

CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E SUA RELAÇÃO COM A HIDROLOGIA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DE TABULEIROS COSTEIROS NO NORTE DE ESPÍRITO SANTO, BRASIL.

VICENS R.S.¹,

¹ Universidade Federal Fluminense Tel. (21) 2629-5966 rcuba@vm.uff.br

MARQUES J.S.²

² Universidade do Estado do Rio de Janeiro Tel. (21) 2587-7287 jorgesm@uol.com.br

RESUMO

A análise da geometria das bacias de drenagem revela a diferenciação entre elas e o papel que a morfometria e o arranjo espacial dos componentes da paisagem jogam no potencial de armazenamento hídrico e no ciclo hidrológico de cada bacia. Através desta análise, foram estabelecidas as propriedades morfométricas de 16 bacias hidrográficas desenvolvidas na planície de depósitos continentais Terciários da formação Barreiras, no domínio geomorfológico dos Tabuleiros Costeiros, entre os rios Doce e Barra Seca, no Norte do Espírito Santo. Atendendo às correlações simples entre as variáveis morfométricas e o escoamento superficial do canal principal, foram escolhidas as características geomorfológicas utilizadas em uma regressão múltipla com a vazão instantânea em bacias hidrográficas de tabuleiros costeiros. O fluxo superficial do canal mostrou uma maior relação com o a área e do volume de relevo que representam a quantidade de água armazenado na bacia, assim como também com as características da drenagem, em função do comprimento total dos canais, do gradiente do canal principal e do gradiente até o nível de base local, variáveis que representam condições favoráveis para um escoamento rápido. No intuito de incluir no modelo outros componentes da estrutura da paisagem, foi incluída uma análise da cobertura vegetal através de índices de vegetação e uso da terra obtidos por processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Os índices foram testados e o grau de transformação antrópica apresentou maior coeficiente de correlação parcial com a vazão, pelo qual foi adicionado à regressão múltipla. A vazão momentânea do canal ficou melhor relacionada à morfometria da bacia, através da área, do gradiente do canal principal e do gradiente até o nível de base local, junto ao grau de transformação antrópica da paisagem. O modelo apresentou um coeficiente de correlação múltipla de 0,956, um erro médio padrão de 2,23 e resultou significativa para um nível de confiança de 0,05.

Palavras-chave: morfometria, bacia hidrográfica, vazão.

INTRODUÇÃO

A relação entre fatores geomorfológicos e a hidrologia das bacias tem sido um objetivo perseguido por geomorfólogos e hidrólogos. A predição acurada do fluxo do canal para determinadas condições de precipitação é difícil de alcançar devido à complexidade de fatores (clima, vegetação, características dos solos, topografia) que determinam o escoamento superficial. No entanto, dados de frequência, intensidade e duração da chuva permitem obter modelos empíricos da relação precipitação-runoff.

Estudos quantitativos da influência das características morfométricas das bacias na descarga hídrica datam desde o início do século passado. Sherman (1932) mostrou que

bacias com diferentes formas e gradientes possuíam diferentes hidrogramas unitários, embora não quantificando essa relação. Já Kirpich (1940 *apud* Kirkby, 1987) modelou o tempo de concentração, necessário para a simulação do hidrograma, a partir do comprimento e do gradiente do canal. Potter (1953) e posteriormente Morisawa (1962), utilizaram variáveis morfométricas numa regressão múltipla com o pico de vazão. Jarboe & Haan (1974) utilizaram elementos físico-geográficos como solos, geologia e morfometria para prever o comportamento de curvas de vazão em bacias hidrográficas não instrumentalizadas. Variáveis como área da bacia, gradiente do canal principal e altitude média da bacia foram utilizadas por Wandle Junior (1983) na estimativa de picos de vazão em pequenas bacias rurais. Estudos similares tem sido realizados por Costa (1987) em relação ao volume do fluxo e por Harlin (1984) relacionando a morfometria da bacia e o tempo até o pico de vazão. Uma revisão de estudos sobre o relacionamento da morfologia e o escoamento superficial pode ser encontrada em Beven et al (1988).

O presente trabalho tem como objetivo estabelecer, através de modelos, relações matemáticas entre variáveis quantitativas da morfometria das bacias com o escoamento superficial dos canais. São analisados também coeficientes de correlação parcial entre a vazão e índices de uso e cobertura vegetal no intuito de relacionar, através de uma regressão múltipla, variáveis morfométricas e de vegetação com a descarga hídrica dos canais.

Descrição geral das bacias

As dezesseis bacias selecionadas, com áreas variando entre 25 e 100 quilômetros quadrados, desenvolvem-se quase em sua totalidade sobre a superfície do tabuleiro costeiro entre os rios Doce e Barra Seca, no Norte de Espírito Santo (Figura 1).

A localização dentro de um mesmo domínio geomorfológico condiciona a existência de características morfológicas similares para todas as bacias, embora o grau de diferenciação aumente nas áreas de transição para outros domínios. Dentre as principais peculiaridades das bacias de tabuleiros costeiros destacam-se o topo plano dos interflúvios, o qual dificulta a delimitação das áreas de contribuição, e a existência de vales encaixados com fundos entulhados. A drenagem segue um padrão paralelo, típico de superfícies sedimentares levemente inclinadas, onde o controle estrutural é inexistente ou somente se manifesta nos vales de maior dissecação vertical.

O grau de similaridade vai diminuindo com a variação hipsométrica do tabuleiro, aumentando a diferenciação entre as áreas de maior altura, junto ao relevo cristalino, e as áreas mais baixas do tabuleiro, no limite com a planície deltaica do rio Doce. As bacias hidrográficas que têm quase a totalidade da sua área numa faixa altimétrica inferior aos 100 metros apresentam-se sob formas alongadas, com drenagem paralela. Acima dos 100 metros de altitude, a principal característica das bacias é o aumento da circularidade e a mudança no padrão da rede de drenagem que passa a ser mais dendrítico. O controle

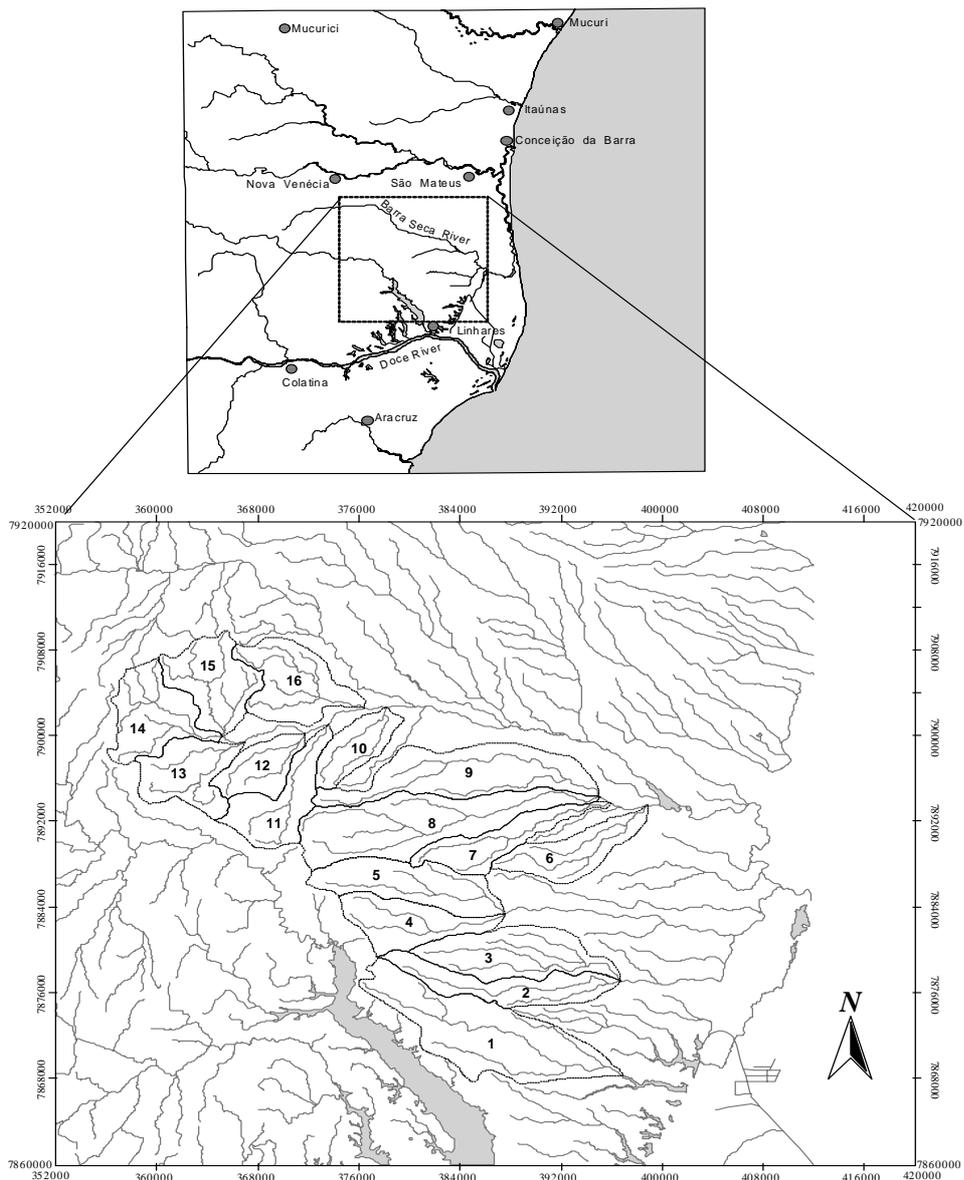


Figura 1 Localização das bacias hidrográficas. 1, Faria; 2, Alegre; 3, João Pedro; 4, Ronco Alto; 5, Chumbado; 6, Dois Irmãos; 7, Joeirana; 8, Cupido; 9, Quirino; 10, Sem Nome; 11, Rodrigues; 12, Bom Jardim; 13, Senador Jonas; 14, Paraíso Novo; 15, estrutural é maior, aumentando o número de trechos retilíneos e pontos de ruptura de gradiente e influenciando a direção dos canais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta dos dados

Para facilitar a obtenção de dados quantitativos, as mensurações foram feitas, em maior número possível, sobre a base topográfica digitalizada e armazenada num SIG, utilizando para isso as ferramentas de mensuração linear (comprimentos) e superficial (áreas) do sistema CAD empregado (*MicroStation 95*). Os cálculos de gradiente e de volume de relevo foram feitos utilizando um Modelo Numérico do Terreno, no caso um modelo hipsométrico gerado pelo módulo *Terrain Analyst* (MTA) do *MGE*. Sobre o modelo foram lidas as cotas altimétricas nos pontos de fechamento (*outlet*) das bacias e nos pontos de encontro com o nível de base local. O volume de relevo das bacias foi calculado como o acúmulo de relevo contido entre a superfície do modelo e a superfície do plano horizontal com altura igual à cota específica do *outlet* de cada bacia, limitado pelo divisor de águas.

Para estabelecer uma relação matemática entre a morfometria das bacias e seu funcionamento hídrico, foram mensuradas em campo as vazões das dez bacias que têm seus pontos de fechamento fora da Reserva Biológica de Sooretama, onde é difícil o acesso. A vazão foi calculada pelo método Área-Velocidade, razão pela qual foram escolhidos como pontos de amostragem cruzamentos de estradas com o canal principal. A área transversal foi calculada através da mensuração das dimensões das estruturas de escoamento dos canais por baixo das estradas (manilhas) ou planimetricamente quando foi necessário elaborar perfis transversais nas pontes. A velocidade do fluxo dos canais foi mensurada com ajuda de um molinete, com registros de velocidade instantânea e de velocidade média de toda a área transversal do canal.

Lista de símbolos e definições

l	Comprimento do canal, em quilômetros (km)
L	Comprimento total dos canais, em quilômetros (km)
A	Área da bacia, em quilômetros quadrados (km ²)
R_D	Densidade de drenagem, razão entre o comprimento total dos canais e a área da bacia, $R_D = L/A$
S_C	Gradiente do canal principal, razão entre a diferença de altura nos extremos do canal e o comprimento do canal, $S_C = \Delta h/l$
R_C	Circularidade da bacia, razão entre a área da bacia e a área de um círculo A_C de perímetro igual ao perímetro da bacia, $R_C = A/A_C$
F_1	Frequência de canais de primeira ordem, número de canais de primeira ordem por unidade de área
R_R	Taxa de relevo, razão entre o comprimento máximo da bacia medido paralelamente à direção geral do canal principal e a diferença altitudinal entre o ponto mais alto do divisor e o <i>outlet</i> da bacia. $R_R = \Delta h/L_B$
V_R	Volume de relevo em quilômetros cúbicos (km ³)
S_{BL}	Gradiente até o nível de base local, razão da diferença de alturas entre o <i>outlet</i> da bacia e o nível de base local, e o comprimento do trecho de canal entre ambos pontos.

Índices de uso e cobertura

Utilizando um Mapa de Uso da Terra gerado a partir do processamento digital de uma imagem ETM/Landsat, foi calculado um índice que depende do tipo de uso predominante na bacia, segundo a equação (Lémechev, 1982 *apud* Mateo, 1991):

$$I_{TAj} = \sum_{i=1}^n r_i S_{ij} \quad (1)$$

onde r_i é o grau de transformação antrópica da paisagem, relacionado ao tipo de uso, ponderado num intervalo de valores de 1 a 10, S_{ij} o percentual em área ocupada pelo tipo de uso i na bacia j e na quantidade máxima de tipos de uso da terra. Esse percentual foi obtido através de análise espacial no SIG, pelo cruzamento do mapa de cobertura e uso da terra e o mapa das bacias, seguido do cálculo das áreas parciais de cada uso dentro de cada bacia.

Para obter um coeficiente de cobertura vegetal (C_V) para cada bacia, foram utilizadas as bandas ETM-3 (0,63 μ m – 0,69 μ m) e ETM-4 (0,78 μ m – 0,90 μ m) para o cálculo do índice de vegetação pela diferença normalizada-NDVI (Rouse *et al.*, 1974). A

imagem-índice de vegetação obtida foi reclassificada em 16 classes de intervalos **NDVI** cujos valores médios foram utilizados na equação:

$$C_{vj} = \sum_{i=1}^n I_{vi} S_{ij} \quad (2)$$

onde I_{vi} é o valor médio de **NDVI** da classe i , S_{ij} o percentual em área ocupada pela classe i na bacia j e n o número de classes de **NDVI** ($n = 16$). Assim como o **NDVI**, o coeficiente de cobertura vegetal oscila entre -1 e $+1$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fatores controladores do escoamento superficial

A tabela 1 apresenta os coeficientes de correlação calculados para as 10 bacias hidrográficas de tabuleiros onde foi possível medir a vazão, com o objetivo de estabelecer a regressão entre essa variável hidrológica e as variáveis morfométricas. Na ausência de correlações fortes ($R > 0,7$), as correlações substanciais, acima de 0,4, foram testadas e resultaram significativas para um nível de confiança de 0,05.

Tabela 1 Coeficientes de correlação entre as características geomorfológicas e a vazão dos canais nas bacias hidrográficas de tabuleiros entre os rios Doce e Barra Seca

	Vazão (m ³ /Seg)
Área da bacia	0,4050*
Comprimento Total dos canais	0,5072*
Densidade de drenagem	0,3339
Gradiente do canal principal	0,3247
Índice de circularidade	0,1847
Volume de relevo	0,4476*
Taxa de relevo	0,4787*
Frequência de canais de primeira ordem	0,6102*
Gradiente até o nível de base local	0,6871*

*Correlação substancial

Embora a maioria das variáveis morfométricas se relacione de forma substancial com a vazão do canal, nenhuma delas apresentou coeficientes de correlação parcial forte. Ao contrario do que poderia se esperar, nem a área nem o comprimento total dos canais

estão fortemente relacionados com o escoamento superficial. Em bacias hidrográficas de tabuleiros, essa forma de escoamento não constitui o tipo principal de fluxo devido à permeabilidade da litologia. Mesmo com relação à área da bacia e ao volume de relevo, que representam em conjunto o volume potencial de água que pode ser armazenada, a vazão apresenta apenas correlações substanciais. Isto significa que o volume de água que corre em superfície de forma concentrada não pode ser explicado apenas pela quantidade de água que se encontra armazenada na bacia.

Outras variáveis que também favoreceriam o escoamento superficial, como a densidade de drenagem e o gradiente do canal principal, apresentaram uma baixa correlação com a vazão. Isto pode ser devido a várias causas. Por um lado, uma maior rede de drenagem e maiores gradientes do canal principal podem favorecer o rápido escoamento da água para fora da bacia, restando apenas o fluxo de base. Tratando-se de bacias de tabuleiros, esta razão provavelmente não seja determinante, pois nenhuma das duas variáveis apresentam grandes magnitudes, e a densidade de drenagem se mantém praticamente constante para todas as bacias. O maior coeficiente de correlação encontrado relaciona a vazão com o gradiente até o nível de base local. Embora ainda substancial, mas com valores próximos a 0,7, este resultado mostra que existe, dentre todas as variáveis analisadas, uma maior relação entre o escoamento superficial e os valores de desnível e distância entre o ponto de mensuração da vazão e o nível de base local. Quanto mais íngreme for o trecho de canal até esse nível, maior será o volume de água escoado. Este gradiente é sempre maior quando o nível de base local é constituído por um rio encaixado ao invés de fundos de vales afogados.

Correlação múltipla com a vazão

Na hidrologia das bacias de tabuleiros pode-se dizer que a vazão está diretamente relacionada a todas as variáveis morfométricas. Embora o volume e a intensidade da descarga hídrica resultem da ação combinada de vários fatores (clima, vegetação, condições do solo e topografia), a relação direta da vazão com a geomorfologia pode ser modelada através de regressões múltiplas, considerando a frequência e intensidade das precipitações como sendo as mesmas para todas as bacias. Na ausência de registros sistemáticos de vazão nos rios da área de estudo, o modelo foi gerado a partir de uma única mensuração de vazão e foram levados em conta somente variáveis morfométricas das bacias.

Como algumas variáveis são obtidas a partir de outras ou apresentam altas correlações parciais entre si, foram calculados os coeficientes de determinação na matriz de similaridade, eliminando as variáveis que representavam insignificância ou aditividade, até conseguir a melhor combinação, isto é, até todos os coeficientes estarem dentro ou próximos do intervalo entre 75% e 125% (tabela 2).

Tabela 2 Coeficientes de determinação obtidos na matriz de similaridade. A melhor combinação de variáveis foi obtida descartando aquelas que representavam insignificância ou aditividade.

	Coeficientes de determinação (%)	
	todas as variáveis	Menos R _D , R _C , R _R e F ₁
Vazão	194,62	119,91
Área da bacia	114,38	112,11
Comprimento Total dos canais	162,96	125,72
Densidade de drenagem	146,23	..
Gradiente do canal principal	314,62	107,86
Índice de circularidade	130,23	..
Volume de relevo	341,91	138,63
Taxa de relevo	359,98	..
Freqüência de canais de primeira ordem	363,79	..
Gradiente até o nível de base local	130,93	58,34

A freqüência de canais de primeira ordem e a taxa de relevo apresentaram, nessa ordem, grandes coeficientes de determinação e foram suprimidos por representar aditividade. A densidade de drenagem que apresenta uma correlação parcial baixa com a vazão e com as restantes variáveis foi considerada insignificante na regressão. Finalmente, após as supressões anteriores, a taxa de circularidade também apresentou um baixo coeficiente de determinação e foi descartada. Depois de alcançar a melhor combinação de variáveis morfométricas, o fluxo do canal pode ser então expressado como função da geomorfologia das bacias segundo:

$$Q = f(A, L, S_C, V_R, S_{BL}) \quad (3)$$

onde Q pode ser considerado um valor comparativo de escoamento superficial entre bacias, geomorfologicamente relacionado à área, ao comprimento total dos canais, ao gradiente do canal principal, ao volume de relevo e ao gradiente até o nível de base local. A equação de regressão obtida foi:

$$\log Q = 0,06 + 4,98 \log A - 1,56 \log L + 1,57 \log S_C + 0,58 \log S_{BL} - 1,46 \log V_R \quad (4)$$

O teste F do coeficiente de correlação múltipla mostrou uma regressão significativa, para um nível de 0,05 de probabilidade, e o erro médio padrão ficou em 13,8%.

Equações de regressão múltipla foram também geradas para as variáveis descartadas. Como Morisawa (1962) encontrou, para modelos que incluíam o fator topográfico (T) definido como:

$$T = F_1 \cdot R_C \cdot R_R, \quad (5)$$

um maior coeficiente de correlação múltipla e um menor erro médio que naqueles modelos que consideravam as variáveis em separado, foram testados modelos incluindo o fator T. Resultaram as seguintes equações:

Densidade de drenagem, taxa de circularidade, taxa de relevo e frequência de canais de primeira ordem

$$\log Q = 0,9 - 3,77 \log R_D + 1,7 \log R_C - 1,44 \log R_R + 6,61 \log F_1 \quad (6)$$

Densidade de drenagem e fator topográfico

$$\log Q = 0,58 + 0,76 \log R_D + 0,2 \log T \quad (7)$$

Taxa de circularidade, taxa de relevo e frequência de canais de primeira ordem

$$\log Q = 0,57 + 1,46 \log R_C - 0,84 \log R_R + 3,71 \log F_1 \quad (8)$$

A tabela 3 mostra os coeficientes de correlação múltipla, os erros médios “Standard” das estimativas e os resultados dos testes F das correlações de todos os modelos.

Tabela 3 Coeficientes de correlação, coeficientes de determinação, erros médios “standard” e significância para regressões múltiplas da vazão

	Variáveis	Coeficiente de correlação	Coeficiente de determinação (%)	Erro médio standard (%)	Significância?
e V_R	Q vs A, L, S_C , S_{BL}	+ .9578	91,73	13,7	sim
	Q vs R_D , R_C , R_R e F_1	+ .7758	60,18	21,6	não
F_1	Q vs R_D e T	+ .5132	26,33	37,3	não
	Q vs R_C , R_R e F_1	+ .6843	46,83	-19,4	não

A vazão do canal apresentou um coeficiente de correlação múltipla de 0,9578 em relação à área da bacia, ao comprimento total dos canais, ao gradiente do canal principal, ao volume de relevo e ao gradiente até o nível de base local, com o menor erro médio encontrado de 13,7%.

Dentre os modelos com as variáveis descartadas, apenas a equação (6) apresentou uma correlação forte (0,7758), mas os erros médios aumentaram e nenhuma das três equações resultaram ser significativas no teste F dos coeficientes de correlação múltipla. A utilização do fator topográfico – T diminuiu o coeficiente de correlação múltipla e aumentou consideravelmente o erro médio. Portanto, o escoamento superficial fica melhor determinado pelo volume de água acumulada na bacia, em função da área e do volume de relevo, pelas características da rede de drenagem, em função do comprimento total dos canais e do gradiente do canal principal e pelo gradiente até o nível de base local, o qual exerce um efeito do tipo “sucção” da água contida na bacia. Ou seja, uma combinação entre quantidade de água armazenada e condições favoráveis a um escoamento rápido.

Relação com os índices de cobertura vegetal.

O funcionamento hídrico das bacias resulta das características e do arranjo espacial de todos os componentes que formam a estrutura da paisagem. Os resultados analisados até aqui mostram a relação que se estabelece entre o escoamento superficial e a geomorfologia das bacias de tabuleiros estudadas. Os restantes componentes: clima, geologia, solos e vegetação, têm, sem dúvidas, um papel importante no processo.

Pertencendo todas as bacias ao domínio morfodinâmico dos tabuleiros costeiros, as características dos solos variam pouco, por se desenvolverem sobre a mesma formação geológica (salvo alguns contornos de latossolos vermelhos associados ao embasamento cristalino). Já a estrutura geológica pode influenciar mais nas diferenças entre as bacias pelo controle que exerce sobre o escoamento subterrâneo (podendo transpor água de uma bacia para outra através de divisores subterrâneos). O clima, principalmente com a frequência e a intensidade das precipitações, é o principal fator controlador do balanço hídrico.

Considerando que, para modelar os picos de fluxo, a vazão média e a descarga média anual, são necessários registros sistemáticos de vazão dos canais, e levando em conta a dificuldade no estudo das estruturas geológicas, foi analisado o papel da cobertura

vegetal no escoamento superficial momentâneo das bacias estudadas, na tentativa de obter um modelo para análises comparativas entre elas.

Foram calculados os coeficientes de correlação entre os índices e entre estes e a vazão (tabela 4) e testados para um nível de 0,05, onde somente as correlações fortes ($R > 0,7$) resultaram significativos.

Tabela 4 Coeficientes de correlação ente o índice de transformação antrópica, o coeficiente de cobertura vegetal e a vazão dos canais.

	Índice de Transformação Antrópica	Coeficiente de Cobertura Vegetal
Coeficiente de Cobertura Vegetal	- .9380	..
Vazão	+ .7779	- .4636

A correlação forte e inversa entre o coeficiente de cobertura vegetal e o índice de transformação antrópica é um reflexo da diminuição da densidade de biomassa foliar com a intensidade e profundidade das mudanças gerados na estrutura da paisagem. Ou seja, as bacias que sofreram uma maior transformação antrópica apresentam uma menor densidade de biomassa na sua cobertura vegetal. Relacionado a estes indicadores de vegetação, destaca-se a correlação forte e direta que o escoamento superficial apresentou com o índice de transformação antrópica (figura 2), enquanto que a correlação inversa e substancial registrada com o coeficiente de cobertura vegetal não apresentou consistência estatística (T calculado = 1,17 para $n-2$ graus de liberdade e $n = 7$).

As mudanças que aparecem na estrutura da paisagem com as transformações antrópicas afetam diretamente o funcionamento hídrico, e particularmente o escoamento superficial. A nova estrutura da paisagem resultante redesenha os caminhos preferenciais d'água, isto é, dos tipos de fluxos que compõem a descarga hídrica, sendo o fluxo superficial o mais favorecido. A diminuição da infiltração e a impermeabilização da superfície por compactação dos solos sob uso agropecuário ou pela atividade construtiva (urbanização, sistema viário, etc.), aumenta os fluxos superficiais laminares ou concentrados que alimentam os canais. O represamento dos córregos cria níveis de base locais que forçam o retorno dos fluxos subsuperficiais, concentrando a água que posteriormente flui pelo deságüe (ladrão) da barragem num fluxo superficial, geralmente de grande intensidade.

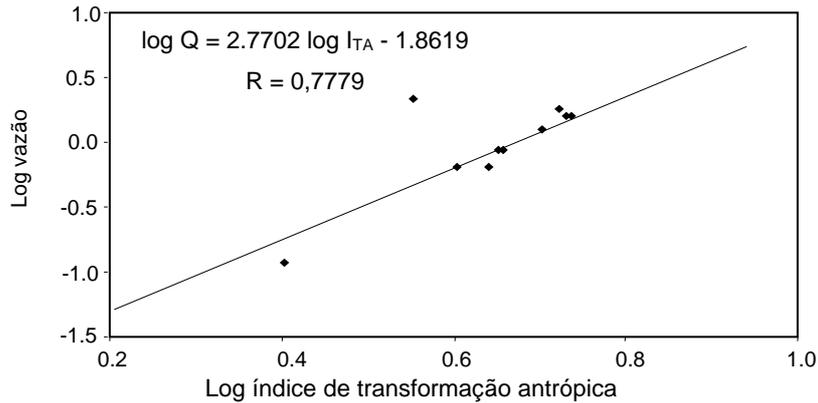


Figura 2 Relação entre a vazão e o índice de transformação antrópica

Atendendo ao valor de correlação encontrado, pode-se incluir o índice de transformação antrópica na equação (4). Como o gradiente do canal principal, o gradiente até o nível de base local e o volume de relevo, variam independentemente um dos outros e da área, nenhum deles duplica outra variável geomorfológica. Como o comprimento total dos canais apresenta uma correlação forte com a área da bacia, o efeito de sua adição ou eliminação como variável independente no modelo pode ser calculado através do erro médio standard da regressão (Potter, 1953). Isto é mostrado na tabela 6.

Tabela 6 Coeficientes de correlação, coeficientes de determinação, erros médios standard e significância para regressões múltiplas da vazão, incluindo o Índice de Transformação Antrópica.

Variáveis	Coeficiente de correlação múltipla	Coeficiente de determinação (%)	Erro padrão estimado (%)	Significante?
Q vs A, L, S _C , S _{BL} , V _R e I _{TA}	0,9755	95,17	22,68	sim
Q vs A, S _C , S _{BL} , V _R e I _{TA}	0,9560	91,40	2,23	sim

A vazão do canal pode então ser apresentada em função da morfometria da bacia através da área, do gradiente do canal principal e do gradiente até o nível de base local, junto ao grau de transformação antrópica da paisagem. A equação obtida foi:

$$\log Q = -1,38 + 2,32 \log A + 0,87 \log S_C + 0,39 \log S_{BL} - 0,92 \log V_R + 1,31 \log I_{TA}$$

(9)

CONCLUSÕES

Avaliações detalhadas dos recursos hídricos são, em geral, inviabilizadas pela demanda de tempo e os altos custos operacionais exigidos na compreensão das particularidades estruturais e funcionais das bacias hidrográficas, particularidades essas que estão fortemente associadas à diferenciação espacial dos componentes naturais e sócio-econômicos que emolduram a morfometria das bacias e os processos que integram o funcionamento hídrico, resultantes de uma gênese, evolução e desenvolvimento histórico das paisagens.

A análise estrutural das bacias hidrográficas revela a diferenciação espacial existente entre elas e destaca o papel que a morfometria e o arranjo espacial dos componentes da paisagem desempenham no potencial de armazenamento hídrico e no ciclo hidrológico de cada bacia. Nesse contexto, a análise morfométrica constitui uma ferramenta para estimativas de funcionamento hídrico na ausência de monitoramento de variáveis climáticas.

No modelo de regressão múltipla gerado, a descarga hídrica do canal fica melhor definida pela área e o volume de relevo, que determinam a quantidade de água armazenada na bacia, e pelo comprimento total dos canais, o gradiente do canal principal e o gradiente até o nível de base local, essas últimas variáveis representando condições favoráveis para um escoamento rápido.

Com a inclusão das características da cobertura vegetal como componente da estrutura da paisagem, a vazão dos canais pode ser apresentada em função da morfometria, nas variáveis citadas, junto ao grau de transformação antrópica da paisagem.

Obviamente, este modelo apresenta uma condição limitante para a predição de vazão dos canais por não considerar variáveis climáticas, geológica e edáficas. No entanto, comparativamente ele mostra o papel que exerce a estrutura das bacias no funcionamento hídrico, para condições particulares dos tabuleiros costeiros.

REFERÊNCIAS

Beven, K.J. (1988) On hydrological heterogeneity catchment morphology and catchment response. *Journal of Hydrology*, 100, pp 353-375.

- Costa, J.E. (1987) Hydraulics and basin morphometry of the largest flash floods in the conterminous United States. *Journal of Hydrology*, 93, pp 313-338.
- Harlin, J.M. (1984) Watershed morphometry and time to hydrograph peak. *Journal of Hydrology*, 67, pp 141-154.
- Jarboe, J.E., Haan, C.T. (1974) Calibrating a water yield model for small ungaged watersheds. *Water Resources Research*, 10, pp 256 – 262.
- Mateo, J. (1991) *Geoecologia de los paisajes*. Edit. ULA, Mérida, 137p.
- Morisawa, M.E. (1958) Measurement of drainage basin outline form. *Journal of Geology*, 66, pp 587 – 591.
- Morisawa, M.E.(1962) Quantitative geomorphology of some watersheds in the Appalachian Plateau. *Geological Society of America Bulletin*, 73 (9), pp 1025 – 1046.
- Petts, G.E , Foster, I. (1985) *Rivers and Landscape*. Edward Arnold, London.
- Potter, W.D. (1953) Rainfall and topographic factors that affect runoff. *American Geophysics Union Trans.*, 34, pp 67 – 73.
- Rouse, J.W.Jr., Haas, R.H., Deering, D.W., Schell, J.A., Harlan, J.C. (1974) *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green wave Effect) of Natural Vegetation*. NASA/GSFC. Type III Final Report, Greenbelt, MD, 371p.
- Schumm, S.A. (1954) The relation of drainage basin relief to sediment loss. *Internat. Assoc. Sci. Hyd. Pub.*, 35, pp 216 – 219.
- Shaw, E.M. (1988) *Hydrology in Practice*. Stanley Thornes Pub. Ltda., 3rd Edição, 569p.
- Sherman, L.K. (1932) Streamflow from rainfall by unit-graph method. *Engineering News-Record*, 108, pp. 501-505.
- Wandle Junior, W.S. (1983) Estimating peak discharge of small rural streams in Massachusetts. *U.S. Geological Survey Water Supply Paper*, 2214, pp 1 – 24.