

## **ESTIMATIVA DE CARGAS DE AZOTO E FÓSFORO NUMA BACIA HIDROGRÁFICA COSTEIRA**

Paulo Alexandre Diogo<sup>1</sup>; Pedro Santos Coelho<sup>2</sup>; Manuel Almeida<sup>3</sup>; Nelson Serrazina Mateus<sup>4</sup>;  
António Carmona Rodrigues<sup>5</sup>.

<sup>1</sup> *Engenheiro do Ambiente, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente,  
Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2829-516 Caparica  
Telefone: +351 212 948 300. e-mail: pad@fct.unl.pt*

<sup>2</sup> *Engenheiro do Ambiente, DCEA/FCT/UNL, e-mail: pmhc@fct.unl.pt*

<sup>3</sup> *Engenheiro do Ambiente, DCEA/FCT/UNL; manuelalmeida10@hotmail.com*

<sup>4</sup> *Engenheiro do Ambiente, DCEA/FCT/UNL; nmateus75@hotmail.com*

<sup>5</sup> *Ph.D. em Engenharia do Ambiente, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente,  
FCT/UNL, e-mail: acr@fct.unl.pt*

### **RESUMO**

O trabalho apresentado foi desenvolvido tendo como objectivo a quantificação de cargas de azoto total e fósforo total afluentes à secção de jusante da bacia hidrográfica do rio Vouga, com origem em águas residuais urbanas, actividade industrial, aquacultura e fontes difusas. A bacia de estudo foi dividida em sub - bacias, de acordo com a localização das estações de monitorização de qualidade da água e hidrométricas existentes. Utilizando diferentes metodologias para as diferentes fontes de nutrientes, e com base no escoamento médio anual, foram estimadas as concentrações médias anuais em azoto e fósforo nas secções de controle de cada sub-bacia, tendo-se procedido à comparação dos resultados com a concentração média anual observada nas estações de monitorização da qualidade da água. Considerando as limitações de dados disponíveis, verificou-se uma boa aproximação entre as concentrações médias observadas nas estações de qualidade da água e as concentrações estimadas com base nas fontes consideradas de azoto e fósforo e no escoamento médio anual.

### **ABSTRACT**

The work herein presented was developed aiming the quantification of nitrogen (total-N) and phosphorous (total P) loads in the downstream section of the Vouga river basin, proceeding from point and diffuse sources located along the watershed. The Vouga watershed was divided into smaller catchment areas according to the location of gauging and water quality monitoring stations. Using different methodologies for each of the considered nutrient sources and considering mean annual runoff, concentrations of N and P were estimated for each of the downstream sections of the catchment areas. Taking into account the data limitations found, an acceptable accordance between estimated mean annual concentrations of N and P and mean annual observation from water quality monitoring stations was achieved.

Palavras-Chave: azoto, fósforo, bacias hidrográficas.

### **1. INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas tem-se verificado uma deterioração das condições ambientais das águas interiores e costeiras do continente europeu (NERI, 1997), situação muitas vezes consequência do aumento das cargas em azoto e fósforo afluente às massas de água, em resultado da intervenção humana no meio ambiente.

A compreensão dos factores que influenciam as descargas de nutrientes no meio hídrico é essencial para a análise dos fenómenos de eutrofização de lagos, albufeiras, estuários e zonas costeiras, situação que se tem vindo a agravar em consequência do aumento das cargas de nutrientes resultante da actividade humana (Thomas et al, 1997), já que os nutrientes transportados podem estimular o crescimento algal e consequentemente acelerar o processo de eutrofização (Novotny, 1999).

Localizada na costa ocidental de Portugal, a bacia do rio Vouga (Figura 1) apresenta uma área de 3653 km<sup>2</sup>, tendo a linha de água principal um comprimento de cerca de 150 km (MPAT, 1986). O rio Vouga chega ao Oceano Atlântico através da Ria de Aveiro, zona estuarina com significativa importância económica e ecológica. A maior parte dos 600 000 habitantes reside nas zonas litorais, principalmente nas áreas urbanas de Aveiro, Oliveira de

Azeméis e Águeda. De acordo com MAOT/INAG (2000), o uso florestal ocupa 48% do solo da bacia, representando o uso agrícola cerca de 8% do total da área da bacia. Da população total da bacia hidrográfica apenas 74% é servida com abastecimento de água, sendo que 39% tem sistemas de drenagem de águas residuais e 31% tem tratamento de esgotos (MAOT/INAG, 2000).



Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Vouga.

Com vista à quantificação das cargas de azoto total (N) e fósforo total (P) afluentes às linhas de água da bacia

hidrográfica do rio Vouga e, conseqüentemente, à secção de jusante da referida bacia, o Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa procedeu a um estudo no qual foram estimadas as cargas médias anuais de N e P, com origem difusa e em diferentes fontes pontuais, designadamente estações de tratamento de águas residuais, moradias não ligadas a sistema de drenagem de águas residuais, industria e aquacultura. Para esse efeito foram utilizadas diferentes metodologias que se consideraram adequadas face aos dados disponíveis.

Na presente comunicação são apresentadas as metodologias aplicadas e os resultados obtidos para cada uma das fontes de nutrientes consideradas, sendo as estimativas obtidas avaliadas face a dados de campo, numa perspectiva crítica, procurando-se salientar os aspectos que se consideram mais relevantes no estudo desenvolvido.

## 2. METODOLOGIAS DE QUANTIFICAÇÃO DE CARGAS DE AZOTO E FÓSFORO

Para a definição das metodologias de quantificação das cargas de nutrientes provenientes de cada uma das fontes consideradas foi necessário avaliar, não só a informação existente, mas igualmente ter em conta que a profundidade metodológica do estudo deveria ser adequada ao detalhe dos dados de campo. Com efeito não faz sentido tentar conciliar as cargas com origem em determinada estação de tratamento, calculadas com base em medições de caudal e de qualidade da água descarregada, com estimativas de cargas provenientes de outras estações de tratamento, calculadas, por exemplo, com base numa capitação e em percentagem de população ligada a esse conjunto de estações de tratamento.

Uma das principais dificuldades a ultrapassar no cálculo das cargas pontuais resulta do facto de não se dispor da localização geográfica e da quantificação de cada uma das descargas de nutrientes. Desta forma, e para o caso das águas residuais urbanas e da população sem ligação a sistemas de drenagem, tornou-se necessário recorrer a estatísticas de população residente por concelho, a percentagens de população servida com estações de tratamento e a capitações de N e P por habitante equivalente. No caso de nutrientes com origem industrial o cálculo foi baseado no número de trabalhadores por concelho e sector industrial e, no caso de aquiculturas, as estimativas basearam-se na produção inscrita nos processos de licenciamento.

No caso da poluição difusa optou-se pela utilização de taxas de exportação de nutrientes (carga por unidade de área), tendo para esse efeito sido utilizadas cartas digitais de uso do solo.

Para todos os procedimentos implementados foi necessária cartografia digital, tendo para esse efeito sido todo o estudo desenvolvido num Sistema de Informação Geográfica (SIG).

### 2.1 Divisão da bacia principal em sub-bacias

A bacia hidrográfica principal foi dividida em sub-bacias, de acordo com a localização de estações de

monitorização de qualidade da água ao longo da rede hidrográfica (Figura 2). Esta divisão é necessária de forma a ser possível avaliar as estimativas de carga afluente face aos dados de qualidade da água disponíveis. As áreas drenantes para as quais não se dispõe de uma secção de controlo de qualidade foram consideradas não monitorizadas, por não ser possível aferir as cargas estimadas. Refira-se especialmente o caso da Ria de Aveiro, na qual apesar de existirem medições de qualidade da água, se considerou como não monitorizada pois a hidrodinâmica do estuário não foi analisada no âmbito do presente estudo. Na Figura 2 as áreas drenantes numeradas correspondem a áreas consideradas como monitorizadas.



Figura 2 –Sub-bacias definidas na bacia do rio Vouga.

### 2.2 Instalações de aquicultura

A aquicultura na bacia hidrográfica do rio Vouga é essencialmente exercida na zona estuarina da Ria de Aveiro, onde se localizam 12 instalações, sendo que apenas 3 estão referenciadas em águas interiores. Tendo em conta que a zona estuarina se inclui numa área considerada não monitorizada, optou-se por não se estimar as cargas aí produzidas.

Dado que os únicos dados disponíveis relativamente a estas 3 instalações de aquicultura são a linha de água em que se encontram e a produção anual licenciada (não se dispõe de produções anuais), as cargas produzidas nas 3 instalações foram calculadas com base na metodologia proposta na Guideline 3 das Harmonised Quantification and Reporting Procedures for Nutrients da Convenção OSPAR (HARP-NUT, 1999) produção anual e no factor de alimento (Feed Conversion Ratio - FCR), definido como:

$$FCR = \frac{\text{alimento seco (ton/ano)}}{\text{produção (ton/ano)}} \quad (1)$$

De acordo com a referida Guideline 3 (HARP-NUT, 1999), o FCR foi admitido igual a 0,85, considerando que na população de salmonídeos 50% são adultos. Através da equação (1) e sendo conhecidos os valores FCR e a produção anual, foi estimado o alimento seco utilizado. A carga em N e P foi calculada com a seguinte equação:

$$L = 0,01 \cdot (I \cdot C_i - P \cdot C_f) \quad (2)$$

em que L é a carga de nutriente (N ou P) descarregada na massa de água (ton./ano), I a quantidade de alimento (ton/ano), P a produção (ton/ano),  $C_i$  a percentagem de nutriente no alimento e  $C_f$  a percentagem de nutriente na produção. Os valores de  $C_i$  e  $C_f$  são os constantes na Tabela 1.

Tabela 1. Conteúdo no alimento de salmonídeos (HARP-NUT, 1999).

	P (%)	N (%)
Alimento seco	1,20	7,5
Peixes	0,45	3,0

### 2.3 População não ligada a sistema de drenagem de águas residuais urbanas

A maioria das estatísticas existentes em Portugal está organizada por município, incluindo a população em questão. Considerando a população não ligada a sistemas de drenagem de águas residuais de cada município (INE, 1998) e admitindo as capitações de 0,43 kg P/(hab.ano) e 3,1 kg N/(hab.ano) (HARP-NUT, 1999), foram calculadas as cargas de N e P produzidas em cada município.

Esta discretização espacial não corresponde no entanto à unidade espacial adequada à estimativa de cargas afluentes às linhas de água (área drenante). Utilizando um SIG procedeu-se ao cálculo das áreas de cada município em cada área drenante e admitindo uma distribuição uniforme da população em questão foram calculadas as contribuições de cada município para cada área drenante.

### 2.4 Sistemas de drenagem de águas residuais, com e sem ETAR.

Tal como no caso referido em 2.3, as estatísticas disponíveis relativas à população servida com sistema de drenagem de águas residuais urbanas (ARU) são discretizadas por município.

No âmbito do Plano Nacional da Água (MAOT/INAG, 2001) foi calculada a percentagem de população servida com sistemas de drenagem de ARU bem como as percentagens de remoção de nutrientes em cada uma das ETARs da bacia hidrográfica do rio Vouga.

Com base nas capitações obtidas em HARP-NUT (1999), de 12g N/dia e 2,5g P/dia, foram calculadas as cargas de N e P produzidas em cada município. As contribuições de cada município para cada área drenante foram calculadas de acordo com a mesma metodologia descrita em 2.3 para o efeito.

### 2.5 Indústria

Para o estudo realizado não foi possível obter as produções nem a localização geográfica exacta das descargas de águas residuais de cada indústria. Deste modo foi necessário recorrer a significativas simplificações, tendo as cargas de N e P com origem industrial sido calculadas com base nas cargas constantes no PNA (2001), aí apresentadas por município. Uma vez que se pretendia a carga afluente a cada área drenante, o método de redistribuição espacial apresentado em 2.3 foi de novo aplicado, obtendo-se assim a carga com origem industrial afluente a cada secção de controlo de qualidade da água.

Considerando capitações (carga de N ou P por habitante e por ano) que contemplem a redução com o factor de, para cada um dos grupos de população e conhecido o número de habitantes incluídos em cada um deles, foi calculada a carga com origem em águas residuais urbanas de cada município.

### 2.6 Poluição difusa

As fontes difusas são de difícil quantificação, devido à sua grande variabilidade e dificuldade de identificação, chegando a ser complexo isolar o nível dos seus efeitos sobre a qualidade da água (Novotny 1994). São no entanto consideradas como importante causa da poluição em águas doces superficiais. Em Portugal não se encontram disponíveis dados de campo que permitam o cálculo efectivo das quantidades de nutrientes que são transportadas a partir dos solos, para as linhas de água.

A sua quantificação pode no entanto ser obtida através da utilização de modelos mais ou menos complexos que, de acordo com Sutherland e Novotny (vide NOVOTNY, 1994), podem ser divididos em cinco níveis: I) procedimentos estatísticos simples e cargas unitárias sem interacção com processos físicos e químicos; II) procedimentos simplificados com alguma interacção com processos físico-químicos; III) modelos determinísticos simplificados, contínuos ou orientados para eventos; IV) modelos sofisticados de eventos e VI) modelos contínuos sofisticados.

Para o presente estudo optou-se por adoptar uma abordagem que pode ser considerada de nível I, através da utilização de cartografia de uso do solo e de taxas de exportação de nutrientes. Este tipo de abordagem consiste na utilização de cargas por unidade de área e tempo para cada categoria de solo. A carga poluente é obtida pela multiplicação das cargas unitárias pelas áreas parciais de cada categoria de solo (Novotny, 1994).

$$CT_i = \sum (C_{ij} \cdot A_j) \quad (3.)$$

em que  $CT_i$  é carga total do poluente i, afluente à secção de referência,  $C_{ij}$  a carga do poluente i, por unidade de área e de tempo na categoria de solo j (taxa de exportação) e  $A_j$  a área de solo da categoria j. Este tipo de modelo é recomendado em Castro (1986) para situações que considerem áreas extensas, em que existam poucos dados, limites de orçamento e em que o objectivo seja uma primeira abordagem

Como base de informação foram utilizadas duas cartas digitais de uso do solo: a da Direcção Geral de Florestas e a carta Corine Land Cover. A diferença principal entre as duas reside no número de classes de uso do solo, sendo que na primeira apenas são consideradas 6 classes: Meio Aquático, Agricultura, Floresta, Improdutivos, Incultos e Social. As taxas de exportação utilizadas nas duas cartas foram obtidas em Dal e Kurtar (vide Tanik, 1999), Waller e Hart (vide Castro, 1986), Novotny (1994) e HARP-NUT (1999).

Tabela 2 – Taxas de exportação para a carta DGF (kg/ha/ano).

Classe uso do solo	N	P
Agricultura	10,0	0,3
Águas interiores	0,0	0,0
Florestas	2,0	0,05
Improdutivos	0,0	0,0
Incultos	10,0	0,3
Social	0,7	0,2

Tabela 2 – Taxas de exportação para a carta Corine Land Cover (kg/ha/ano).

Classe uso do solo	N	P
Áreas agrícolas com culturas anuais	5,0	1,0
Áreas agrícolas com culturas permanentes	2,7	0,3
Áreas agrícolas heterogéneas	3,9	0,7
Florestas	2,0	0,1
Meios Aquáticos	0,0	0,0
Pastagens	1,5	0,9
Territórios Artificializados	0,7	0,2
Zonas com vegetação arbustiva ou herbácea	2,7	0,3
Zonas descobertas sem ou com pouca vegetação	0,0	0,0

### 2.7 Comparação entre cargas estimadas e cargas observadas

Tendo em conta as metodologias utilizadas para a quantificação de cargas de nutrientes afluentes às linhas de água, a única comparação possível com dados de campo tem que ser realizada com base em valores médios anuais de carga ou concentração de nutrientes.

Além disso, e para as estações de monitorização de qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Vouga, não foi possível obter valores de caudal escoado nas linhas de água para o mesmo período em que se dispõe de dados de N e P. Desta forma, optou-se por utilizar o escoamento estimado para algumas secções com base no modelo de Temez, apresentado no Plano de Bacia Hidrográfica do rio Vouga (MAOT/INAG, 2000).

De entre as 10 estações de qualidade consideradas no presente trabalho, foi possível obter o escoamento médio anual para um total de 7. Para estas, e uma vez calculado o valor médio anual de N e P observado em cada uma, foram calculadas as cargas médias anuais escoadas em cada secção de controlo.

### 3. RESULTADOS

Uma vez que as cargas difusas foram calculadas com base em duas cartas de uso do solo distintas, a carta da DGF e a carta Corine Land Cover, foram obtidos dois conjuntos de resultados de cargas totais (difusas e pontuais) estimadas para o total da bacia hidrográfica. Estes dois conjuntos foram comparados com as cargas médias anuais medidas em cada uma das 7 estações de qualidade existentes, de forma a avaliar a influência do tipo de carta de uso do solo utilizada nos resultados globais ao nível da bacia hidrográfica.

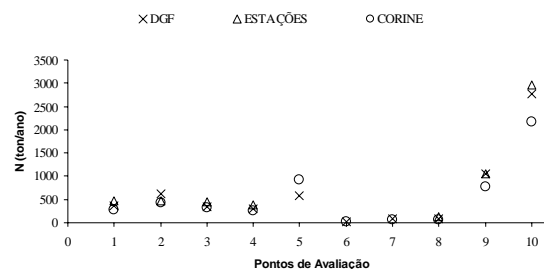


Figura 3 – Comparação das cargas de N obtidas em cada ponto de avaliação de qualidade da água.

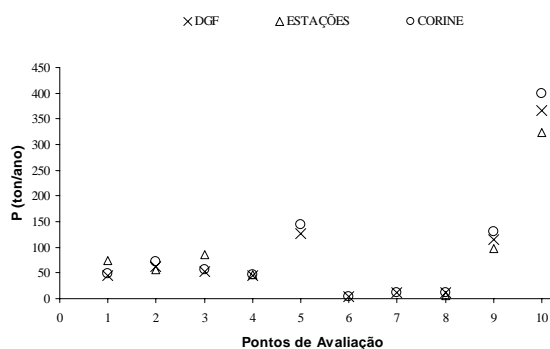


Figura 4 – Comparação das cargas de P obtidas em cada ponto de avaliação de qualidade da água.

Como se pode observar pelas figuras 3 e 4, na maioria das secções de controlo os resultados não diferem significativamente, sendo no entanto de notar diferenças maiores nas secções mais a jusante (secções 9 e 10). Tais diferenças devem-se essencialmente às diferenças de taxas de exportação utilizadas, não sendo possível concluir quais as mais indicadas para a bacia hidrográfica em estudo. Refira-se que a dificuldade na selecção de taxas de exportação para solos em Portugal já sido assinalado em Rodrigues et al (2002), com base em resultados obtidos num estudo sobre a bacia hidrográfica do rio Ave.

Note-se, no entanto, que independentemente da carta de uso do solo utilizada, os resultados obtidos com as diferentes metodologias apresentam uma boa aproximação às cargas médias anuais observadas nas estações de qualidade.

Na Tabela 4 são apresentadas as cargas totais de N e P obtidas para cada uma das fontes consideradas no estudo (poluição difusa calculada com carta da DGF)

Tabela 4 – Cargas de N e P estimadas para a secção de jusante da bacia hidrográfica.

Fonte	N total		P total	
	(ton/ano)	%	(ton/ano)	%
Aquicultura	11.32	0.19	0.02	0.00
ETARs	994.00	17.11	300.00	30.71
Indústria	2 106.00	36.24	438.00	44.84
Poluição difusa	1 632.36	28.09	90.85	9.30
Moradias sem drenagem de ARU	1 067.00	18.36	148.00	15.15
Total	5 810.69	100.00	976.87	100.00

#### 4. CONCLUSÕES

O estudo apresentado teve como objectivo determinar as contribuições de N e P com origem em fontes pontuais e difusas na bacia hidrográfica do rio Vouga. A impossibilidade de obter séries temporais de dados de campo de caudal escoado e de concentrações observadas de N e P para os mesmos períodos, obrigou à utilização de escoamentos médios anuais estimados no âmbito do Plano de Bacia do Rio Vouga (MAOT/NAG, 2000).

Para a quantificação das cargas pontuais os dados disponíveis são escassos, sendo que os existentes estão na sua maior parte organizados por município e não por bacia hidrográfica, situação que conduziu à necessidade de admitir distribuições espaciais uniformes de algumas variáveis (águas residuais urbanas, com e sem tratamento, e cargas industriais) para se conseguir obter cargas por área drenante.

No caso da poluição difusa, geralmente de quantificação mais complexa e de difícil verificação no campo, o facto de não se encontrar disponível qualquer informação específica para a área de estudo relativamente às quantidades de nutrientes aplicados nos solos agrícolas, bem como de concentrações de N e P na generalidade dos solos, constituiu a principal limitação encontrada. Adicionalmente, nenhuma das taxas de exportação consideradas para o cálculo da poluição com origem difusa foi baseada em estudos efectuados em território português.

Apesar das limitações encontradas, foi possível calcular as contribuições de cada uma das fontes de nutrientes consideradas, tendo sido obtidos totais de cargas em N e P que se consideram uma boa aproximação aos valores médios anuais observados nas estações de qualidade (note-se que na Figura 5, a fracção correspondente à agricultura é de muito reduzida expressão).

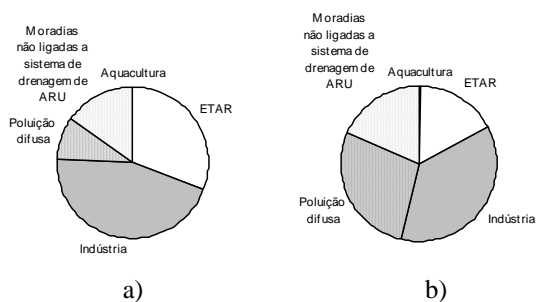


Figura 5 – Contribuição relativa de cada fonte de N (a) e P (b) na bacia hidrográfica do rio Vouga (poluição difusa baseada na carta da DGF).

Face aos resultados globalmente obtidos no estudo apresentado, entende-se que as metodologias adoptadas podem representar um importante contributo ao nível da gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTRO, P. (1986) - Estudo Ambiental do Estuário do Tejo - Estimacção e Controlo da Poluição Difusa no Estuário do Tejo, Relatório Projecto Tejo nº 12, Projecto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Tejo. Lisboa.

HARP-NUT (1999). Harmonised Quantification and Reporting Procedures for Nutrients (HARP-NUT). Convenção OSPAR

INE - Instituto Nacional de Estatística (1998). Estatísticas de População, Lisboa.

MAOT/INAG (2001). Plano Nacional da Água. Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Instituto da Água, Lisboa.

MAOT/INAG - Ministério do Ambiente, Instituto da Água, Direcção Regional do Ambiente do Norte, AMBIO / CHIRON / HLC / FBO (2000). Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Vouga – Síntese da análise e diagnóstico da situação, Volume III – Análise, Lisboa.

MPAT -Ministério do Planeamento e Administração do Território, Secretaria de Estado do Ambiente E Recursos Naturais (1986). Monografia dos Principais Cursos de Água de Portugal Continental. Lisboa.

NOVOTNY, V., OLEM, H. (1994) - Water Quality - Prevention, Identification and Management of Diffuse Pollution. New York (EUA), Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-00559.

NOVOTNY V. (1999). Diffuse pollution from agriculture. Water Science and Technology. Vol. 39, N. 3. Elsevier, pp. 1-13

NERI - National Environmental Research Institute (1997). Integrated Environmental Assessment on Eutrophication - A Pilot Study. NERI Technical Report, n.207, Dinamarca.

RODRIGUES, A.C., COELHO, P.S., SILVA, S.P.; Fonseca, M. R.; DIOGO, P.A. (2002) – “Modelação da Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Ave – Avaliação das Cargas Poluentes de Origem Difusa”, 6º Congresso da Água, Porto, Portugal, Março.

TANIK, A., BAYKAL, B.B., GONENC, I.E. 1999. The Impacts of Agricultural Pollutants in Six Drinking Water Reservoirs. in Water Science and Technology., Vol. 40,N. 2, Elsevier, pp. 11-17.

THOMAS E. Jordan, CORRELL, David L., WELLER Donald E. (1997). Relating nutrient discharges from watersheds to land use and streamflow variability. Water Resources Research, Vol.33, No. 11, Pages 2579-2590 November.