais manifestamente desajustados e semelhantes aos manifestamente desajustados onde as descar

gas parecem ter declinado conforme fatores maiores que 10^2 e 10^3 . O abandono de canais pode também ter influenciado o desenvolvimento de rios desajustados semelhantes aos tipo "Osage".

Os efeitos de abandono de canais podem ser superpostos aos efeitos de mudanças climáticas regionais.

Por causa da influência do abandono de canais no desenvolvimento de alguns rios desajustados na Província de Formosa, esses rios são de valor limitado para interpretar a história climática da região.

Contudo, a multiplicidade de tipos de de sajustamento da morfologia fluvial e a complexa interação entre as causas compostas de desajustamento intrigam e aumentam o interesse pelo estudo do problema. A morfologia fluvial na Província de Formosa chama atenção porque a maioria das mudanças morfológicas não estão confinadas só ao passado geológico mas ainda estão ocorrendo hoje.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEAUFAIT, L. Southern Forest Experiment Station. *Occasional Paper*, (148), 1956. 12 p.
- CARLSTON, C.W. The relation on free meander geometry to stream discharge and its geomorphic implication. *American Journal of Science*, 263:864-885, 1965.
- CONWAY, D.; HOLZ, R.K. The use of near-infrared photography in the analysis of surface morphology of an Argentine alluvial floodplain. *Remote Sensing of Environment* 2:235-242, 1973.
- CUCCHI, R. Aspectos geomorfológicos de la llanura formosena. Los Rios sin proporcion y su significado climático. *Revista de la Asociación Geología Argentina*, 28, 156-164, 1973.
- CUCCHI, R. Respuesta a una hipótesis alternativa sobre el origen del desajuste de los rios del este de Formosa. *Revista de la Asociación Geología Argentina*, 29, 138-139, 1974.
- DURY, G.H. Principles of underfit streams. *Geological Survey Professional Paper*, (425-A), 1964. 67 p.
- DURY, G.H. Theoretical Implications of Underfit Streams *Geological Survey Professional Paper*, (425-C), 1965. 43 p.
- DURY, G.H. Discharge prediction, present and former, from channel dimensions. *Journal of Hydrology*, 30:219-245, 1976.

- EYRE, S.R. *Vegetation and soils*. Aldine, Chicago, Aldine, 1968. 328 p.
- GREGORY, K.S.; VALLING, D.E. *Drainage basin form and process*. New York, John Wiley and Sons, 1973. 456 p.
- IRIONDO, M.H. Los rios desajustados de Formosa. Una hipotesis alternativa. *Revista de la Asociación Geologica Argentina*, 29:136-137, 1974.
- LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. *Fluvial processes in geomorphology*. San Francisco, W.H. Freeman, 1964.
- SCHUMM, A. River metamorphosis. *Journal of the Hydraulics Division*, 95:255-273, 1969.

