

Aplicação de Inferência Estatística como Suporte ao Planejamento Financeiro de Bacias a Partir da Cobrança de uma Taxa de Drenagem

Érico Gaspar Lisboa¹, Manuel Maria Pacheco Figueiredo¹, Ana Rosa Baganha Barp²,
André Augusto Azevedo Montenegro Duarte²

dec12006@fe.up.pt; mpfiguei@fe.up.pt; anabarp@ufpa.br; amonte@ufpa.br

Recebido: 03/08/13 - revisado: 25/09/13 - aceito: 26/03/14

RESUMO

A arrecadação pela cobrança de uma taxa de drenagem pode resultar em dividendos e, conseqüentemente, suprir os custos para execução de um plano de drenagem urbana, considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Porém, não há base metodológica consolidada para mensurar a arrecadação de uma bacia, para fins de planejamento financeiro. Portanto, o objetivo desse artigo é quantificar o potencial arrecadador classificando a autonomia financeira de cada bacia para executar um plano de drenagem. Para tanto, aplica-se inferência estatística multivariada - variáveis independentes: renda per capita média, testada do imóvel e área impermeabilizada; e, variável dependente: taxa de drenagem obtida pelo método de Tucci. Assim permitiu-se: adequação de um modelo; generalização desse modelo à bacias em curto e médio prazo, e a classificação da autonomia financeira, com vista ao planejamento. A proposta aplicada no conjunto hidrográfico do município de Belém/PA revelou que o potencial arrecadador de uma bacia independe da renda e testada, mas é diretamente proporcional a área impermeabilizada para conquistar sua autonomia financeira.

Palavras-Chave: Inferência estatística multivariada; taxa de drenagem; plano de drenagem urbana.

INTRODUÇÃO

A execução de um plano de drenagem urbana é financiada, geralmente, com recursos do tesouro municipal. A cobrança do imposto predial e territorial urbano (IPTU), por exemplo, é um dos tributos que capitalizam o erário público. No entanto, as restrições orçamentárias, bem como dificuldades para contrair empréstimos, demandam uma necessidade adicional de capitalização de recursos para que a drenagem urbana tenha autonomia financeira.

Além desse tributo, como um meio de capitalização municipal, Barraqué (1995), Haarhof (1996), Marcon e Vaz Jr. (1999), Antener (1999), Baptista *et al.* (2005) apresentaram outros mecanismos para suprir os custos de execução de um plano de drenagem e, para tanto, destacaram a cobrança de uma taxa, considerando a drenagem urbana como um serviço.

Porém, Baptista e Nascimento (2002); Silveira e Goldenfum (2004); Cançado *et al.* (2005); Goldenfum *et al.* (2007) e Cruz e Tucci (2008) revelaram dificuldades em instaurar um processo de cobrança da drenagem, através de uma taxa, como um serviço, posto que o mesmo tem uma conotação de bem público sendo ofertado como monopólio natural.

No entanto, embora haja controvérsias jurídicas, nomeadamente, do que seja taxa ou tarifa (CANÇADO *et al.*, 2005; PEREIRA, 2002), Baptista *et al.* (2005) argumentaram que a cobrança de uma taxa pelo serviço de drenagem não é configurado como um imposto (SILVEIRA *et al.*, 2009); e tem sustentação legal (BRASIL, 1997).

Nascimento *et al.* (2006) e Cançado *et al.* (2005), para além das questões legalistas, observaram obstáculos operacionais em relacionar o consumo individual dos serviços de drenagem ao custo de provisão, os quais são proporcionais a parcela de solo impermeabilizada.

Diante desse prognóstico ganharam ênfase os trabalhos de Tucci (2002), Baptista e Nascimento (2002) e Gomes *et al.* (2008) referenciando área impermeável à taxa de drenagem. Por outro lado, Lisboa *et al.* (2012), através de modelos lineares simples, concluíram que a testada de um imóvel

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Seção de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente. Portugal

² Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental.

agrega mais valor a taxa (calculadas pelos métodos de Tucci, 2002 e Gomes *et al.*, 2008) do que sua área construída e renda *per capita*.

Os trabalhos revisados sugeriram a classificação em dois grupos. O primeiro salientou a inconstitucionalidade da cobrança de uma taxa para o serviço de drenagem, pois entenderam que existe uma tributação destinada a esse fim (*e.g.* IPTU); o segundo discutiu como quantificar a taxa de drenagem. Porém, ambos os grupos não revelaram quanto seria a capacidade financeira de uma bacia para arrecadar valores advindos da cobrança, bem como indicar uma perspectiva de autonomia para suprir os custos de um plano de drenagem.

Assim, o objetivo desse artigo é quantificar o potencial arrecadador, classificando a autonomia financeira, de uma bacia para executar um plano de drenagem. Para tanto, aplicou-se inferência estatística de regressão multivariada - variáveis independentes (X): renda *per capita* média, testada e área impermeabilizada; variável dependente (Y): taxa de drenagem.

Assim permitiu-se, além da classificação da autonomia financeira de uma bacia: adequação de um modelo de regressão e generalização desse modelo em curto e médio prazo, cuja aplicação foi realizada no conjunto hidrográfico do município de Belém/PA.

METODOLOGIA

A prescrição metodológica aplicada nesse artigo é precedida pela definição da inferência estatística de regressão e método de valoração da taxa de drenagem, proposto por Tucci (2002).

O critério para eleição do método de Tucci (2002) baseiou-se pela definição de custos (diretos e indiretos), a qual permitiu relacionar a autonomia financeira de uma bacia.

Inferência Estatística de Regressão

A inferência estatística pode ser definida por regressão linear ou não linear as quais podem considerar uma (simples) ou múltiplas variáveis independentes (multivariada) cujos objetivos são:

- **Predição:** Obtenção de um modelo matemático cuja variação da variável dependente (Y) seja explicada pela variável independente (X);

- **Seleção de X:** Deve ser precedida de estudos com um grande número de variáveis a fim de verificar quais influenciam na variação de Y. A análise de regressão pode auxiliar esse processo eliminando a variável X cuja contribuição não seja importante;
- **Estimação de parâmetros:** Considerando um dado modelo, a estimativa de parâmetros consiste em obter valores, por algum processo, tendo por base esse modelo e os dados observados;
- **Inferência:** É caracterizada pelo ajuste de um modelo de regressão. Tal procedimento tem objetivos básicos que, além de estimar parâmetros, realiza inferências sobre os mesmos, tais como, testes de hipóteses e intervalos de confiança.

Assim, com ênfase na regressão linear multivariada, a **predição** do modelo matemático é descrito pela seguinte equação:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots + \beta_n \cdot X_n + \varepsilon_j \quad (1)$$

Em que Y é variável de resposta ou dependente; X_1 , X_2 e X_n são variáveis explicativas ou independentes ($n = 1, 2, \dots, n$); o termo ε_j representa o erro experimental ($j = 1, 2, \dots, n$); os parâmetros β_0 , β_1 , β_2 e β_n são denominados de coeficientes da regressão.

Portanto, β_0 corresponde ao intercepto do plano com o eixo y. Se $X = (X_1, X_2) = (0, 0)$ o valor de β_0 fornece a resposta média nesse ponto. Caso contrário, não é possível interpretar β_0 .

Por outro lado, β_1 indica uma mudança na resposta média a cada unidade de mudança em X_1 , quando as demais variáveis são mantidas fixas. Da mesma forma faz-se a interpretação de β_2 indicando uma resposta média a cada unidade de mudança em X_1 , quando X_2 é mantido constante.

Assim, supõe-se que o valor esperado (E) em função de ε seja zero - $E(\varepsilon) = 0$; cujo valor de $Y = E(Y|X)$, podendo ser relacionada a um número p-variáveis de explicativas iguais a:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_{i1} + \beta_2 \cdot X_{i2} + \dots + \beta_p \cdot X_{ip} + \varepsilon_i \quad (2)$$

Em que X_{i1} , X_{i2} e X_{ip} são variáveis explicativas; β_0 , β_1 , β_2 e β_p são parâmetros ou coeficientes da regressão; o termo ε_i é o erro aleatório independente onde $i = 1, 2, \dots, n$.

A **seleção de X** pode ser realizada considerando todos os modelos possíveis e de forma auto-

mática. A literatura expõe alguns critérios para avaliar todos os modelos possíveis como:

- Coeficiente de determinação (R^2) e ajustado (R^2_a);
- Quadro médio dos erros;
- C_p de Mallows (baseado no erro quadrático médio dos valores ajustado);
- Informação de Akaike e Bayesiano;
- Prediction Error Sum of Squares.

Por outro lado, a seleção automática pode ser feita pelo procedimento de *Forward*, *Backward* e *Stepwise*. Esse artigo, antes da seleção de X, identificará outliers e pontos influentes, eventuais multicolinearidade e heteroscedasticidade.

A **estimação dos parâmetros**, é realizada considerando o número de observações de Y (n) e X (p), seja $n > p$, de modo que Y_i é o valor de resposta na i -ésima observação, enquanto que X_{ij} é o valor da variável X_j na i -ésima observação, sendo $j = 1, 2, \dots, p$, representado na forma matricial abaixo.

$$Y_i = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}, X_i = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{12} \dots & X_{1p} \\ 1 & X_{21} & X_{22} \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & X_{n1} & X_{n2} \dots & X_{np} \end{bmatrix}, \beta = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix}, \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Assim, a cada observação o valor de Y_i deve satisfazer a equação (2). A fim de ajustar o modelo de regressão, como prescreve a **inferência**, aplica-se método dos mínimos quadrados encontrando o melhor ajuste para um conjunto de dados para minimizar os erros através da soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados ($\sum \varepsilon_i^2$).

Esse método busca encontrar valores de β_0 , β_1 , β_2 e β_p que permitam estabelecer a menor diferença entre Y_i previsto e o observado. Pelo teorema de Gauss-Markov (LINDGREN, 1976), obtém-se o estimador de mínimos quadrados não viciado que tem variância mínima entre todos os estimadores não viciados que são combinações lineares dos Y_i .

Essa variância é analisada para avaliar a significância do modelo (ANOVA), considerando a soma de quadrados totais (SQT), dos erros (SQE), da regressão (SQR); através de testes de hipóteses sobre os parâmetros (como o teste F); e medidas de associação; para verificar a "adequabilidade" do modelo.

O teste F, por exemplo, é realizado para que seja determinado se há uma relação linear entre Y_i e $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{ip}$, sendo considerado a hipótese nula (H_0) igual a $\beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$; e H_1 igual a $\beta_j \neq 0$, sendo $j = 1, \dots, p$. Caso H_0 seja rejeitado, ao menos uma variável explicativa contribui para o modelo. Sob H_0 tem-se que:

$$\frac{SQR}{\sigma^2} \sim X^2_{(p)} \text{ e que } \frac{SQE}{\sigma^2} \sim X^2_{(n-p-1)} \quad (4)$$

Em que σ^2 é o desvio padrão. Considerando SQR e SQE independentes tem-se que a relação entre ambos resulta no valor de F calculado (F_0) de modo que:

$$F_0 = \frac{\frac{SQR}{p}}{\frac{SQE}{n-p-1}} \quad (5)$$

Caso $F_0 > F$ e se valor- p for igual a $p[F_{p; n-p-1}] < \alpha$, sendo α o nível de significância do modelo, rejeita-se H_0 (nesse artigo α será fixado em 5%). Ainda assim, são realizados testes de hipóteses individuais, os quais são fundamentais para determinar se cada variável explicativa é importante para o modelo de regressão. Desse modo, a análise de confiança dos parâmetros é dada por H_0 ($\beta_j = 0$) e H_1 ($\beta_j \neq 0$). Se H_0 não é rejeitada pode-se retirar uma variável do modelo, posto que a mesma não influencia a resposta de forma significativa.

Por outro lado, as medidas de associação são definidas pelo cálculo do coeficiente de determinação (R^2) e ajustados (R^2_a), dadas pelas equações (6) e (7), respectivamente.

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = 1 - \frac{SQE}{SQT} \quad (6)$$

$$R^2_a = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) (1 - R^2) \quad (7)$$

Para complementar o procedimento de inferência, com base nos resíduos (erros), utilizam-se técnicas para investigar se o modelo prognosticado pela regressão é adequado supondo, a partir da equação 2, o seguinte:

- ε_i e ε_j sejam independentes ($i \neq j$);
- Var (ε_i) seja igual a σ^2 ;
- $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$, onde N é distribuição normal multivariada (JOHNSON e WICHERN, 1992);

- d) Não exista *outliers*, multicolinearidade entre as variáveis de entrada.

Esse artigo verifica essas suposições através dos gráficos dos resíduos *vs.* valores ajustados (homocedasticidade do modelo) e resíduos padronizados *vs.* valores ajustados (*outliers* em Y).

Método Tucci (2002)

O método evidencia o rateio dos custos indiretos (custos de operação e manutenção dos sistemas de drenagem) e os diretos (ônus de obras para execução de um plano de drenagem).

Custos indiretos - $T_{x_{indiretos}}$

Para calcular as taxas provenientes dos custos de manutenção e operação de um sistema de drenagem, reflexos de ações preventivas, tem-se:

$$T_{x_{indireto}} = \frac{A \cdot C_{u_i}}{100} \cdot (28,43 + 0,623 \cdot i_1) \quad (8)$$

Onde $T_{x_{indiretos}}$ é a taxa anual a ser cobrada em R\$; A é a área do imóvel (m^2); i_1 é o percentual de área impermeabilizada do imóvel; C_{u_i} é o custo unitário das áreas impermeáveis ($R\$/m^2$). O valor de C_{u_i} utiliza a seguinte formulação:

$$C_{u_i} = \frac{100 \cdot C_t}{A_b \cdot (15,8 + 0,842 \cdot A_i)} \quad (9)$$

Onde C_t é o custo total para realizar a operação e manutenção do sistema (R\$); A_b é a área da bacia (Km^2); A_i é a parcela de área da bacia impermeável (%).

Custos diretos - $T_{x_{diretos}}$

A obtenção da taxa de drenagem inerente à implementação de obras de um plano de drenagem, coadunam com os custos diretos do empreendimento.

Desse modo, têm-se duas formas de contribuição, relacionada com imóveis de áreas impermeáveis e permeáveis, apresentadas pelas equações (10) e (11), respectivamente, as quais somadas obtêm-se a $T_{x_{diretos}}$.

$$T_{x_i} = \frac{A \cdot C_{t_1} \cdot (15 + 0,75 \cdot i_1)}{A_b \cdot A_i} \quad (10)$$

$$T_{x_p} = \frac{15 \cdot A \cdot C_{t_p}}{A_b \cdot A_p} \quad (11)$$

Em que C_{t_p} é o custo total unitário das áreas permeáveis ($R\$/m^2$) e A_p representa a parcela de área da bacia permeável (%). A soma das equações (10) e (11) resulta no valor de $T_{x_{diretos}}$. Sendo que os termos da equação (10) estão descritos acima, fazendo parte das equações (8) e (9). Por fim, a soma de $T_{x_{diretos}}$ e $T_{x_{indiretos}}$ corresponde a taxa de drenagem (T_x).

Prescrição metodológica

A concepção do processo metodológico foi caracterizada em cinco etapas: catalogação, aplicação, adequação, generalização e previsão.

A etapa de catalogação consistiu no agrupamento dos dados utilizados para aplicação da inferência estatística. Para tanto foi utilizado um conjunto amostral de 334 unidades residenciais da sub-bacia do Tucunduba, que compõe um conjunto de treze unidades (Figura 1), parte integrante do município de Belém, Pará. Esses dados foram coletados do levantamento cadastral do “Projeto Tucunduba de Regularização Fundiária Urbana” sob a tutela da Prefeitura Municipal de Belém (BELÉM, 2001).

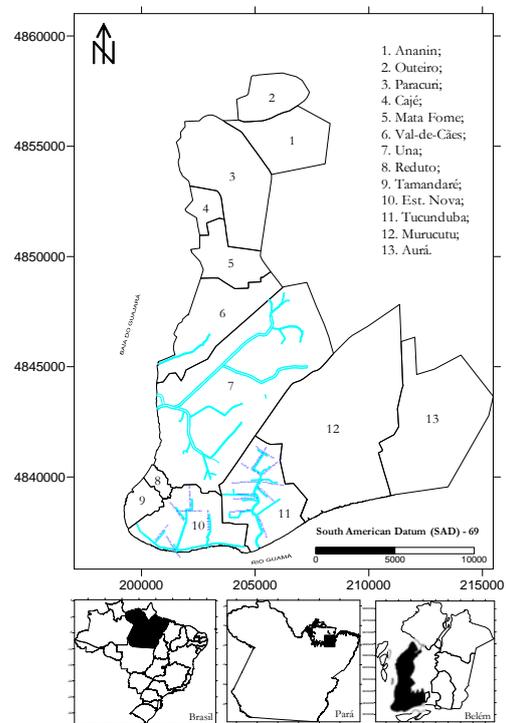


Figura 1 – Divisão hidrográfica de Belém/PA

Por outro lado, a etapa de aplicação foi composta da utilização da inferência estatística. Essa aplicação foi precedida da caracterização das variáveis dependente e independentes. Assim sendo, foi calculada a taxa de drenagem (T_x) pelo método de Tucci (2002), considerada como variável dependente (Y_i) sendo tabuladas para as 334 unidades que compõem o campo amostral.

Consideraram-se variáveis independentes (X_n): área construída (A_i), testada do imóvel (T) e renda familiar associado ao número de salários mínimos (SM), atualizados para o ano atual (BRASIL, 2012), para cada unidade residencial.

Feitas tais considerações, foi aplicado a inferência estatística multivariada e calculou-se os coeficientes de regressão dos parâmetros β_0 , β_1 , β_2 e β_3 , sendo que os três últimos referiram-se às variáveis independentes X_1 (A_i), X_2 (T) e X_3 (SM), bem como os erros aleatórios independentes (ϵ_i), definidos pela equação (2).

Em seguida, foi feita a análise de variância (ANOVA) avaliando a significância do modelo a partir da soma de quadrados total (SQT), dos erros (SQE), da regressão (SQR) cuja relação entre os dois últimos resultou em F calculado (F_0) a partir da equação (5). Consideraram-se dois tipos de regressão: linear e não linear (exponencial).

Na etapa seguinte verificaram-se a adequabilidade do modelo (linear e exponencial), sendo calculados os coeficientes R^2 e R^2_a ; e a multicolinearidade entre as variáveis X_n . Assim, a partir dos erros, utilizaram-se técnicas gráficas considerando não existir a formação de *outliers* e multicolinearidade. Feito isso, plotaram-se erros *vs.* valores ajustados (homocedasticidade); e erros padronizados *vs.* valores ajustados (*outliers* em Y).

Após essa etapa, utilizou-se o modelo adequado para compor a etapa de generalização. Assim, fez-se uma estimativa da arrecadação e classificou-se a autonomia financeira de cada sub-bacia para suprir os custos de um plano de drenagem urbana.

Estimaram-se os dados referentes à área impermeável (A'_i), testada média (T') e renda familiar (SM'), de cada sub-bacia (SB) do município de Belém, com base nos estudos de Trindade Jr., (1997); Belém (2001); Portela (2004); SNAI (2004); Araújo *et. al* (2012) e Luz *et. al* (2012) conforme o tabela 1.

Complementou-se a aferição dos valores de A'_i e A_b pelo *software* gvSIG 1.1 via ortofotos cedidos pela Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM). A estimativa do valor médio da testada por sub-bacia (T') considerou uma taxa de ocupação média, advindo da relação entre A'_i e A_b , que somado a um

valor de testada mínima (arbitrada, empiricamente, em 5,0 m, por ser este o valor mínimo estabelecido pela legislação municipal) resultou na seguinte expressão: $T' = 5 + (A'_i/A_b)$.

Tabela 1 – Dados físicos e econômicos das sub-bacias urbanas de Belém.

SB	A_b (km ²)	A'_i (km ²)	T' (m)	SM'
1	7,80	1,17	5,14	3
2	1,80	0,18	5,10	3
3	14,50	3,34	5,23	3
4	5,70	0,74	5,13	3
5	3,50	0,91	5,26	4
6	2,40	1,152	5,48	4
7	36,60	31,48	5,86	6
8	0,94	0,87	5,93	17
9	1,73	1,64	5,95	17
10	9,54	8,49	5,89	10
11	10,55	8,80	5,83	5
12	13,10	2,09	5,16	6
13	17,70	2,12	5,12	6

A renda familiar média (SM') foi estimada com base em Mendes (2005), cujos dados foram levantados para cada distritos administrativos que integram as sub-bacias analisadas (Tabela 1).

A partir da prescrição acima, iniciou-se a etapa de previsão considerando dois aspectos: classificação da autonomia e perspectiva de planejamento financeiro. Para a classificação da autonomia financeira (AF), por sub-bacia, utilizou-se como referência os custos destinados à obra da macrodrenagem da sub-bacia do Tucunduba (SB-11).

Esses custos foram quantificados pela Secretaria de Saneamento de Belém, podendo ser consultado em Lisboa *et. al.* (2012), em cerca de R\$ 1.063.286,77/km². Assim, classificou-se AF em categorias a partir da relação entre o custo de referência (CR) e taxa de drenagem (T_x), calculada a curto (1 ano) e médio prazo (10 anos), pelo método de regressão multivariado ajustado nas etapas anteriores; em três níveis (Tabela 2).

Tabela 2 – Categorias de AF

AF	$[C_R/T_x] \cdot 100\%$ (anos)
I	< 20
II	20 - 70
III	70 - 100

Interpretou-se tal categorização como um indicativo de que cada sub-bacia tenha capacidade financeira de executar um plano de drenagem urbana com ações estruturais (custo diretos) e não estruturais (custos indiretos). Logo, essa capacidade é traduzido na autonomia financeira, de modo que:

- **AF-I** – Sem autonomia para financiar um plano de drenagem urbana. A maior parte dos dividendos da taxa de drenagem deverá suprir custos indiretos (ações não estruturais). As ações estruturais ainda devem ser financiadas pelo município;
- **AF-II** - Autonomia parcial para financiar um plano de drenagem urbana. Parte dos dividendos da taxa de drenagem deverá suprir custos diretos ou indiretos. Caso seja necessário, recorre-se ao orçamento do município;
- **AF-III** - Autonomia para financiar um plano de drenagem urbana. Dividendos da taxa de drenagem são capazes de suprir custos diretos e indiretos.

A quantificação da perspectiva financeira vislumbrou-se um cenário de planejamento para a arrecadação municipal em um período de 10 anos. A composição desse cenário, cuja variável T' foi mantida constante para cada sub-bacia, considerou o seguinte:

- Varição de A'**: Está relacionada ao cálculo do índice de cobertura vegetal (ICV = área de vegetação/ número de habitantes). Os recentes estudos de Araújo *et. al* (2012) e Luz *et. al* (2012) no município de Belém, indicaram reduções de ICV em função da proliferação de áreas impermeáveis (A'_i), e conseqüente aumento populacional. Com base nesses estudos obtem-se acréscimo de 20% da A'_i por sub-bacia que corresponde a uma evolução temporal de 10 anos.
- Varição de SM'**: Para o período de 10 anos a variação dessa variável fundamentou-se no aumento percentual do SM entre 2003 (BRASIL, 2003) a 2103 (BRASIL, 2012), cujo valor é 47,23% em termos nominais. Não estão sendo consideradas, neste estudo, variações decorrentes da inflação nem a correção monetária, adotando-se o número de salários mínimos correntes;
- Acumulação dos dividendos de T_x'**: Considerou-se um percentual de acumulação pa-

ra fins de capitalização e planejamento em médio prazo. Esse percentual é igual a 70% da taxa Selic (igual a 8,5%).

Assim, efetuou-se uma comparação da autonomia financeira por sub-bacia, a partir do modelo de regressão adequado entre as considerações da tabela 1, com a perspectiva financeira em médio prazo (10 anos), considerando as variações supracitadas.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados da autocorrelação entre as variáveis independentes (X_n), do modelo de regressão linear multivariada, revelaram que quanto maior é o valor de T menor será SM em 2,61%. Por outro lado, quanto maior for A, a variável SM aumenta em 5,46%.

Embora as variáveis A_i e T apresentaram uma dependência ou relação de 58,71%, o que, de certa forma, já era esperado, as demais correlações entre as variáveis não sinalizaram problemas de multicolinearidade (Tabela 3).

Tabela 3 – Autocorrelação entre as variáveis X_n.

R ²	T	A _i	SM
T	1	-	-
A	0,5871	1	-
SM	-0,0261	0,0546	1

A análise da adequação do modelo linear apresentou um poder de explicação de 83,04% (R²) e erro padrão de 3,787, cujos resultados da análise de variância (ANOVA) são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - ANOVA da regressão linear multivariada.

ANOVA	Regressão	Resíduo	Total
GL	3	330	333
SQR	23165,43	-	-
SQE	-	4732,19	-
SQT	-	-	27897,62
QMR	7721,81	-	-
QME	-	14,34	-
Fo	538,48	-	-
F	9,74E ⁻¹²⁷	-	-

Os resultados numéricos ou análises paramétricas indicaram que, excetuando o regressor SM, cujo parâmetro β_3 possui 11,37% de erro padrão e alta significância (37,01%), o modelo de regressão é confiável ($F_0 > F_{\text{tabelado}}$) e os demais regressores (T e A_i) são importantes na sua formação (Tabela 5).

Tabela 5 – Parâmetros da regressão linear multivariada.

ANOVA	Coef.	Erro padrão	Stat t	Valor-p
β_0	-10,62	58,01%	-18,30	0,00%
β_1	1,59	11,20%	14,16	0,00%
β_2	0,07	0,33%	22,03	0,00%
β_3	-0,10	11,37%	-0,90	37,01%

Assim, o modelo de regressão linear multivariada foi obtido por:

$$T_{x(L)} = -10,62 + 1,59xT + 0,07x A_i - 0,10x SM \quad (12)$$

Para um aumento de 1 m de T e 1 m² de A_i , os valores de T_x aumentaram em R\$1,59/mês e R\$ 0,07/mês, respectivamente. Por outro lado, o valor de T_x decresceu R\$ 0,10/mês com aumento de cada unidade de SM.

A adequação do modelo, a partir da análise gráfica, não indicou tendência entre X_n (A_i , T e SM) e Y (T_x). Logo, o modelo linear não foi heteroscedástico, posto que, os pontos estão aleatoriamente distribuídos em torno do valor 0, sem nenhum comportamento ou tendência (Figura 2).

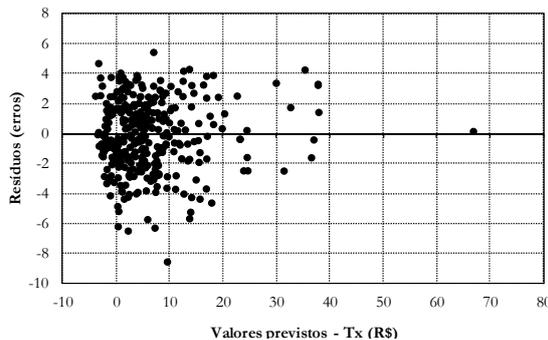


Figura 2 – Valores previstos vs. Resíduos.

Por outro lado, a figura 3 revelou uma tendência com a formação de apenas um ponto de outliers. Assim sendo, tal diagnóstico indicou que o modelo para quantificação da taxa de drenagem não é linear.

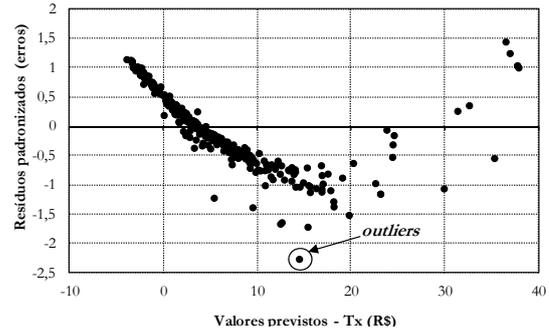


Figura 3 – Valores previstos vs. Resíduos padrões.

Portanto, executou-se o modelo não linear (exponencial), cuja autocorrelação entre as variáveis revelaram que o aumento de ln (T) o valor de SM decresceu 1,20%. Com um aumento no valor de ln (A_i), a variável SM cresceu 9,17%. Observou-se que SM não foi linearizada, pois no banco de dados há valores iguais a 0.

Embora as variáveis ln (A_i) e ln (T) tenham quantificado uma dependência de 47,46%, as demais correlações não apresentaram problemas de multicolinearidade igual ao modelo linear (Tabela 6).

Tabela 6 – Correlação entre as variáveis X_n .

R ²	ln (T)	ln (A_i)	SM
ln (T)	1	-	-
ln (A)	0,4746	1	-
SM	-0,0120	0,0917	1

O modelo não linear apresentou um poder de explicar de 99,93% (R²) e erro padrão de 0,023. Tais resultados mostraram que esse modelo diminuiu os erros e ajustou-se melhor do que o modelo linear (Tabela 7).

Tabela 7 - ANOVA da regressão não linear multivariada.

ANOVA	Regressão	Resíduo	Total
GL	3	330	333
SQR	255,61	-	-
SQE	-	0,18	-
SQT	-	-	255,79
QMR	85,20	-	-
QME	-	0,00	-
Fo	158027,67	-	-
F	0,00	-	-

Quanto aos parâmetros, β_3 sinalizou 0,07% de erro padrão, cujo valor de t de Student foi igual a 1,69. Portanto, 9,28% foram à probabilidade do valor extremo ser igual ao observado, com um nível de confiança de 90,72%. Igualmente aos resultados anteriores, o modelo se mostrou confiável e variáveis importantes na sua formação (Tabela 8).

Tabela 8 – Parâmetros da regressão não linear multivariada.

ANOVA	Coef.	Erro padrão	Stat t	Valor-p
β_0	-4,91	0,93%	-529,3	0,00%
β_1	1,01	0,43%	235,75	0,00%
β_2	1,02	0,22%	454,23	0,00%
β_3	0,001	0,07%	1,69	9,28%

Por certo, o modelo não linear apontou uma redução significativa dos erros padrões dos parâmetros. Assim, o modelo de regressão não linear multivariada foi expresso por:

$$T_{x(NL)} = 0,007 \times 2,72^T \times 2,77^{A_i} \times SM^{1,001} \quad (13)$$

Mensalmente, percebeu-se o aumento exponencial de T e A_i . O aumento de uma unidade de SM refletiu no decréscimo de 10% da taxa. Outrossim, o ajuste ao modelo revelou que não houve tendência entre as variáveis T, A_i e SM com T_x . Logo, o mesmo não foi heteroscedástico, razão pela qual os pontos foram aleatoriamente distribuídos em torno do 0 (Figura 4).

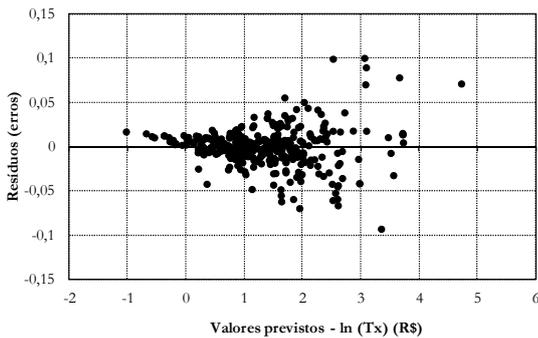


Figura 4 – Valores previstos vs. Resíduos.

Por outro lado, embora o modelo não linear tenha apresentado 19 pontos outliers, o mesmo não expressou uma tendência significativa (Figura 5). Assim, o respectivo modelo apresentou-se mais ade-

quado para quantificar T_x , considerando maior R^2 e menores erros padrões.

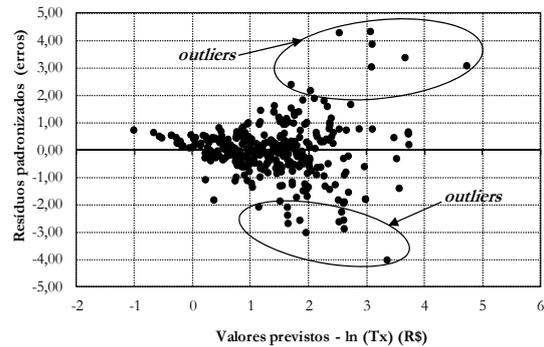


Figura 5 – Valores previstos vs. Resíduos padrões.

No entanto, os valores de $T_{x(NL)}$, calculados pela equação 13, são superelevados. Na prática, por exemplo, para $A_i = 20 \text{ m}^2$; $T = 5 \text{ m}$ e $SM = 1$, o valor de $T_{x(NL)}$ foi de R\$ 737.119.569,85 para um determinado lote, ou seja, o modelo não linear, embora numericamente aceitável, foi considerado incompatível com a realidade.

Para os mesmos valores de A_i , T e SM, exemplificados acima, $T_{x(L)}$ foi igual a -R\$ 1,37 (equação 12), cujo valor negativo sugeriu que a taxa de drenagem seja subsidiada pelo município.

Observou-se que na lógica financeira, com fulcro na equação 12, a testada de um imóvel tenha maior contribuição para quantificar $T_{x(L)}$ de um único lote, para A_i em m^2 . No entanto, para uma bacia, a respectiva equação, o termo $0,07 \times A_i$ passou a ser multiplicado por 10^6 por razões de grandeza.

Portanto, considerando o modelo linear, o potencial de arrecadação mensal por sub-bacia (SB) variou de R\$ 12.597,69 a R\$ 2.203.602,25, cuja acumulação de dividendos totalizada foi igual a R\$ 4.408.735,26/mês. A previsão total foi estimada em R\$ 52.904.823,17/ano, para financiar os custos de um plano de drenagem.

A sub-bacia do Una (SB-7) estimou R\$ 26.443.227,00/ano, que, em 10 anos aumentou 9,09%. Esse mesmo percentual revelou que a SB-2 apresentou menor perspectiva de arrecadação (Tabela 9).

Por outro lado, a relação entre os custos de referência e os dividendos da taxa de drenagem, por sub-bacia, revelaram que em curto prazo (1 ano) as sub-bacias 1, 2, 3, 4, 12 e 13 não obtiveram autonomia financeira para suprir os custos de um plano de drenagem (AF-I). Nesse mesmo período, SB-5, 6 e 7 apresentaram uma autonomia financeira parcial

(AF-II). Porém, essa autonomia foi alcançada por SB-8, 9, 10 e 11 (Figura 6).

No cenário de médio prazo (10 anos), SB-3 ascendeu de AF-I para AF-2, tornando-se parcialmente autônoma. Essa ascensão foi experimentada por SB-7 que passou a ser autônoma para suprir os custos de um plano de drenagem (Figura 7).

Tabela 9 – Planejamento de arrecadação mensal, em 1 ano e 10 anos, por sub-bacia

SB	$T'_x(L)_x 10^3$ (mensal)	$T'_x(L)_x 10^3$ (1 ano)	$T'_x(L)_x 10^3$ (10 anos)
1	81,90	982,78	1.179,43
2	12,60	151,17	181,51
3	233,80	2.805,58	3.366,80
4	51,80	621,57	745,99
5	63,70	764,38	917,36
6	80,64	967,68	1.161,32
7	2.203,60	26.443,23	31.731,98
8	60,90	730,82	877,09
9	114,80	1.377,62	1.653,25
10	594,30	7.131,62	8.558,05
11	616,00	7.392,03	8.870,54
12	146,30	1.755,57	2.106,79
13	148,40	1.780,77	2.137,02
Σ	4.408,74	52.904,82	63.487,13

As sub-bacias urbanas (SB-5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11) detiveram maior potencial de arrecadação, o que resultou, de forma proporcional, em maior autonomia financeira. Por outro lado, as sub-bacias periurbanas (SB-1, 2, 3, 4, 12 e 13) necessitaram de financiamento para execução de um plano de drenagem.

Tais evidências, em curto e médio prazo, foram explicadas por duas questões. A primeira diz respeito ao modelo linear multivariado, adotado para a construção dos cenários, o qual revelou que não há interferência significativa das variáveis T' e SM' . Esse fato foi relacionado ao termo $0,07_x A_b$, expresso em m^2 , sendo multiplicado por 10^6 por uma questão de grandeza.

A segunda questão foi explicada pela proporcionalidade que houve entre a taxa de ocupação (A'_i/A_b) e percentual da relação C_R/T_x ; isto é, quanto maior for a taxa de ocupação de uma determinada sub-bacia, maior a autonomia financeira para suprir custos de execução de um plano de drenagem.

Portanto, para que SB-3 se torne parcialmente autônoma, necessitou de 28% da sua área sejam impermeabilizadas (salvaguardando a os princípios de sustentabilidade regidos pelas políticas de uso e ocupação do solo do município).

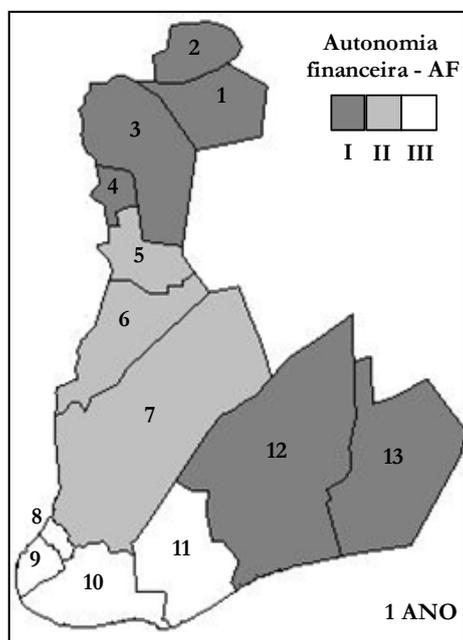


Figura 6 – Cenário da autonomia financeira curto prazo (1 ano)

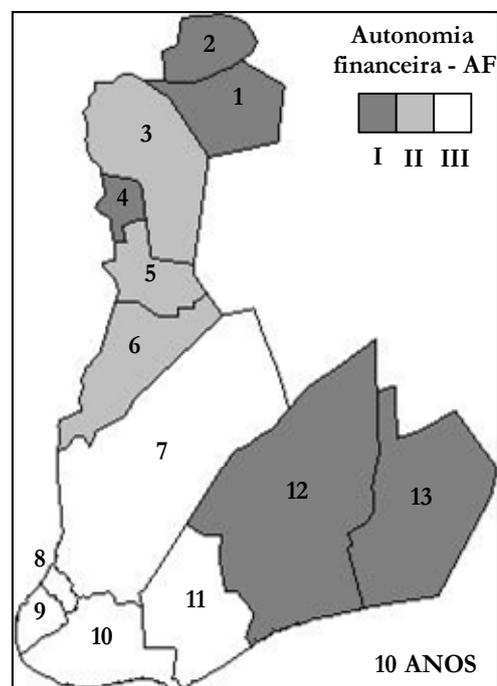


Figura 7 – Cenário da autonomia financeira médio prazo (10 anos)

A perspectiva sustentável, pode não ser aplicada a SB-7 que possui cerca de 86% da sua área ocupada (AF-II), e para torna-se financeiramente autônoma, necessitaria mais 3% da sua área fosse impermeabilizada.

Indicando um paradoxo com os princípios de sustentabilidade da drenagem urbana, a abordagem proposta demonstra que as sub-bacias com maior potencial de autonomia financeira são aquelas que se encontraram com um grau de urbanização saturado (*i.e.* área impermeável da sub-bacia representa 80% da área total).

Portanto, em curto prazo, SB-8, 9, 10 e 11 não necessitou que suas áreas fossem mais impermeabilizadas, pois possuíam autonomia financeira (Tabela 10). Percebeu-se que em curto e médio prazo a arrecadação dos dividendos provenientes da taxa de drenagem não gerou superávit em nenhuma sub-bacia.

De forma conclusiva, percebeu-se que o crescente processo de urbanização poderá catalisar a arrecadação financeira em bacias periurbanas (SB-1, 2, 3, 4, 12 e 13). Por outro lado, esse processo não orienta a gestão de bacias (*i.e.* a autonomia financeira não deve ser proporcional à impermeabilização da área de uma bacia), pois contraria os princípios de sustentabilidade da drenagem urbana.

Tabela 10 – Taxa de ocupação e autonomia financeira em 1 e 10 anos.

SB	A'_i/A_{sb} (1 ano)	A'_i/A_{sb} (10 anos)	AF (1 ano)	AF (10 anos)
1	0,14	0,17	11,04%	13,25%
2	0,10	0,12	7,90%	9,48%
3	0,23	0,28	18,20%	21,84%
4	0,13	0,16	10,26%	12,31%
5	0,26	0,31	20,54%	24,65%
6	0,48	0,58	37,92%	45,51%
7	0,86	1,03	67,95%	81,54%
8	0,93	1,11	73,12%	87,75%
9	0,95	1,14	74,89%	89,88%
10	0,89	1,07	70,31%	84,37%
11	0,83	1,00	65,90%	79,08%
12	0,16	0,19	12,60%	15,13%
13	0,12	0,14	9,46%	11,35%

Assim sendo, os gestores municipais devem prever que para além da perspectiva financeira, prevalece a forma sustentável de prover seus espaços permeáveis.

CONCLUSÕES

Para quantificar o potencial financeiro de uma bacia com a perspectiva de classificar sua autonomia financeira, aplicaram-se modelo linear e não linear de regressão multivariada. Essa técnica foi aplicada no conjunto hidrográfico do município de Belém/PA, a partir de uma taxa de drenagem calculada pelo método de Tucci (2002).

Os modelos indicaram a não existência de multicolinearidade para quantificar a taxa de drenagem, tornando-se confiáveis. Em ambos os modelos de regressão as variáveis que referem-se à testada e renda familiar (n° de salários mínimos) pouco interferem no valor da taxa quando generalizado à área da bacia.

O modelo de regressão não linear, embora tenha apresentado maior poder de explicação e menores erros, quando comparada ao modelo linear, não é exequível para quantificar a taxa de drenagem para um determinado lote, pois superestima, exponencialmente, o valor da taxa a patamares financeiros impraticáveis ou absurdamente incompatíveis com a realidade.

A generalização do modelo linear indicou proporcionalidade direta entre a taxa de aproveitamento de solo de uma bacia com a taxa de drenagem.

De modo que as unidades hidrográficas mais urbanizadas detiveram maior potencial de arrecadação, e conseqüentemente maior capacidade financeira.

Assim sendo, a capacidade financeira foi direcionada, apenas, para suprir os custos de um plano de drenagem, pois em curto (1 ano) e médio prazo (10 anos) não houve perspectiva de superávit.

Por fim, o planejamento financeiro a partir da cobrança de uma taxa de drenagem indicou que a impermeabilização de uma bacia é um catalisador para a arrecadação de dividendos; porém, se mal gerenciado seu uso e ocupação, poderá originar diversos impactos, vindo a confrontar com os princípios de sustentabilidade da drenagem urbana.

Assim sendo, os gestores municipais devem prever que para além da perspectiva financeira, deva prevalecer a forma sustentável de prover seus espaços permeáveis.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Ensino e Pesquisa (CNPq) pela concessão de bolsa de doutorado ao

primeiro autor (Processo nº 246869/2012-7; modalidade GDE). Aos revisores da RBRH.

REFERÊNCIAS

- ANTENER, M. La Revalorisation des milieux naturels em sites périurbains et La gestion de risque d'inondation para des actions à l'échelles privative – l'exemple de La ville de Zurich, *Journée d'information Aménagement et Eaux Pluviales*, Lyon: GRAIE, p. 24-25, 1999;
- ARAÚJO, M.L; RODRIGUES, J.E; LUZ, L.M. Análise Temporoespacial da Cobertura Vegetal do Bairro Tenoné – Belém/PA. *REVSBAU, Piracicaba – SP*, v.7, n.1, p. 52-75, 2012;
- BAPTISTA, M., NASCIMENTO N., BARRAUD, S. (2005). Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, 266 p;
- BAPTISTA, M; NASCIMENTO, N.. "Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana", *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, Jan/Mar 2002, p. 29-49;
- BARRAQUÉ, B. Les politiques de l'eau em Europe. Paris: Ed. La Decouverte, Paris, 303 p., 1995;
- BELÉM. Prefeitura Municipal. Secretaria de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão (SEGEP); Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN); Fundação Papa João XXIII (FUNPAPA). Plano de Desenvolvimento Local Riacho Doce/Pantanal. Programa Habitar-BID Sub-Programa de Urbanização e Assentamento Subnormais. Belém, 2001;
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, v. 135, n. 6, p.40 , 18. jan. 1997, Seção. 1, pt;
- BRASIL. Lei nº 10.699, de 9 de julho de 2003. Dispõe sobre o salário mínimo a partir de 1º de abril de 2003. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, v. 131, n. 1, p.88, 10. jul. 2003, Seção. 1, pt;
- BRASIL. Decreto nº 7.872, de 26 de dezembro de 2012. Regulamenta a Lei nº 12.382, de 25 de fevereiro de 2011, que dispõe sobre o valor do salário mínimo e a sua política de valorização de longo prazo. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, v. 248-A, edição extra, p.4 , 26. dez. 2012, Seção. 1, pt;
- CANÇADO, V.L, NASCIMENTO, N. O., CABRAL, J. R. (2005). Cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais: bases conceituais. *REGA: Revista de Gestão de Água da América Latinas*, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 5-21, jan./jun.
- CRUZ, M.A; TUCCI, C.E. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 13, n. 3, p. 59-71, 2008;
- GOLDENFUM, J. A., TASSI, R., MELLER, A., ALLASIA, D., SILVEIRA, A. L. L. (2007) Challenges for the sustainable urban stormwater management in developing countries: from basic education to technical and Institutional Issues. NOVATECH, 2007, Lyon, França, anais p 357-364;
- GOMES, C.A.B de M; BAPTISTA, M.B; NASCIMENTO, N.O. Financiamento da Drenagem Urbana: Uma Reflexão. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, v. 13 n. 3 jul/Set 2008, 93-104;
- HAARHOF, T. "Taxation of surface runoff from urban areas: a useful step towards sustainable urban drainage management". In: *8th International Conference of Urban Storm Drainage, Hannover. International Association for Hydraulic Research*, p. 395-400, 1996;
- JOHNSON, R.A; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. *3rd Ed. New Jersey, 1992, Prentice Hall*,
- LINDGREN, B. W., 1976, Statistical Theory, In: WONNACOTT, T. H., WONNACOTT, R. J., 1990, *Introductory Statistics for Business and Economics*, ed. Jonh Wiley & Sons;
- LISBOA, E. G; BARP, A. R. B; MONTENEGRO, A.D. A Cobrança de Taxa como Alternativa de Financiamento para um Plano de Drenagem Urbana no município de Belém/PA. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 53-67, 2012;
- LUZ, L.M; ARAÚJO, M.L; RODRIGUES, J.E. Estudo das Áreas Verdes e Índice de Cobertura Vegetal do Distrito Administrativo de Icoaraci – Daico, Belém-PA. *Revista Geonorte, Edição Especial*, v.2, n.4, p.1454 – 1463, 2012;
- MARCON, H., VAZ JUNIOR, S.N. Proposta de Remuneração dos Custos de Operação e Manutenção do Sistema de Drenagem do Município de Santo André – a taxa de drenagem. Anais do 20º. *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro. ABES, p. 3225-3234, 1999;
- MENDES, R. L. R. Indicadores de sustentabilidade do uso doméstico de água. *Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos*, 191 p, 2005;

NASCIMENTO, N. de O., CANÇADO, V., CABRAL, J. R. (2006). Estudo da cobrança pela Drenagem Urbana por meio de uma taxa de drenagem. *RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre*, v.11, n.2, p.135-147;

PEREIRA, J. S. (2002). A Cobrança pelo Uso da Água como Instrumento de Gestão dos Recursos Hídricos: da Experiência Francesa à Prática Brasileira. Tese de Doutorado, I-PH/UFRGS, Porto Alegre/RS;

PORTELA, R.S. Participação Popular e Metamorfoses no Planejamento e na Gestão do Espaço Urbano. Adcontar, Belém, v. 5, n.1. p. 15-34, junho, 2004;

SILVEIRA, A. L. L. GOLDENFUM, J. A. (2004). Sustainable approach applied for the development of urban drainage manuals in Brasil. *NOVATECH, 2004, Lyon, França, anais p 1325-1332*;

SILVEIRA, G.L; FORGIARINI, F.R; GOLDENFUM, J. A. Taxa não é cobrança: uma Proposta para Efetiva Aplicação do Instrumento de Gestão dos Recursos Hídricos para a Drenagem Urbana. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre*, v. 14, n. 4.Out/Dez 2009, p. 71-80;

SNAI, Secretaria Nacional de Assuntos Institucionais. Macro-drenagem e Urbanização do Tucunduba. Diretório Nacional do PT. Prefeitura Municipal de Belém, 2004. Disponível em <<http://www.pt.org.br>>. Acesso em Jan. 2013;

TRINDADE JUNIOR, Saint-Clair C. Produção do Espaço e Uso do Solo Urbano em Belém. Belém: NAEA/UFGPA,1997;

TUCCI, C.E.M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre*, v. 7, n. 1., p. 5-27, 2002;

Application Of Statistical Inference To Support Watershed Financial Planning Based On Charging Drainage Rates

ABSTRACT

Collection by charging drainage rates can result in dividends which can meet the costs for the implementation of an urban drainage plan. However, there is no consolidated methodological basis to measure the collection potential of a watershed for purposes of financial planning. Therefore, the aim of this article is to quantify this potential by classifying the financial autonomy of each watershed to implement a drainage plan. Thus, the multivariate statistical inference is applied - independent varia-

bles: average per capita income, the property facade and waterproofed area; and dependent variable: drainage rates obtained by the Tucci method. Thereby, the adequacy of a model, the generalization of this model to the sub-basins in the short and medium term, and the classification of financial autonomy were permitted for the purpose of planning. The proposal applied in the watershed of the urban area of Belem/PA, Brazil, revealed that the collection potential of a sub-basin is independent of income and facade as well, but it is directly proportional to the waterproofed area to achieve its financial autonomy.

Key-words: *Multivariate statistical inference; drainage rate; urban drainage plan.*