

Gestão das Águas Subterrâneas no Estado da Paraíba: Proposta de Modelos de Cobrança

José Augusto de Souza

Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA

jotaaugusto@gmail.com.br

Márcia Maria Rios Ribeiro, Zédna Mara de Castro Lucena Vieira

Universidade Federal de Campina Grande - UFCG

mm-ribeiro@uol.com.br, zedvieira@globocom

Recebido: 06/06/10 - revisado: 15/09/10 - aceito: 27/10/10

RESUMO

O uso das águas subterrâneas nas mais diversas atividades humanas, sobretudo nas atividades agrícolas, tem crescido de forma desordenada em vários locais do mundo. A superexploração e a falta de legislações específicas para gerir o uso desse recurso são motivos de preocupação para os estudiosos dessa área. Embora o novo modelo brasileiro de gestão de recursos hídricos prescreva o uso de instrumentos econômicos para induzir o uso racional da água, verifica-se uma maior ênfase no desenvolvimento de modelos de cobrança pelo uso de águas superficiais. Neste sentido, este trabalho, tendo como área de estudo a bacia sedimentar costeira da Região do Baixo Curso do Rio Paraíba, na Paraíba, apresenta a aplicação de dois modelos de cobrança pelo uso de recursos hídricos subterrâneos – o primeiro, arrecadatório, onde são definidos coeficientes de ponderação que buscam adequar os valores da cobrança às características de sazonalidade, qualidade e disponibilidade das águas subterrâneas; o segundo, consistindo em uma aplicação da metodologia de preços ótimos – que poderão subsidiar a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no Estado da Paraíba.

Palavras-Chave: Instrumento econômico, bacia sedimentar costeira, política brasileira de recursos hídricos.

INTRODUÇÃO

Até o final do século passado, era comum falar das águas subterrâneas como o maior reservatório de água doce do mundo, verificando-se o aumento do seu uso no atendimento das crescentes demandas do uso humano. Por exemplo, nos países da União Européia, cerca de 80% da população dependem da água subterrânea para seu abastecimento e, mais recentemente, tais recursos hídricos começam a ser mais e mais utilizados em atividades do setor industrial – para arrefecimento, por exemplo – e na agricultura. (EUROPEAN COMMUNITIES, 2008). Contrário a essa idéia, é que Albuquerque (2004) aponta para um novo modelo de gestão dos recursos hídricos, segundo o qual a exploração das águas subterrâneas não deve ser dissociada do aproveitamento das águas de superfície, devendo-se considerar ambas no contexto da bacia hidrográfica, a unidade de planejamento e de avaliação natural, ideal e legal destes recursos, além de considerar a ligação íntima ao sistema superficial, que traduz a

função de regularização e preservação que estes recursos exercem sobre os ecossistemas ambientais, o que o torna um recurso renovável.

No Brasil, nas principais capitais litorâneas, é possível perceber as consequências do uso desordenado de água subterrânea, através do rebaixamento dos cones dos poços e da intrusão da cunha salina, que alteram quantitativa e qualitativamente o regime das águas nestas áreas. Para incentivar a racionalização do uso dos recursos hídricos, verifica-se a tendência da adoção de instrumentos econômicos, conforme pode ser depreendido dos trabalhos de Cepa (1997), Seroa da Motta et al. (1998), Pompeu (2000) e Mohapatra e Mitchell (2009), entre outros.

No Brasil, a Lei 9.433/97 estabelece a cobrança pelo uso de recursos hídricos como instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos. Em escala global, predominam os estudos e as experiências relacionados à cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais, com ênfase à utilização de modelos de cobrança arrecadatórios (ou *ad hoc*, cuja finalidade principal é subsidiar as ações de gerenciamento da bacia hidrográfica), embora alguns mo-

delos econômicos (fundamentados na teoria econômica neoclássica, e que objetivam atender pelo menos um dos princípios econômicos básicos, a saber, a eficiência econômica, a equidade e a autosuficiência financeira) venham sendo sugeridos (Carrera-Fernandez; Garrido, 2000; Carrera-Fernandez; Pereira, 2002; Damásio, 2004; Freire, 2005; Medeiros; Ribeiro, 2008; entre outros).

Alguns autores, como por exemplo, Kemper et. al., (2003) e Albuquerque (2004), atentam para abordagens em que se diferenciem as águas subterrâneas das superficiais, de modo que esta diferença possa ser refletida, também, no que se refere ao valor a ser cobrado pelo seu uso – por razões que variam desde a sua complexa dinâmica no ciclo hidrológico, às especificidades dos processos hidrogeológicos, ao elevado padrão de qualidade normalmente apresentado, bem como às dificuldades em reverter sua poluição –, reconhecendo a sua condição de recurso natural nobre, restrito a alguns tipos de usos.

Desta maneira, este trabalho apresenta dois modelos de cobrança pelo uso de recursos hídricos subterrâneos – o primeiro, arrecadatório, onde são definidos coeficientes de ponderação que buscam adequar os valores da cobrança às características de sazonalidade, qualidade e disponibilidade das águas subterrâneas; e o segundo, consistindo em uma aplicação da metodologia de preços ótimos (Carrera-Fernandez; Garrido, 2000) –, aplicados às águas subterrâneas de uma porção da bacia sedimentar costeira da Região do Baixo Curso do Rio Paraíba, situada na área litorânea do estado da Paraíba.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia sedimentar costeira da Região do Baixo Curso do Rio Paraíba (Figura 1), considerada como área de estudo, é caracterizada pelo embasamento de rochas metamórficas e ígneas do Complexo Cristalino Pré-Cambriano. É preenchida por sedimentos de fácies continentais e marinhas, reunidas sob a denominação de Grupo Paraíba, o qual, por sua vez, é subdividido entre as formações Beberibe/Itamaracá e Gramame. (ASUB-PB, 2009)

Economicamente, esta é a região mais desenvolvida de toda a bacia hidrográfica do rio Paraíba. Nela são encontradas as maiores áreas agrícolas do Estado, respondendo por toda a produção de lavouras de cana-de-açúcar, abacaxi, entre outras. Além disso, comporta o maior núcleo populacional do Estado, representado pela Região Metropolitana

da João Pessoa, que agrupa as cidades de Santa Rita, Bayeux, João Pessoa e Cabedelo (totalizando 976.198 habitantes).

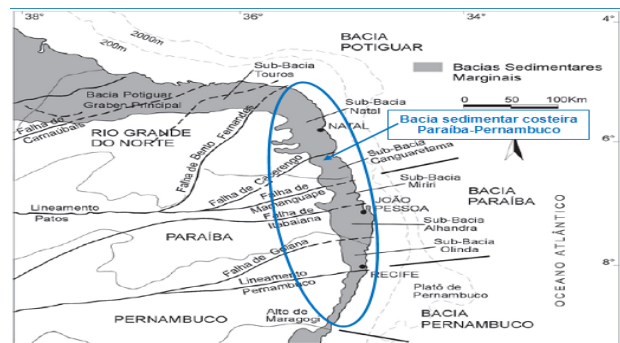


Figura 1 – Bacia Sedimentar Costeira do rio Paraíba

Fonte: Barbosa et. al., (2003)

Os usos mais expressivos de água subterrânea na área estudada são: (a) o abastecimento humano, que engloba os abastecimentos urbano, rural, comunitário e comercial; (b) o uso industrial; e (c) o uso na irrigação (AESAs, 2009).

A cobrança pelo uso da água bruta está prevista na legislação paraibana de recursos hídricos, na Lei 6.308/96 (alterada pela lei 8.446/07), que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, na Resolução 07/09 do CERH-PB. É esta Resolução que, juntamente com a Deliberação nº 01/08 do Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Paraíba (CBH-PB), subsidia o presente trabalho, no sentido de indicar, de forma genérica, os principais critérios para formulação da cobrança pelo uso da água nas bacias hidrográficas deste Estado, como por exemplo, os preços (P) por tipo de uso, o volume anual outorgado pelo órgão gestor (Vol), e um conjunto de coeficientes (K), de características específicas, que irão diferenciar a cobrança em vários aspectos.

MODELO ARRECADATÓRIO (*Ad hoc*) PROPOSTO

Tendo por fundamento a formulação básica da cobrança, definida na legislação paraibana de recursos hídricos, o modelo arrecadatório proposto consiste na definição de alguns coeficientes de ponderação, que devem refletir fatores de ordem qualitativa. As Equações 1 e 2 indicam a formulação

ção ora proposta para a cobrança pelo uso de recursos hídricos subterrâneos.

$$\text{Cobrança} = \text{Vol} \times (K_s \times K_{\text{Classe}} \times K_{\text{Disp}}) \times \text{PUR} \quad (1)$$

Onde: *Vol* é o volume anual (outorgado ou medido) (m³/ano); um conjunto de coeficientes adimensionais em que, *K_s* é o coeficiente de sazonalidade; *K_{classe}* é o coeficiente de classe de enquadramento; *K_{disp}* é o coeficiente de disponibilidade hídrica; *PUR* é o Preço Unitário de Referência, (R\$/m³). Os coeficientes aqui propostos foram definidos da seguinte forma:

- I. *Coefficiente de Sazonalidade (K_s)* – objetiva diferenciar a cobrança, de acordo com a distribuição da precipitação. Tem o(s) seu(s) valor(es) definido(s) com base no balanço hídrico (BH), calculado através do método de Thornthwaite e Mather (1955), o qual contabiliza o quantitativo hídrico de uma região através da precipitação (mm) medida em escala diária, da temperatura média diária (°C) e do balanço de energia (W/m²). Deste modo, o coeficiente assume o valor de 0,55 para o período chuvoso e de 1,83 para o período seco.
- II. *Coefficiente de Classe de Enquadramento (K_{classe})* – que diferencia a cobrança em função da classe em que a água subterrânea esteja classificada, considerando o disposto na Resolução nº 396, de 03 de abril de 2008, do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Seus valores são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1-Valores do coeficiente de Enquadramento.

Enquadramento – CONAMA – Resolução-396/08		
Classe esp.	Vazão ecológica	
Classe 1	Qualquer uso	1,5
Classe 2	Alguns usos	1,3
Classe 3	Poucos usos	1,2
Classe 4	Usos Menos restritos	1,0
Classe 5	Sem requisito de uso	

- III. *Coefficiente de Disponibilidade* – o qual tem como parâmetro de definição o Índice de Ativação da Disponibilidade (IAD), que relaciona a Disponibilidade Atual e a Disponibi-

lidade Máxima de água subterrânea (IAD = $\text{Disp}_{\text{Atual}}/\text{Disp}_{\text{Máx}}$). O IAD para a área de estudo tem o valor de 0,6, indicando que 60% da água subterrânea da área de estudo já estão sendo utilizados nos diversos usos (AESAs, 2006). Os valores dos coeficientes de Disponibilidade estão expressos na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores do Coeficiente de Disponibilidade.

IAD	K _{disp}	Categoria
0 < IAD < 0,5	1,0	Alta
0,5 ≤ IAD < 0,9	1,3	Média
0,9 ≤ IAD ≤ 1	1,5	Baixa

- IV. *Coefficiente de Investimentos* – que contempla as ações dos usuários em investimentos estruturais que beneficiem a bacia hidrográfica. Este coeficiente pode favorecer o usuário, reduzindo em até 50% o valor total cobrado anualmente, mediante a devida comprovação de despesas previamente autorizadas pelo órgão gestor (CBH-PB, 2008).

Dessa forma, a arrecadação total passível de ser auferida poderá ser escrita da seguinte forma:

$$\text{Cobrança}_{\text{Total}} = \text{Cobrança} - K_{\text{Inv}} \quad (2)$$

Onde *Cobrança_{Total}* é a arrecadação total nos períodos sazonais, em R\$/ano, *Cobrança*, é a arrecadação por período sazonal, em R\$/ano; e *K_{inv}* (R\$/ano) é o coeficiente de investimentos em ações na bacia hidrográfica, os quais são definidos a seguir (Souza, 2010).

Simulação da arrecadação usando o modelo arrecadatário proposto

Os dados do volume anual outorgado, para cada uso, foram obtidos do Cadastro de Outorgas da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs, 2009), considerando-se as outorgas vigentes e vencidas, no período compreendido entre 2001 e 2009.

A influência dos coeficientes na arrecadação fica explícita, quando comparada com os valores obtidos a partir da Equação 1 (modelo básico de

cobrança), na qual o valor do conjunto de coeficientes K seria igual a 1, conforme proposto na legislação que regulamenta a cobrança no Estado da Paraíba. Esses valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Arrecadação com aplicação do modelo básico.

Vol (out)	Uso	PUR	K	Valor
(m ³ /ano)		(R\$/m ³)		R\$/ano
4.430.653,55	Humano	0,012	1,0	173.167,84
276.968,00	Industrial	0,015	1,0	79.154,52
4.335.470,40	Irrigação	0,005	1,0	171.677,35
ARRECADAÇÃO TOTAL				423.999,71

Na Tabela 4 estão expostos os valores da arrecadação passível de ser auferida, a partir da inserção dos coeficientes através do modelo arrecadatório proposto. Percebe-se que a arrecadação usando os coeficientes propostos é cerca de duas vezes maior que aquela obtida pela formulação genérica, indicando o quanto os coeficientes podem induzir ao uso racional da água, encarecendo ainda mais esse recurso em situações em que possa ocorrer escassez, ou tornando-o mais barato quando a situação for inversa.

MODELO ECONÔMICO – APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE PREÇOS ÓTIMOS

A metodologia dos preços ótimos aplicada ao uso da água é fundamentada no custo marginal de gerenciamento e na elasticidade-preço da demanda (a qual traduz o quanto um usuário de determinado bem é suscetível a uma variação no preço deste) nos diversos tipos de usos (Carrera-Fernandez; Pereira, 2002; Hall & Liebermam, 2003). Ela induz à maximização da diferença entre os benefícios totais e os custos totais, sendo o preço ótimo representado pelo ponto onde os benefícios marginais se igualam aos custos marginais (Ferguson, 1990; Ribeiro, 2000; Thomas, 2002; Damásio et al., 2004; Medeiros; Ribeiro, 2008).

De acordo com Carrera-Fernandez e Garrido (2000), os preços ótimos pelo uso de água podem ser determinados a partir da solução do seguinte sistema de equações (aqui indicado pelas Equações 3a e 3b):

$$P_j^* = (Cmg^* |\epsilon_j|) / (|\epsilon_j| - \alpha), \forall j \quad (3a)$$

$$\sum_j \times P_j^* \times X_j - C = 0 \quad (3b)$$

Onde P_j^* é o preço ótimo da água no uso j, a ser determinado (R\$/m³); X_j é a respectiva quantidade de água demandada do sistema hídrico (m³/ano), após os investimentos programados terem sido feitos; Cmg^* é o custo marginal de gerenciamento (de racionamento) (R\$/m³); $|\epsilon_j|$ é a elasticidade-preço da demanda por água no uso j, em valor absoluto; C é o custo total do órgão gestor no gerenciamento da bacia hidrográfica (R\$/ano); e α é uma constante de proporcionalidade que reflete a diferença relativa entre custos e benefícios marginais.

Demanda “tudo ou nada”

O fato de não existirem mercados de água bruta e, desta forma, não se poder atribuir um preço para a água, impede que se ajuste diretamente uma função de demanda para a água, em cada modalidade de uso. Para superar esta impossibilidade, Carrera-Fernandez e Garrido (2000) definem a disposição a pagar dos usuários, utilizando o *Método da demanda “tudo ou nada”*, o qual capta o custo de oportunidade da água através de uma simulação onde se interrompe o fornecimento; desta forma, extrai-se o máximo valor que os usuários estariam dispostos a pagar por uma certa quantidade de água, sentindo-se indiferentes entre continuar pagando ou procurar uma solução alternativa.

A função de demanda “tudo ou nada” é ajustada através de pares de pontos, obtidos através da quantificação do preço de reserva (custo de oportunidade do recurso). A derivada da função assim encontrada representa a função de demanda ordinária ou demanda marginal, que especifica o que o consumidor compra a cada situação de preço e de renda, resolvendo o problema de maximização da utilidade (Mas-Colell et al., 1995).

A função da demanda “tudo ou nada” pode ser definida pela Equação 4:

$$P_j^r = (1 + \gamma_p) \times C_p - (1 + \gamma_m) \times C_m \quad (4)$$

Tabela 4 - Arrecadação nos períodos chuvoso e seco (modelo arrecadatário).

Período Chuvoso							
Vol (out)	Dias	Uso	PUR	Ks	Kclasse	Kdisp	Cobrança R\$/ano
(m ³ /ano)	Chuvosos		(R\$/m ³)				
7.274.630,83	184	Humano	0,012	0,55	1,5	1,3	93.624,50
2.660.170,17	184	Indústria	0,015	0,55	1,5	1,3	42.795,49
17.308.839,87	184	Irrigação	0,005	0,55	1,5	1,3	92.818,65
Total Arrecadado							229.238,64
Período Seco							
Vol (out)	Dias	Uso	PUR	Ks	Kclasse	Kdisp	Cobrança R\$/ano
(m ³ /ano)	Secos		(R\$/m ³)				
7.156.022,72	181	Humano	0,012	1,83	1,5	1,3	306.435,20
2.616.797,83	181	Indústria	0,015	1,83	1,5	1,3	140.070,65
17.026.630,53	181	Irrigação	0,005	1,83	1,5	1,3	303.797,66
Total Arrecadado							750.303,51
ARRECADAÇÃO TOTAL							979.542,15

Onde P_j^r é o preço de reserva (R\$/m³) calculado para cada tipo de uso; γ_p é o índice de perdas do sistema em uso (calculado a partir do quociente entre o volume de água disponibilizado e o volume captado), C_p é o preço (R\$/m³) da água no sistema em uso, γ_m é o índice de perdas do sistema alternativo, e C_m é o preço (R\$/m³) da água no sistema alternativo. As alternativas de substituição da água subterrânea, bem como seus respectivos índices de perdas e custos por metro cúbico são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Resumo das alternativas de substituição da água subterrânea (mais barata e mais cara), seus respectivos custos e índices de perdas.

Calculo do Preço Reserva				
		Humano	Industrial	Irrigação
Alternativa mais barata	mais	CAGEPA	Água Bruta	Água Reciclada
Alternativa mais cara	mais	Carro-pipa	CAGEPA	Água Bruta
Custos da água				
Custo da água do poço (R\$/m ³)		1,52	0,98	0,17
Alternativa mais barata (R\$/m ³)	mais	2,16	1,9,	0,30
Alternativa mais cara (R\$/m ³)	mais	10,68	2,16	1,93
Índice de Perdas do sistema				
CAGEPA		0,5064	0,5064	-
Carro-Pipa		0,00	-	-
Poço		0,10	0,10	0,10
Água Bruta		-	0,50	0,25
Água reciclada		-	-	0,15

Aplicação da Metodologia

A metodologia de preço ótimo adotada por esse trabalho requer um série de etapas de ações para se definir os valores dos preços ótimos a serem praticados para a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Definição das Funções de Demanda

O primeiro passo consiste em definir o preço reserva para cada tipo de uso, o que é feito relacionando o valor de custo da água para a alternativa em uso e para as novas alternativas consideradas, com o índice de perdas dos sistemas de abastecimento em uso, conforme Equação 4. O passo seguinte é a definição das demandas por água em cada uso, uma vez que a curva de demanda "tudo ou nada" (e, conseqüentemente, da demanda marginal) é definida através de dois pares de preços e da quantidade de água demandada e os coeficientes linear e angular β e θ das funções de demanda, calculados de acordo com as Equações 5a e 5b:

$$\beta = (x_1 p_2 - x_2 p_1) / (p_2 - p_1) \quad (5a)$$

$$\theta = (x_2 - x_1) / (p_2 - p_1) \quad (5b)$$

Onde x_1 é a quantidade demandada no sistema em uso (m³/s), x_2 a quantidade demandada na alternativa de substituição (m³/s), p_1 é o preço de reserva menor (R\$/m³) e p_2 o preço de reserva maior (R\$/m³). É notada uma redução no valor de x_2 em relação a x_1 , que reflete o aumento do preço da água na alternativa de substituição.

A Tabela 6 apresenta as funções de demandas “tudo ou nada” e ordinária encontradas para cada tipo de uso de água subterrânea na área de estudo, bem como os respectivos valores de elasticidade-preço da demanda.

Tabela 6 - Funções de demanda e elasticidade-preço da demanda por água subterrânea

Uso	“Tudo ou Nada” (m³/s)	Ordinária (m³/s)	Elasticidade
Humano	X_{ah} $0,347 - 0,013p_{ah}$	X_{ah} $0,173 - 0,006p_{ah}$	0,0255
Indústria	X_{ai} $0,303 - 0,111p_{ai}$	X_{ai} $0,151 - 0,111p_{ai}$	0,6128
Irrigação	X_i $1,093 - 0,0255p_i$	X_i $0,546 - 0,254p_i$	1,5216

Definição dos custos para a área de estudo

O fato da bacia hidrográfica do rio Paraíba não possuir um plano diretor de gerenciamento atualizado que direcione as futuras receitas resultantes da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, fez necessária a estimativa dos principais custos inerentes à área de estudo: (i) escolheram-se, no PERH-PB (AESA, 2006), alguns programas e ações, por estarem diretamente ligados à exploração racional das águas subterrâneas; (ii) atualizaram-se, pelo percentual do IGP-M acumulado de 2006 a 2009, os valores desses investimentos, uma vez que o PERH data de 2006; (iii) os valores atualizados dos programas do PERH-PB foram divididos por cinco, ou seja, o número total de comitês de bacia hidrográficas que o Estado da Paraíba poderá possuir; (iv) considerou-se o horizonte de planejamento de 13 (treze anos), uma vez que o PERH tem seu horizonte de planejamento para 2023.

Custo Total de Gerenciamento (C)

O custo total de gerenciamento (C) da bacia, é formado pelo montante de investimentos necessários à implementação da gestão de recursos hídricos na bacia (no presente caso, na área de estudo), acrescido de um valor de amortização desses investimentos e, finalmente, do custo de operação e manutenção (O&M).

Para a área de estudo, o valor dos investimentos anuais é de R\$ 191.431,58 (segunda coluna

da Tabela 7), distribuídos entre alguns programas e ações considerados fundamentais para o gerenciamento de qualquer bacia hidrográfica. O valor de amortização é obtido dividindo o valor total dos investimentos pelo fator de amortização, o qual é calculado pela Equação 6:

$$a_{n|n} = [(1+i)^n - 1] / i(1+i)^n \quad (6)$$

Onde $a_{n|n}$ é o valor anual de amortização (R\$/ano), i é a taxa de desconto (%) e n é o horizonte do projeto (13 anos).

Utilizou-se uma taxa de desconto anual de valor de 12% ao ano e um horizonte de 13 anos. A Tabela 7 apresenta os valores de investimentos e de custos de Operação e Manutenção (O&M) definidos para a área de estudo.

Tabela 7 – Investimentos e custos de O&M para a área de estudo

Discriminação	Investimentos	O&M
Plano de Bacia	650.489,40	
Sistema de Outorga	73.703,52	
Política de Cobrança	67.282,38	
Fiscalização do Uso de Água	69.795,00	
Gestão da Demanda	612.520,92	
Preservação Ambiental	1.014.819,30	
Órgão gestor e comitê de bacia		420.445,08
Monitoramento de Qualidade		823.581,00
Macromedição		1.267.477,20
TOTAL		
<i>R\$(13anos)</i>	2.488.610,52	2.511.503,28
Total R\$/ano	191.431,58	193.192,56

Custo Marginal de Racionamento (Cmg)*

Para se obter o custo marginal de racionamento da água faz-se necessário o estudo de uma série de dados pluviométricos que indique a probabilidade de ocorrência de períodos de escassez hídrica na região. Dividindo-os em um cenário pessimista e um otimista. A probabilidade (P) de racio-

namento da ordem de 10,8%. O custo marginal de racionamento é definido pela Equação 7:

$$Cmg^* = (1-P) \times CMe + P \times \sum_j \times C(x_j^0) \quad (7)$$

Em que x_j^0 é a quantidade de água racionada no uso j por unidade de tempo (m^3), $C(x_j^0)$ é o custo de racionamento da água no uso j ($R\$/m^3$), P é a probabilidade de ocorrência do racionamento (%) e CMe é o custo operacional médio ($R\$/m^3$). O custo de racionamento da água é definido com base na função de demanda ordinária para cada uso, a partir do preço de reserva, sendo calculado pela Equação 8:

$$C(x_j^0) = P \times p(x_j^* - x_j^0) + (1 - P) \times p(x_j^*) \quad (8)$$

Onde $p(x_j^* - x_j^0)$ é o preço da água no racionamento ($R\$/m^3$), $p(x_j^*)$ é o preço da água fora do racionamento ($R\$/m^3$) e P é a probabilidade de racionamento (%). Tendo sido calculado o custo unitário no racionamento $C(x_j^0)$ para cada tipo de uso, o valor médio deste custo alcançou os R\$ 2,13/ m^3 . Substituindo os valores da probabilidade P e do custo médio operacional na Equação 7, obteve-se o custo marginal de racionamento da água (Cmg^*) no valor de R\$ 0,311/ m^3 .

Tabela 8 - Valores das demandas e dos preços da água dentro e fora do racionamento.

Valores para calculo do custo marginal (Cmg^*)			
	Humano	Industrial	Irrigação
(x_j^0)	0, 228	0, 070	0, 737
(x_j^*)	0, 326	0, 100	1, 053
$p(x_j^* - x_j^0)$	8,42*	0,73*	0,75*
$p(x_j^*)$	0,51*	0,40*	0,28*

*valores determinados usando a demanda ordinária

Definição dos Preços Ótimos

A definição do preço ótimo, para cada uso, foi feita a partir da resolução do sistema de equações formado pela Equação 3a (que deve ser resolvida para cada tipo de uso j) e pela Equação 3b (a qual reflete a ação do órgão gestor dos recursos hídricos, para que o mesmo não tenha perdas nem ganhos financeiros com a implementação do instrumento da cobrança). É válido lembrar que a política de

preços ótimos busca minimizar as possíveis distorções na alocação dos recursos.

Com isto, tem-se um sistema de quatro equações (uma para cada tipo de uso de água, mais a equação restrita ao órgão gestor) e quatro incógnitas (três preços e a constante de proporcionalidade α), cuja solução fornece o conjunto de preços ótimos para a cobrança pelo uso das águas subterrâneas da bacia sedimentar costeira da Região do Baixo Curso do Rio Paraíba. A Tabela 9 apresenta os parâmetros utilizados para o cálculo dos preços ótimos.

Desta maneira, o cálculo da constante de proporcionalidade (α) é feito mediante a resolução de uma equação de terceiro grau, conforme indicado nas Equações 9 e 10.

$$81.546,78/(0,0255-\alpha) + 603.413,31/(0,6128-\alpha) + 6.499.259,48/(1,5216-\alpha) - 718.338,30 = 0 \quad (9)$$

$$\alpha^3 + 14,78\alpha^2 - 11,21\alpha + 0,25 = 0 \quad (10)$$

As raízes da Equação 10 são calculadas e, destas, a de menor valor é a que gera a solução com significado econômico, com todos os preços positivos, sendo substituída nas Equações 3a.

A menor raiz encontrada apresentou o valor de $\alpha = -14,74596669241$, levando aos seguintes preços ótimos: (i) no abastecimento humano: R\$0,0004; (ii) no abastecimento industrial: R\$0,0103; e (iii) na irrigação: R\$ 0,0241.

Tabela 9 - Parâmetros de determinação dos preços ótimos.

Uso	Demanda(m^3 /ano)	Elasticidade
Humano	10.282.678	0, 0255
Industrial	3.166.181	0, 6128
Irrigação	13.734.188	1, 5216
$Cmg^*=0,311$		$C= 418.338,30(R\$/ano)$
$(R\$/m^3)$		

Simulação da arrecadação usando o modelo econômico

A Tabela 10 apresenta os valores de arrecadação obtidos com a utilização do modelo arrecadatório básico (conjunto de coeficientes $K = 1$), com VUR definidos pela metodologia econômica.

Nas Tabelas 11a (período chuvoso) e 11b (período seco), são apresentados os valores obtidos com o modelo proposto, sendo indicadas as arrecadações

dações relativas ao período chuvoso, ao período seco e o total anual. A exemplo da simulação feita para o modelo proposto, com uso dos valores definidos pelo CERH-PB como Valor Unitário de Referência, também nesta simulação, foram considerados os valores de disponibilidade média tanto para o período chuvoso, quanto para o período seco ($K_{disp} = 1,3$), e águas enquadradas na Classe 1 ($K_{classe} = 1,5$). O que totaliza uma arrecadação anual de R\$ 2.476.145,41.

Tabela 10 - Valor da arrecadação com a implantação do modelo econômico e coeficiente de ponderação unitário.

Vol (out) (m ³ /ano)	Uso	PUR (R\$/m ³)	K	Valor R\$/ano
14.430.653,55	Humano	0,0004	1	5.772,26
5.276.968,00	Industrial	0,0103	1	54.352,77
34.335.470,40	Irrigação	0,0241	1	827.484,84
ARRECAÇÃO TOTAL				887.609,87

Tabela 11a – Arrecadação com preços ótimos - período chuvoso.

Vol (out) (m ³ /ano)	Uso	PUR (R\$/m ³)	K _s	Valor R\$/ano
7.274.630,83	Humano	0,0004	0,55	3.120,82
2.660.170,17	Industrial	0,0103	0,55	29.386,23
17.308.839,87	Irrigação	0,0241	0,55	447.385,91
ARRECAÇÃO TOTAL				479.892,96

Tabela 11b – Arrecadação com preços ótimos no período seco.

Vol (out) (m ³ /ano)	Uso	PUR (R\$/m ³)	K _s	Valor R\$/ano
7.156.022,72	Humano	0,0004	1,83	10.214,54
2.616.797,83	Industrial	0,0103	1,83	96.181,84
17.026.630,53	Irrigação	0,0241	1,83	1.464.304,70
ARRECAÇÃO TOTAL				1.570.701,052

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Comparação dos preços

Procurou-se fazer uma comparação da magnitude dos vários tipos de preços que foram defini-

dos e apresentados neste trabalho, por tipo de uso, buscando indicar aos gestores de recursos hídricos, os valores passíveis de serem adotados na formulação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos subterrâneos.

Quando comparados com os valores definidos pelo CERH-PB (e CBH-PB), os preços ótimos se comportaram de forma diferenciada para os usos no abastecimento humano e irrigação, e muito próximos do valor definido para o setor industrial, evidenciando, assim, a influência do setor de irrigação na definição dos preços do CERH.

Comparando-se os preços ótimos obtidos neste trabalho com aqueles encontrados por Carrera-Fernandez (1999a) e Carrera-Fernandez e Pereira (2002), conforme indicado na Tabela 12, verifica-se a existência de algumas diferenças, tanto quanto à ordem de grandeza dos valores (o que pode ser explicado pela diferença nos custos totais de investimentos considerados), quanto ao comportamento relativo aos usos. Embora, em todos os estudos, tenham sido obtidos os menores preços para o uso no abastecimento humano, na aplicação feita neste trabalho o maior valor corresponde ao uso na irrigação, enquanto aqueles autores obtiveram esse maior valor para o uso na indústria.

Tabela 12 - Comparação dos preços ótimos obtidos para as bacias hidrográficas dos rios Paraíba-PB, Pirapama-PE e Vaza-Barris-SE/BA.

Uso	Paraíba PB R\$/m ³	Pirapama PE R\$/m ³	Vaza-Barris SE/BA R\$/m ³
Humano	0,0004	0,00213	0,061
Industrial	0,0103	0,10411	0,175
Irrigação	0,0241	0,00224	0,173

Comparação da arrecadação passível de ser auferida

No que se refere à quantia a ser arrecadada pelo uso dos recursos hídricos subterrâneos na área de estudo, nota-se que o seu valor tende a se elevar quando considerados os seguintes fatores: (i) a inserção dos coeficientes ponderadores, os quais agregam, ao valor a ser cobrado, as especificidades hidrológicas das águas subterrâneas; (ii) a utilização dos preços ótimos, calculados com base em metodologia econômica, os quais buscam garantir a eficiência econômica (alocação equitativa) e a sustentabilidade ambiental e financeira do uso dos recursos, e,

por consequência, assumem valores maiores para aqueles usuários que utilizam maiores volumes dos recursos hídricos.

Isto explica o porquê de os valores passíveis de arrecadação, baseados nos preços ótimos, serem maiores (tanto quando os preços ótimos são adotados no modelo básico, quanto no proposto), do que aqueles calculados com os preços do CERH-PB: como o setor de irrigação apresenta a maior demanda e o menor preço do CERH-PB, a arrecadação aumenta ao serem considerados os preços ótimos. Ao mesmo tempo, isto permite o atendimento aos objetivos definidos pela Lei 9433/97, ou seja, dar ao usuário o real valor da água e induzi-lo à racionalização do uso desse recurso.

O resumo da arrecadação anual total, usando os modelos arrecadatórios básico e proposto, com os preços do CERH-PB e os preços ótimos é apresentado na Tabela 13

Tabela 13 - Resumo da arrecadação passível de ser auferida, usando os modelos arrecadatórios básico e proposto.

Resumo da Arrecadação Passível de Ser Auferida		
Arrecadação (R\$/ano)	P(CERH-PB)	P(ótimo)
Modelo Básico	423.999,71	887.609,87
Modelo Proposto	979.542,15	2.050.594,01

Relacionando-se os valores totais de arrecadação anual, com os custos totais de gerenciamento – custos de investimentos, custos de operação e manutenção, e custos de amortização considerados para a área de estudo (R\$ 418.338,30/ano), percebe-se que, se considerado o coeficiente de investimentos (K_{Inv}), o qual permite uma redução de até 50% do valor da cobrança, apenas a arrecadação resultante do modelo básico, usando os preços do CERH-PB, não atende a esses custos.

Verifica-se, ainda, que, nas demais situações, os valores de arrecadação se apresentam bastante elevados em relação aos custos totais. Isto pode ser explicado pela inexistência: (a) de um cadastro de usuários, atualizado, que permita a definição da demanda real de água subterrânea na área de estudo; e (b) do plano atualizado de bacia hidrográfica, permitindo a obtenção do valor dos investimentos e programas direcionados à gestão das águas subterrâneas dessa área.

Comparação dos impactos da cobrança

Os impactos gerados pela cobrança, em função da implantação dos preços definidos pelos modelos arrecadatórios (básico e proposto) e econômico, foram calculados em relação à tarifa de água adotada pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA, considerando-se as faixas de consumo, bem com, no custo de produção de cana-de-açúcar (tonelada) e de abacaxi (1000 frutos), conforme resumo apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Resumo dos impactos da cobrança.

Impacto Sobre	Valor R\$	PUR R\$/m ³	Valor c/cobrança	Impacto %
Conta de Água (TS)	13,20	0,012	13,32	1,136
Conta de Água (TN)	32,34	0,012	32,34	0,670
Produção de Cana-de-açúcar (1t)	34,00	0,005	34,05	0,13
Produção de Cana-de-açúcar (1t)	34,00	0,0241	34,26	0,64
Produção de abacaxi (1000 ftos)	380,00	0,005	380,05	0,01
Produção de abacaxi (1000 ftos)	380,00	0,0241	380,08	0,03

Obs.: TS = Tarifa Social; TN = Tarifa Normal.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em relação à arrecadação total, decorrente do Modelo Arrecadatório Proposto, mostram que os preços definidos pelo CERH-PB são insuficientes para cobrir os custos de investimentos e programas de gestão previstos para a área de estudo considerada (bacia sedimentar costeira do Baixo Curso do rio Paraíba-PB), quando, além dos coeficientes de sazonalidade, classe e disponibilidade, é considerado um coeficiente de investimentos (conforme previsto no artigo 9º da Deliberação nº 01/08 do CBH-PB, o qual considera um abatimento máximo de 50% do valor da cobrança

proporcional a investimentos comprovados em tecnologias que permitam o uso racional da água).

Por outro lado, a aplicação de metodologia econômica para definição de preços ótimos para a cobrança das águas subterrâneas da área de estudo, resultou em valores bastante diferenciados daqueles preços definidos pelo CERH-PB, observando-se um valor muito inferior para o uso no abastecimento humano, bem próximo para o uso industrial e muito superior para a irrigação. Isto confirma a tendência da metodologia econômica adotada em cobrar mais de quem usa mais a água, o que vem ao encontro dos objetivos da cobrança, conforme estabelecidos na Lei 9.433/97, permitindo que o instrumento de gestão seja utilizado para induzir à racionalização do uso da água.

A análise dos impactos da cobrança, calculados para os modelos arrecadatório básico e proposto – com e sem os coeficientes de ponderação, e adotando os preços do CERH e os preços ótimos calculados no modelo econômico – permite concluir que os impactos da cobrança sobre os usuários do abastecimento humano, indústria e irrigação são aceitáveis, independentemente dos modelos e dos preços considerados, indicando a viabilidade (quanto a este aspecto) da implantação do instrumento da cobrança pelo uso da água subterrânea no Estado da Paraíba.

As diferenças observadas, em relação ao resultado final de alguns preços, podem ser imputadas às estimativas feitas, tanto para as demandas quanto para os investimentos e programas a serem aplicados na área de estudo. A necessidade dessas estimativas deve-se à inexistência de dados precisos, que indiquem a real situação da exploração de água subterrânea na área de estudo, bem como à ausência de plano atualizado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba, definindo as ações de gestão a serem adotadas para essa área.

No entanto, mesmo em se dando tais diferenças, os resultados das simulações dos modelos podem se constituir em um ponto de referência para a tomada de decisão relativa à cobrança pelo uso da água subterrânea no Estado da Paraíba.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do MCT/FINEP/CT-HIDRO-IGRH, – Chamada Pública 01/2007 - Projeto ASUB - Integração dos Instrumentos de Outorga, Enquadramento e Cobrança para a Gestão das Águas Subterrâneas; ao Programa de Pós-

Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG; à CAPES, pela bolsa do Programa Nacional de Pós-Doutorado (PNPD) concedida ao terceiro autor.

REFERÊNCIAS

- AESA (2006). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (PERH). Resumo Executivo e Atlas.
- AESA (2009). Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/perh/perh>. Acesso em: 15/12/2009.
- ALBUQUERQUE, J. P. T. (2004). Sustentabilidade de aquíferos. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. São Luiz.
- ASUB – PB (2009). Integração dos instrumentos de outorga, enquadramento e cobrança para a gestão das águas subterrâneas. Relatório Técnico Parcial nº1. UFCG/UFAL/UFSM.
- BRASIL. Lei Federal nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. (2003) A estratigrafia da bacia Paraíba: uma reconsideração. Estudos Geológicos, v. 3, p. 89-108.
- CAGEPA (2009). Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Unidade de Negócios da Borborema. Comunicação Pessoal.
- CBH-PB.(2008). Deliberação nº 01, de 28 de fevereiro de 2008. Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Paraíba. CBH-PB. Aprova a implantação da cobrança e determina valores da cobrança pelo uso dos recursos hídricos na bacia do rio Paraíba, a partir de 2008 e dá outras providências.
- CEPA (1997). Canadian Environmental Protection Agency. Economic Instruments. Disponível em: <http://www.iph.ufrgs.br/posgrad/disciplinas>. (Disciplina economia do meio ambiente e dos recursos hídricos). Acesso em: 10/05/2009.
- CARRERA-FERNANDEZ, J. (1999a). Estudo de cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Pirapama: Relatório Final. Recife: Companhia Pernambucana de Meio Ambiente.
- CARRERA-FERNANDEZ, J.; GARRIDO, R. S. O (2000). Instrumento de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas: Uma análise dos estudos no Brasil. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 31, n. especial, p. 604-628.

- CARRERA-FERNANDEZ, J.; PEREIRA, R. A. (2002). Cobrança pelo Uso da Água em Bacias de Domínio da União: O caso da Bacia Vaza-Barris. In: *Anais do Fórum Banco do Nordeste de Desenvolvimento & VII Encontro Regional de Economia da ANPEC*, PR.
- CONAMA. Resolução nº. 396 de 03 de abril de 2008 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
- DAMÁSIO, J. (2004.). Efeitos da cobrança do recurso água sobre agregados da economia brasileira. Disponível em CD.
- EUROPEAN COMMUNITIES. (2008). Proteção das águas subterrâneas na Europa. A nova directiva da água subterrânea – Consolidando o Quadro Regulamentar da União Europeia. Comissão Europeia.
- FERGUSON, C. E. (1990). Teoria Microeconômica. 14^o ed., Rio de Janeiro, Editora Forense Universitária.
- FREIRE, C. C. (2005). Metodologia de cobrança pelo uso de água subterrânea. Gama Engenharia de Recursos Hídricos. Consultoria prestada ao Governo do Estado de Alagoas – Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais – SEMARHN. Maceió-AL.
- HALL, R. E. & LIEBERMAN, M. (2003). Microeconomia: Princípios e Aplicações. 1^a Edição. Editora: Thomson Learning. São Paulo – SP.
- KEMPER, K.; FOSTER, S; HECTOR; NANNI, G. M; TUINHOF, A. (2003). Economic Instruments for Groundwater Management using incentives to improve sustainability. Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools. Global Water Partnership Associate Program. GW*MATE Briefing Note Series 7. World Bank.
- MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. (2001). Microeconomic Theory. New York: Oxford University Press.
- MEDEIROS, P. C.; RIBEIRO, M. M. R. (2008). Elasticidade-preço da demanda por água e impacto no abastecimento residencial na bacia do rio Paraíba. ABRH. VII Simpósio Regional de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador-BA
- MOHAPATRA, S.P; MITCHELL, A. (2009). Groundwater Demand Management in the Great lakes Basin – Directions for New Policies. *Water Resours Manage.* p.457-475.
- PARAÍBA. Lei Estadual N°. 8.466 de 28 de dezembro de 2007. Dá nova redação e acrescenta dispositivos à Lei nº. 6.308, de 02 de julho de 1996.
- POMPEU, C. T. (2000). Fundamentos jurídicos do anteprojeto de Lei da cobrança pelo uso das águas do domínio do Estado de São Paulo. In: THAME, A. C. M. (org.) *A cobrança pelo uso da água*. São Paulo: Instituto de Qualificação e Editoração.
- RESOLUÇÃO nº 07, de 16 de julho de 2009. Secretaria de ciência e tecnologia e do meio ambiente da Paraíba – SECTMA. Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH. Estabelecem critérios, mecanismos e valores para cobrança pelo uso de água bruta de domínio do Estado da Paraíba. João Pessoa-PB.
- RIBEIRO, M. M. R. (2000). Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre - RS.
- SEROA DA MOTA, R. (2000). Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental. IPEA. Rio de Janeiro. Abril.
- SEROA DA MOTTA, R. YOUNG, C. & FERRAZ, C. A. (1998). Clean development mechanism and climate change: cost-effectiveness and welfare maximization in Brazil. IPEA/DIPES. Rio de Janeiro. August.
- SOUZA, J. A. (2010). Simulação da cobrança de água subterrânea na bacia do rio Paraíba. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande-PB.
- THOMAS, P. T. (2002). Proposta de uma metodologia de cobrança pelo uso da água vinculada à escassez. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ. Rio de Janeiro-RJ.
- THORNTONWAITE, C.W.; MATHER, J.R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p.(Publication sin Climatology, vol.VIII, n.1)

Groundwater Resources Management in The State of Paraíba: A Proposal for Water Charge Models

ABSTRACT

The use of groundwater in different human activities, mainly in agricultural ones, has grown in a disorganized manner in several places around the world. Overexploitation and the lack of specific legislation to manage the use of such resources are of concern to scholars in this field. Although the new Brazilian water resources management model prescribes the use of economic instruments to induce rational water use, there is a greater emphasis on developing water charge models for surface water resources use. Thus, this work, considering the sedimentary basin of Lower Course of Paraíba River Basin as study area, presents the conception and application of two water charge models for groundwater resources use – the first, revenue collection, where weighting coefficients are defined so as to adjust water charge values to the seasonality, qual-

ity and availability characteristics of groundwater resources; the second consisting of an optimum prices methodology application. Both models were conceived to support groundwater resources management in the State of Paraíba.

Key-words: *Economic instrument, Coastal Sedimentary Basin, Brazilian Water Resources Policy*