

ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO DE BACIAS SOB CLIMA TIPO MEDITERRÂNEO

Vicente L. Lopes

School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson AZ 85721, USA.

Vazken P. Andreassian

Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, 19 avenue du Maine, 75732 Paris Cedex 15, France.

Eunice M. de Andrade

*Universidade Federal do Ceará (UFC), Centro de Ciências Agrárias (CCA) - Departamento de Engenharia Agrícola
bloco 804 - Caixa Postal 12168 - CEP 60450-760 Fortaleza, CE - Fax (085) 288-9755
eandrade@taiba.ufc.br*

RESUMO

Uma análise comparativa foi feita para investigar a hipótese de que pequenas bacias com uma mesma classificação global de clima-vegetação apresentariam um mesmo comportamento hidrológico. Quatro relações de precipitação-escoamento foram usadas para descrever o comportamento hidrológico de nove pequenas bacias "ecologicamente semelhantes" classificadas como terras arbustivas de clima tipo Mediterrâneo. Os coeficientes da análise de regressão da relação precipitação-escoamento indicaram um comportamento significativamente diferente entre as bacias estudadas, sugerindo que mesmo as bacias estando sob o mesmo tipo de clima-vegetação, seus comportamentos hidrológicos são controlados por dissimilaridades locais, conforme o tamanho da bacia. As análises de componente principal e regressão múltipla indicaram que muito da variabilidade no comportamento de cada bacia foi devido às mudanças das características geomorfológicas da bacia e, numa menor extensão, aos padrões das chuvas de verão.

INTRODUÇÃO

A ação do fenômeno da convergência na resposta dos ecossistemas tem levado os hidrólogos a indagarem se a convergência poderia influenciar no comportamento hidrológico das bacias. Este tipo de problema vem sendo estudado através da hidrologia comparativa de uma região. Falkenmark (1989) define hidrologia comparativa como "o estudo das características dos processos hidrológicos que são influenciados pelo clima e pela natureza da superfície da terra". O entendimento das interações entre a resposta hidrológica e o meio ambiente é extremamente importante

para que estimativas hidrológicas possam ser transferidas de uma região para outra. Além disso, a transferência de resultados de uma bacia experimental para uma outra sem dados, é um problema crucial a ser enfrentado pelos hidrólogos, visto a dificuldade no processo de generalização de informações obtidas em bacias experimentais.

Estudos de hidrologia comparativa vêm sendo vistos pelos aspectos teóricos do comportamento da bacia. Segundo Chapman (1989), um dos propósitos da hidrologia comparativa é delimitar regiões onde similaridades hidrológicas possam ser assumidas, justificando assim a aplicação de técnicas de transferência das informações dos processos hidrológicos. Mais uma vez parece que o uso de informações com base ecológica pode ser de grande ajuda para um melhor entendimento do comportamento hidrológico das bacias. Porém, antes de se aceitar e usar uma classificação ecológica como base para estudos de regionalização em hidrologia, deve ter-se a resposta da seguinte questão: existe uma correlação entre o comportamento hidrológico da bacia e o sistema clima-vegetação?

O objetivo deste estudo é avaliar a possibilidade de um comportamento análogo entre bacias com "ecologia similar" aplicando técnicas de análise comparativas à relação precipitação-escoamento. Nove pequenas bacias, todas apresentando uma cobertura vegetal do tipo mediterrâneo arbustiva, foram selecionadas para se atingir este propósito.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

As nove bacias usadas neste estudo são representativas de três subclasses de terras arbus-

tivas tipo Mediterrâneo, sendo quatro delas localizadas na San Dimas Experimental Forest (SDEF), Califórnia (subclasse chaparral), quatro situadas na bacia Réal Collobrier (RC), França (subclasse maquis) e a última localizada na bacia Jonkershok, África do Sul (subclasse fynbos). Todas as bacias caracterizam-se por uma concentração das precipitações na estação fria, quando ocorre mais de 75% do total anual, e por um verão quente e seco (Nahal, 1981). Embora fynbos tenha sido considerado, por Di Castri, (1981) como um “heathland” e não um arbusto, toda a vegetação presente nas bacias usadas neste estudo foi considerada como arbusto, seguindo a classificação de Barbour e Minnidh (1990). As características gerais das bacias estudadas estão presentes na Tabela 1.

Característica da vegetação arbustiva

A vegetação se caracteriza predominantemente por árvores perenifólias de caule retorcido, com folhas coriáceas (pequenas e duras), sendo classificadas como esclerófilas. Algumas vezes as herbáceas anuais e perenes estão presentes em combinação com as árvores de maior porte. De uma forma geral são classificadas como xerófilas.

Terras arbustivas Mediterrâneas podem ser encontradas em todos os continentes, localizadas em estreitas faixas ao longo da costa marítima. A Figura 1 mostra a distribuição global das regiões arbustivas Mediterrâneas. Elas apresentam uma

distribuição descontínua devido à influência da topografia acentuada (Austrália é exceção), bem como às mudanças sofridas pelo meio ambiente, como resposta à ação indiscriminada do homem, especialmente nas bacias da região do mediterrâneo. Como visto na Figura 1, as áreas de arbustos estão presentes em três regiões do mundo caracterizadas por uma alta população: a bacia mediterrânea, a província de Cape e o sudeste da Califórnia.

Similaridade ecológica

Evidências de similaridade na ecologia das áreas arbustivas de clima Mediterrâneo têm sido estudadas por vários pesquisadores. Estudando a vegetação esclerófila nas regiões de clima mediterrâneo na França, Califórnia e Austrália, Specht (1969) concluiu que, nas áreas secas do meio ambiente mediterrâneo as espécies vegetais apresentam muitas características de estrutura e fenologia em comum. Todas as espécies apresentam a mesma forma espectral de vida, com folhas esclerófilas e perenes. A máxima floração ocorre na primavera e geralmente retrata as condições impostas pelo verão seco e quente.

A similaridade dos ecossistemas do mediterrâneo foi mais uma vez confirmada por ocasião do levantamento de estudos existentes neste tipo de clima, realizado por Di Castri & Mooney (1973). Eles afirmaram que, embora as regiões de clima mediterrâneo estejam distintamente distribuídas em cinco pontos do globo (territórios do mar Mediterrâ-

Tabela 1. Características gerais das bacias usadas neste estudo.

Bacia	País	Tipo de vegetação	Área (km ²)	P. média anual (mm)	Taxa de P. na estação seca (P')	ETP média anual (mm)	Fluxo médio anual (mm)
Bakkersloof	South Africa	fynbos	3-56	1397	0.20	1108	615
Réal Collobrier # 5 (RC 5)	France	maquis	9.25	1233	0.21	1306	498
Réal Collobrier # 6 (RC 6)	France	maquis	8.41	1118	0.21	1306	432
Réal Collobrier # 7 (RC 7)	France	maquis	1.52	1088	0.21	1306	498
Réal Collobrier # 8 (RC 8)	France	maquis	1.47	1230	0.20	1306	715
San Dimas Experimental Forest # 81 (SDEF 81)	Califórnia (USA)	chaparral	0.31	678	0.04	1147	91
San Dimas Experimental Forest # 82 (SDEF 82)	Califórnia (USA)	chaparral	0.41	678	0.04	1147	75
San Dimas Experimental Forest # 83 (SDEF 83)	Califórnia (USA)	chaparral	0.25	678	0.04	1147	70
San Dimas Experimental Forest # 84 (SDEF 84)	Califórnia (USA)	chaparral	0.14	678	0.04	1147	84

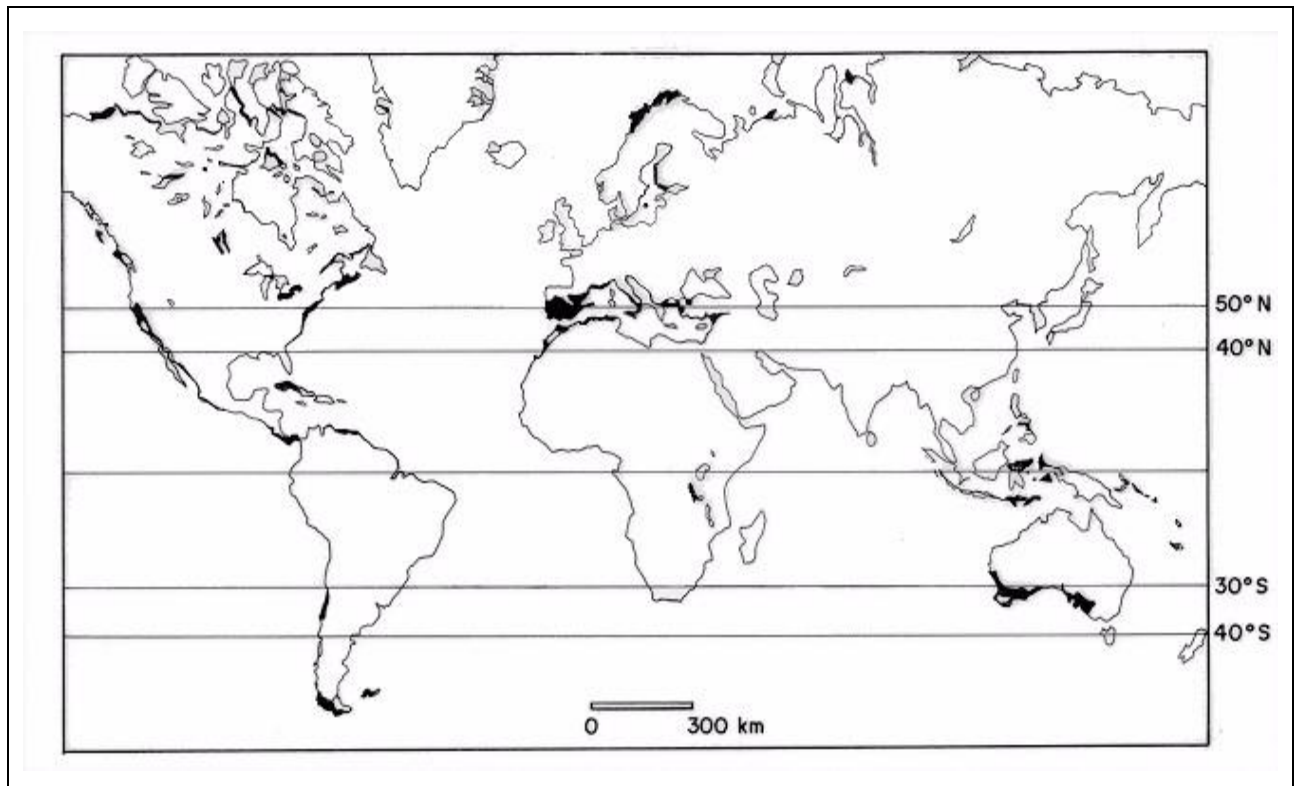


Figura 1. Mapa mundial das áreas arbustivas mediterrâneas depois de Di Castri, 1981.

neo, Califórnia, parte central do Chile, sul da África e Austrália), as similaridades dos vegetais não estão confinadas somente às características climáticas; dependem também da fisiologia das espécies, do padrão de uso da terra, bem como do aspecto geral da topografia.

A vegetação existente nas regiões de clima mediterrâneo no mundo apresenta semelhanças não só entre as espécies existentes, mas também a nível de ecossistemas (Johnson, 1973). No entanto, Barbour e Minnich (1990) criticam esta afirmativa e concluem que a similaridade entre os cinco tipos de vegetação chaparral distribuídas no planeta é crítica, porém não desconhecem que as espécies em estudo apresentam um maior nível de semelhança do que de dissimilaridade. Isto nos mostra que as vegetações chaparral, presentes nas regiões do tipo mediterrâneo, apresentam diferenças entre si, não devendo ser consideradas como espécies de alta similaridade. Di Castri (1981), usando um método de classificação numérica, identificou dois grupos distintos com uma grande base nas características filogenéticas, fisiográficas, climáticas, e fenológicas do ecossistema. O primeiro grupo foi composto pelas espécies existentes na Califórnia, no Chile, e na região do Mediterrâneo, enquanto que aquelas presentes na Austrália e na África do Sul deram origem ao segundo grupo.

Relação precipitação-escoamento

Quatro diferentes relações entre precipitação e escoamento foram desenvolvidas. A seleção do tipo de relação usado neste estudo foi baseada na disponibilidade de dados e potencialidade de ser usado em estudos comparativos e de regionalização.

1. Relação precipitação total anual - escoamento total anual

A expressão adotada para esta relação foi:

$$Q = \begin{cases} A_1(P - B_1) & \text{para } P > B_1 \\ 0 & \text{para } P \leq B_1 \end{cases} \quad (1)$$

onde: P = precipitação anual (mm); Q = escoamento anual (mm); A_1 e B_1 = coeficientes de regressão. Duas distintas situações foram encontradas entre as bacias estudadas. Algumas delas apresentaram escoamento para todos os anos observados e a linha de regressão de melhor ajuste foi baseada no clássico procedimento dos mínimos quadrados. As outras restantes não apresentaram escoamento nos anos mais secos,

e a linha de regressão de melhor ajuste foi estimada seguindo o procedimento descrito por Diskin (1970).

2. Relação precipitação-escoamento na estação chuvosa

Uma das características determinantes do clima mediterrâneo é a existência de um verão quente e seco e a ocorrência de uma estação chuvosa que tem início no final do outono e termina no princípio da primavera. A relação precipitação-escoamento na estação chuvosa parece ser apropriada para descrever a resposta do escoamento nas áreas de vegetação arbustiva de clima Mediterrâneo, uma vez que o crescimento das plantas é extremamente sazonal e concentrado durante a primavera (Specht, 1969). Para se estudar a resposta do escoamento dentro de um único período, a série de dados foi dividida em estação seca e estação chuvosa. Por conseguinte, as relações precipitação-escoamento foram desenvolvidas para cada estação. Uma relação precipitação-escoamento semelhante a (1) foi adotada para a estação chuvosa.

$$Q_w = \begin{cases} A_2(P_w - B_2) & \text{para } P_w > B_2 \\ 0 & \text{demais condições} \end{cases} \quad (2)$$

onde: P_w = precipitação ocorrida no período chuvoso (mm); Q_w = escoamento ocorrido no período chuvoso (mm); A_2 e B_2 = coeficientes da regressão. Na África do Sul, o período chuvoso corresponde aos meses de abril a outubro. Na França e na Califórnia, o período chuvoso abrange os meses de outubro a abril.

3. Relação precipitação-escoamento na estação seca

Um modelo linear apresentando duas inclinações foi desenvolvido para representar a relação precipitação-escoamento no período seco, como pode ser visto à baixo:

$$Q_d = \begin{cases} A_{3.1} * B_3 + A_{3.2}(P_d - B_3) & \text{para } P_d > B_3 \\ A_{3.1} * P_d & \text{demais condições} \end{cases} \quad (3)$$

onde: P_d = precipitação ocorrida no período seco (mm); Q_d = escoamento ocorrido no período seco (mm); $A_{3.1}$, $A_{3.2}$ e B_3 = coeficientes da regressão. Na África do Sul, a estação seca corresponde ao

período de novembro até março. Já na França e na Califórnia, a referida estação corresponde ao período de maio até setembro. Em ambos os hemisférios, a duração do período seco (5 meses) é a mesma, portanto comparações são possíveis.

4. Resposta do escoamento equivalente a cada evento

O escoamento superficial é frequentemente usado para descrever a resposta hidrológica da bacia. De acordo com Chow, o hidrograma do escoamento superficial de cada evento pode ser considerado como uma expressão integral das características fisiográficas e climáticas que governam as relações entre a precipitação e o escoamento em uma determinada bacia hidrográfica.

Um modelo linear semelhante ao (3) foi desenvolvido para representar a resposta do escoamento. No desenvolvimento do modelo as informações de precipitação e escoamento foram ordenadas par a par. A relação usada tinha a seguinte forma:

$$Q_s = \begin{cases} A_{4.1} * B_4 + A_{4.2} * (P_s - B_4) & \text{para } P_s > B_4 \\ A_{4.1} * P_s & \text{demais condições} \end{cases} \quad (4)$$

onde: P_s = precipitação de cada evento (mm); Q_s = escoamento gerado por cada evento (mm); $A_{4.1}$, $A_{4.2}$ e B_4 = coeficientes de regressão. Esta relação não foi desenvolvida para a bacia de Bakkerloof em virtude da não disponibilidade das informações de escoamento superficial para a referida bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Significância da relação precipitação-escoamento

O teste estatístico foi aplicado para avaliar se a resposta de escoamento das bacias em estudo pode ser considerada semelhante entre si ou não. Para cada relação precipitação-escoamento estudada (precipitação anual x escoamento anual, precipitação-escoamento na estação chuvosa, precipitação-escoamento na estação seca, escoamento equivalente a cada evento), foi aplicado o teste estatístico desenvolvido por Chow (Kmenta, 1986, p421) para testar a hipótese de que os parâmetros da relação precipitação-escoamento não

apresentavam diferença significativa entre si ao nível de 0,01. A hipótese foi rejeitada em todas as relações, sugerindo que pequenas bacias do clima Mediterrâneo com cobertura vegetal do tipo arbusto apresentam um comportamento diferente em relação à resposta do escoamento. Tal resultado indica que a resposta hidrológica das bacias em estudo pode ser induzida por outros fatores como a morfologia da bacia e/ou pequenas diferenças climáticas existentes dentro da própria classe climática.

Análise do componente principal

Para uma maior investigação da hipótese de que a resposta hidrológica das bacias em climas mediterrâneos pode ser largamente controlada por fatores morfológicos e diferenças climáticas, foi usado a técnica da análise do componente principal (PCA). Esta técnica foi aplicada com a finalidade de identificar as variáveis climáticas e morfológicas que possam explicar a resposta do escoamento na bacia. Os resultados gerados pela PCA foram submetidos a uma análise de regressão múltipla ("stepwise") para desenvolver uma relação linear entre os parâmetros definidos e as variáveis selecionadas pela PCA.

A técnica de PCA foi desenvolvida usando quatro variáveis climáticas e cinco morfológicas, as quais podem ser vistas na Tabela 2. As variáveis morfológicas (K , S_B , S_O , A e D) explicaram 58,8% da variabilidade total, enquanto que as variáveis climáticas (\bar{P} , Q_{PL} , P' e R_A) explicaram 38,7% da variabilidade dos coeficientes de regressão da relação precipitação-escoamento. Embora a matriz de correlação tenha mostrado que Q_{PL} , P' e R_A são altamente correlacionados, somente P' foi mantido na análise de regressão. Tal decisão foi fundamentada no fato de que a computação do R_A requer conhecimentos de evapotranspiração potencial, os quais não são fáceis de ser estimados, e que a computação de Q_{PL} requer informações sobre temperatura e estas nem sempre estão disponíveis.

Análise de regressão ("stepwise")

A análise múltipla de regressão ("stepwise") desenvolvida para gerar os coeficientes de regressão (Equações 1 e 4) foi fundamentada nas variáveis climáticas e morfológicas consideradas relevantes pela técnica PCA no comportamento hidrológico da bacia. Equações não foram desenvolvidas para $A_{3.2}$ e B_3 devido ao pequeno número de bacias disponíveis. Em alguns casos a análise de regressão, quer *backward* ou *forward*, apresen-

tou resultados idênticos, sendo então escolhido aquele resultado que apresentasse o maior R^2 . Se os R^2 s apresentassem valores bem próximos, então seria escolhido a solução mais simples tendo-se em vista o limitado tamanho da amostra. Simples soluções provavelmente seriam mais realísticas e de maior uso. Além do mais, o número de variáveis climáticas e morfológicas usadas na determinação dos coeficientes da regressão não deveriam ser inferiores a 3, tendo-se em vista o baixo grau de liberdade.

Efeitos climáticos e geomorfológicos na relação precipitação-escoamento

As variáveis climáticas e morfológicas que explicam os coeficientes de regressão na relação precipitação-escoamento geram informações adicionais dos principais fatores que controlam a resposta do escoamento em pequenas bacias com vegetação tipicamente "Mediterranean shrubland". A Tabela 3 apresenta todas as equações de regressão que expressam a relação precipitação-escoamento com base nas variáveis climáticas e morfológicas das bacias.

Relação (1) - O parâmetro A_1 é negativamente correlacionado com a área da bacia (A), indicando que pequenas bacias deste tipo de ecossistema são mais eficientes gerando uma maior quantidade de escoamento do que aquelas maiores. Provavelmente este fato expressa o efeito das declividades acentuadas e da reduzida capacidade de perdas em transmissão observada nas pequenas bacias usadas neste estudo. Lane mostrou que bacias no semiárido dos Estados Unidos apresentavam um comportamento semelhante, ou seja, a alta infiltração do leito e nas barreiras dos rios secos resultam em um decréscimo do escoamento em relação à área da bacia. A correlação positiva entre A_1 e a taxa de precipitação na estação seca (P') pode ser explicada pelas características de alta intensidade e baixa duração com que ocorrem as precipitações de verão (thunderstorms) nos climas Mediterrâneos. Este tipo de precipitação produz relativamente mais escoamento do que as chuvas de baixa intensidade que ocorrem durante o resto do ano (Nahal, 1981). O parâmetro B_1 apresenta uma correlação negativa com a densidade de drenagem (D), e uma positiva com o coeficiente de Lemniscate (K) e com a declividade média do canal principal (S_0). A correlação negativa com D é lógi-

Tabela 2. Variáveis climáticas e morfológicas selecionadas para descrever os parâmetros do modelo precipitação-escoamento superficial.

Variáveis	Identificação	Referência
\bar{P} (cm)	Precipitação média anual	Seyhan, (1982)
Q_{PL} ($\text{cm}^\circ\text{C}^{-1}$)	Quociente pluviométrico de Emberger's: $Q_{PL} = 20 \cdot \bar{P} / (M^2 - m^2)$	Nahal, (1981)
P' (adimensional)	Precipitação média dos meses secos/ Precipitação média anual	Seyhan, (1982)
R_A , (adimensional)	Índice de aridez da UNESCO: $RA = \bar{P} / ET_0$	UNESCO, (1977)
K (adimensional)	Coefficiente de Lemniscate $K = L^2 \cdot \Pi / 4A$	Rice, (1969) Zavoianu, (1985)
S_B (adimensional)	Declividade média da bacia $Se = (H_{\max} - H_{\min}) / L$	Rice, (1969) Seyhan, (1982)
S_0 (adimensional)	Declividade média do canal principal	Rice, (1969), Seyhan, (1982)
A (km^2)	Área da bacia	Rice, (1969) Seyhan, (1982) Zavoianu, (1985)
D (km-l)	Densidade de drenagem $D = \text{Total channel length} / A$	Seyhan, (1982) Zavoianu, (1985)

Nota: M - Temperatura média máxima do mês mais quente ($^\circ\text{C}$); m - Temperatura média mínima do mês mais frio ($^\circ\text{C}$); L - Eixo principal da bacia; H_{\max} - Altitude máxima da bacia; H_{\min} - Altitude mínima da bacia; (Q_{PL}) - Quociente pluviométrico de Emberger's: foi dividido por cem para evitar problemas com números de grande magnitude nas equações. O valor original de Q_{PL} na formula é 2000.

Tabela 3. Equações de regressão do modelo precipitação-escoamento superficial.

Equações de Regressão	R^2 Ajustado
$A_1 = 0.424 - 0.015A + 1.857P'$	0,87
$B_1 = 545.4 - 97.2D + 57.7K + 429.8S_0$	0,93
$A_2 = 0.332 + 2.389 P'$	0,91
$B_2 = 437.8 - 97.3D + 73.1K + 431.7S_0$	0,91
$A_{3,1} = -0.060 - 0.014A + 1.557P'$	0,83
$A_{4,1} = 0.018 + 0.291P' - 0.076S_0$	0,95
$A_{4,2} = 0.759 - 0.094D + 0.154K$	0,80
$B_4 = 5.943 + 43.16K$	0,83

ca, visto que a densidade de drenagem expressa a capacidade da bacia em liberar uma maior quantidade de água na sua saída. Então a quantidade de chuva necessária para produzir um certo escoamento pode ser menor quando D é alto. A correlação positiva com K indica que nas bacias de forma alongada, uma grande parte da precipitação é perdida, percolada nos leitos dos canais, em razão da longa distância percorrida pelo escoamento.

A correlação positiva apresentada com S_0 é surpreendente, e provavelmente é explicada por parâmetros que escaparam ao controle deste estudo.

Relação (2) - Parâmetro A_2 apresenta correlação positiva em relação P' , sendo a única variável explanatória selecionada pela análise de regressão

múltipla "stepwise". De fato isto é interessante, uma vez que em relação à variável $(1-P')$ a correlação é negativa, e esta representa a taxa de precipitação que ocorre no período chuvoso em relação à precipitação total do ano. Isto indica que as precipitações na estação úmida geram baixos valores de escoamento. Tal fato se explica pela baixa intensidade das chuvas na estação chuvosa e pela alta infiltração nos leitos dos canais. O parâmetro B_2 mostra-se também como uma função das mesmas três variáveis morfológicas da bacia, que descrevem B_1 , tendo portanto as correlações entre elas as mesmas explicações apresentadas para B_1 .

Relação (3) - Devido ao pequeno número de bacias analisadas a equação de regressão foi somente desenvolvida para o parâmetro $A_{3,1}$. Este parâmetro é negativamente correlacionado com A e positivamente com P' . A correlação negativa existente entre $A_{3,1}$ e A sugere que bacias de pequeno porte em regiões de clima Mediterrâneo podem apresentar um escoamento abaixo do limite de B_3 . Já a correlação positiva com P' parece ser lógica, uma vez que quanto maior for a quantidade de chuvas ocorridas no período seco maior será a quantidade de escoamento produzido. Outro fator que explica esta correlação positiva é a peculiaridade das chuvas de verão, as quais apresentam a característica de alta intensidade e curta duração (thunderstorms).

Relação (4) - O parâmetro $A_{4,1}$ apresenta uma correlação positiva com P' e uma negativa com S_0 . Isto indica que nas bacias de vegetação arbustiva em climas mediterrâneos, a resposta aos pequenos eventos (menor do que o limite de B_4) é influenciada pela quantidade de chuvas na estação seca e a declividade do canal. A correlação positiva com P' é lógica se for considerado que em regiões de clima Mediterrâneo, as chuvas de estação seca são irregulares e de alta intensidade. Na estação chuvosa, a produção de escoamento superficial é muito pequena devido às chuvas serem de baixa intensidade e à elevada perda por transmissão no leito do canal. Já a explicação da correlação negativa apresentada com S_0 escapa ao alcance do estudo aqui desenvolvido. O parâmetro $A_{4,2}$ é negativamente correlacionado com D , e positivamente com K . A correlação negativa com D pode ser uma indicação de que em pequenas bacias em clima Mediterrâneo, a densidade da rede de drenagem pode expressar uma menor resposta a uma determinada chuva, o que é contrário ao esperado. Este problema pode ser resultado de como a densidade de drenagem foi estimada (atra-

vés de mapas topográficos). Em decorrência da falta de um padrão universal na estimativa da rede de drenagem das bacias, cada país pode adotar um padrão diferente principalmente em se tratando de pequenos riachos resultando assim em um padrão não uniforme de determinação. Outro ponto que não pode ser esquecido é o uso de mapas com escalas diferentes. Por estas razões estes resultados podem ser questionáveis. A correlação positiva com K pode significar que bacias alongadas geram uma resposta menos violenta em função de um maior tempo de oportunidade de infiltração no leito do riacho. O parâmetro B_4 apresenta-se como sendo unicamente uma função da morfologia da bacia. A correlação positiva com K novamente sugere que para bacias de forma alongada, respostas expressivas de escoamento superficial ocorrem somente com a presença de grandes chuvas. As perdas de água que ocorrem ao longo de todo o canal podem, provavelmente, explicar este comportamento.

CONCLUSÕES

Uma análise comparativa foi elaborada para investigar a hipótese de um comportamento hidrológico comum entre bacias com ecologia semelhante. Quatro diferentes relações de precipitação-escoamento foram usadas para descrever o comportamento hidrológico de nove pequenas bacias classificadas como terras arbustivas em clima de tipo Mediterrâneo. A análise estatística dos coeficientes de regressão precipitação-escoamento indicou um comportamento significativamente diferente entre as bacias estudadas, sugerindo que mesmo as bacias estando sob o mesmo tipo de clima-vegetação, seus comportamentos hidrológicos são controlados por dissimilaridades locais de acordo com a área da bacia. A análise do componente principal indicou que 58,8% da variabilidade total na relação precipitação-escoamento é explicado pelas variáveis morfológicas, enquanto as variáveis climáticas explicaram 38,7%. A análise de regressão múltipla mostrou ser P' a variável mais importante na relação precipitação-escoamento.

AGRADECIMENTOS

Aos institutos de pesquisas que forneceram os dados para o desenvolvimento deste estudo, agradecimentos especiais para Dr. Jacques Lavabre (CEMAGREF, Aix-en-Provence, France), Mr. David Scott (Jonkershoek Forestry Research Centre,

South Africa) e Dr. Philip Riggan (USDA Forest Service, Riverside, Califórnia). Especiais agradecimentos ao French Ministère de l'Agriculture et de la Forêt, e ao Ministère des Affaires Etrangères pelo suporte financeiro.

REFERÊNCIAS

- BARBOUR, M. G. & MINNICH A. (1990). *The myth of chaparral convergence*. Isr. J. Bot., v39 p453-463.
- CHAPMAN, T. Classification of regions. In: FALKENMARK, M. and CHAPMAN, T. (1989), (ed.). *Comparative Hydrology: an ecological approach to land and water resources*. UNESCO, Paris. p67-74.
- DI CASTRI, F. (1981). Mediterranean-type shrublands of the world. In: Di Castri, F. Goodall, D. W. and Specht, R. L. (ed.). *Mediterranean-type shrublands*. Elsevier, Amsterdam. p1-52.
- DI CASTRI, F. & MOONEY, H. A. Preface. In: DI CASTRI, F. & MOONEY, H. A. (1973), (ed.). *Mediterranean type ecosystems: origin and structure*. Springer-Verlag, Heidelberg, pV-VII.
- DISKIN, L. M. H. (1970). Definition and uses of the linear regression model. *Water Resources Research*, v6, p1668-1673, jun.
- FALKENMARK, M. Introduction. In: FALKENMARK, M. & CHAPMAN, T. (1989), (ed.). *Comparative Hydrology: an ecological approach to land and water resources*. Unesco, Paris. Cap. 1, p1-8.
- JOHNSON, A. W. Historical view of the concept of ecosystem convergence. In: DI CASTRI, F. & MOONEY, H. A. (1973) (ed.). *Mediterranean type ecosystems: origin and structure*. Springer-Verlag, Heidelberg. Cap. 1, p1-7.
- KMENTA, J. (1986). *Elements of econometrics*. 1 ed., Macmillan, New York. p786.
- NAHAL, I. The mediterranean climate from a biological viewpoint. In: DI CASTRI, F., GOODALL, D. W. & SPECHT, R. L. (1981), (ed.). *Mediterranean-type shrublands*. Elsevier, Amsterdam. p63-86.
- SPECHT, R. L. (1969). *A comparison of the sclerophyllous vegetation characteristic of mediterranean type climates in France, California and Southern Australia. Part I: Structure, morphology and succession*. Aust. J. Bot. v17, p277-292.

Comparative Analysis of Catchment Response in Mediterranean-Type Climates

ABSTRACT

A comparative analysis was performed to investigate the hypothesis of a common hydrology among small catchments evolved within the same global climate-vegetation type. Four rainfall-runoff relationships were used to describe the hydrologic response from nine "ecologically similar" small catchments on Mediterranean-type shrublands. Statistical analysis of rainfall-runoff regression coefficients indicated a significantly different response among the catchments studied implying that although the catchments have evolved in the same climate-vegetation type, their hydrologic responses are controlled by local dissimilarities at the catchment scale. Principal component analysis and stepwise regression indicated that most of the variability in catchment response was due to the effect of catchment morphology, and to a lesser extent, to summer-rainfall patterns.