



QUANTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS PASSIVOS AMBIENTAIS DA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU

Ana Paula S. Camelo¹, Keila Lima Sanches², Álvaro Nogueira de Souza³, Maísa Santos Joaquim⁴

1 Engenheira Florestal, Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia - Prédio SG-12, Térreo Universidade de Brasília - Campus Universitário - Asa Norte 70910-900. Brasília – Distrito Federal. E-mail: paulaflorestal@gmail.com

2 Engenheira Florestal, doutoranda em Ciências Florestais no Departamento de Engenharia Florestal na Universidade de Brasília e Professora do Instituto Federal de Brasília. Departamento de Eng. Florestal - FT/UnB - CEP:709-900. Brasília - Distrito Federal.

3 Engenheiro Florestal. Prof. Dr. em Engenharia Florestal. Departamento de Eng. Florestal - FT/UnB - CEP:709-900. Brasília - Distrito Federal.

4 Engenheira Florestal. Profa. Dra. em Engenharia Florestal. Departamento de Eng. Florestal da Universidade Federal Rural do Semi-Árido- CEP: 70818900. Rio Grande do Norte, Campus Mossoró. Brasil.

Recebido em: 30/09/2013 – Aprovado em: 08/11/2013 – Publicado em: 01/12/2013

RESUMO

O presente artigo trata da recomposição florestal de áreas de passivos ambiental na bacia do Ribeirão Pipiripau localizada no nordeste do Distrito Federal, relativos às Áreas de Preservação Permanente - APP e Reserva Legal - RL, assim como da quantificação e valoração dos serviços ambientais relativos à quantidade e garantia de oferta de água. Para tanto, utilizou-se um Sistema de Informação Geográfica para integrar informações acerca do uso e manejo do solo na bacia. Foi analisada a estacionariedade das séries históricas da vazão e precipitação entre os anos de 1991 e 2009, quando foi instalada a estação de captação de água da concessionária local. Além disso, foi proposto um modelo hidrológico empírico para estimar o aumento da vazão de base em decorrência da melhoria do uso e manejo do solo da bacia tanto em áreas de passivo ambiental quanto em áreas agrícolas. Além disso, foi utilizado o método do custo de reposição (MRC) para valorar os passivos ambientais na respectiva bacia.

PALAVRAS-CHAVE: Passivos ambientais, quantidade de água, serviços ambientais.

QUANTIFICATION AND ECONOMIC EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LIABILITIES OF THE PIPIRIPAU RIVER BASIN

ABSTRACT

This study is about the recovering of the environmental liabilities areas in the Pipiripau river basin, located at the northeast of the Distrito Federal, as well as quantification and valuation of environmental services on the quantity and assurance

of water supply. Therefore, a Geographic Information System was used to integrate information about soil use and management in the basin. It was studied the stationarity of time series of flow and rainfall between the years 1991 and 2009 when a water abduction station. It was also proposed an empirical model to estimate the base flow increment due to the improvement of soil use and management in areas of environmental liabilities and agricultural areas. In addition, we used the method of replacement cost (MRC) to evaluate the environmental liabilities in its basin.

KEYWORDS: Environmental liabilities, water quantity, environmental services

INTRODUÇÃO

Passivos ambientais podem ser definidos como uma obrigação adquirida em decorrência de transações anteriores ou presentes, que provocaram ou provocam externalidades negativas, que devem ser indenizadas por meio de benefícios econômicos ou prestação de serviços. No Brasil as áreas que podem gerar passivos ambientais são definidas como sendo as Áreas de Preservação Permanente (APP) e as áreas de Reserva Legal (RL), quando estas são danificadas (BRASIL, 2012).

Após o desmatamento o escoamento superficial aumenta o que pode reduzir a recarga dos aquíferos, resultando na redução das vazões mínimas. Apesar de o desmatamento gerar um aumento na vazão média num primeiro momento, o desflorestamento pode reduzir o escoamento de base em longo prazo, contribuindo para a redução da oferta de água em rios não regulados (MENDONÇA et al. 2009).

A alteração do uso e manejo do solo em bacias hidrográficas prejudica o fornecimento dos serviços ambientais e principalmente dos serviços ambientais hidrológicos (PORRAS et al., 2008).

Portanto, são necessárias ações que evitem ou minimizem os impactos ambientais negativos, destacando-se as práticas conservacionistas nas áreas de produção agropecuária complementarmente à recomposição florestal. Sabendo-se que estas práticas visam ao controle das perdas de solo e de água em terras utilizadas para fins agrícolas, objetivando a minimização dos impactos ambientais sem diminuir a capacidade produtiva do solo.

Assim como a quantificação dos serviços ambientais também é importante destacar a importância de instrumentos econômicos na gestão das águas, como a valoração econômica ambiental, pois estes contribuem para o controle institucional direto sobre o acesso e uso dos recursos hídricos, na medida em que a sua oferta fica cada vez mais onerosa para atender às demandas crescentes de consumo.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar os serviços ambientais relativos à melhoria da quantidade de água, gerados pela recomposição de áreas de RL e APP na bacia do Ribeirão Pipiripau, bem como valorá-los sob o ponto de vista econômico.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na bacia do Ribeirão Pipiripau, situada na região nordeste do Distrito Federal e tem como ponto central as coordenadas 15°27'14"S e 47°27'47"W. A área de drenagem da bacia é de aproximadamente 235 km². A bacia apresenta solos bem drenados, com predominância do Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolos (CHAVES & PIAU, 2008).

Segundo CHAVES & PIAU (2008), as áreas agriculturáveis e pastagens

cobrem hoje 43% e 28% da bacia, respectivamente, e são em grande parte responsáveis pelo assoreamento do Ribeirão Pipiripau, pois raramente as práticas conservacionistas são adotadas em suas propriedades.

A bacia do Pipiripau possui duas captações de água importantes. O canal de irrigação Santos Dumont (outorga de 350l/s) e a Estação de Captação de Água da CAESB (outorga de 400l/s). Entretanto, em virtude dos longos períodos de estiagem e da qualidade da água, muitas vezes imprópria para captação, essa vem operado com uma captação de apenas 280 l/s (ANA, 2010).

Os dados diários de precipitação e vazão da bacia do Ribeirão Pipiripau foram obtidos das estações Taquara (Código ANA nº 60472100) e Frinocap (Código ANA nº 60473000), respectivamente, durante o período de 1991 a 2009. Este período foi selecionado, pois o uso do solo na bacia foi pouco alterado.

Com os dados de vazão foram gerados hidrogramas anuais e estes foram decompostos em escoamento direto e de base, visando à calibração do coeficiente de escoamento CN (NRCS, 1972).

O escoamento direto foi obtido através do filtro digital de ARNOLD & ALLEN (1999). A partir deste filtro, foi possível estimar o escoamento direto e, por subtração deste último do escoamento total, obteve-se o escoamento de base. O filtro digital usado para a estimativa da vazão de base em cada evento foi:

$$qt = \alpha qt_{-1} + 1 + \alpha 2Qt - Qt_{-1} \quad \text{Equação 1}$$

Onde qt (m³/s) é a vazão direta filtrada; Qt (m³/s) é a vazão original total; e α é o parâmetro do filtro, equivalente á 0,925. No caso da precipitação diária, os valores observados da estação Taquara foram abatidos para a área da bacia, usando a seguinte equação (TABORGA TORRICO, 1974):

$$Pa = P_0 \times 1 - (0,10 \times \log A^{25}) \quad \text{Equação 2}$$

Onde P_a (mm) = Precipitação abatida em função da área da bacia; P_0 (mm) = Precipitação observada no pluviômetro e; A (km²) = Área da bacia. Para identificar eventuais tendências e mudanças de padrões nas variáveis hidrológicas da bacia (precipitação e vazão), foi calculado o grau de estacionariedade e a homogeneidade das séries temporais segundo SALAS (1992). O grau de estacionariedade foi calculado de acordo com a equação 3.

$$tc = rN - 21 - r^2 > t_{1-\alpha/2, v} \quad \text{Equação 3}$$

Onde t_c = Valor de t calculado; $t_{1-\alpha/2, v}$ = valor de t de *Student*; r = coeficiente de correlação entre o parâmetro e o tempo analisado, e N = nº de anos da série.

Para testar a homogeneidade a serie foi dividida em duas sub-séries com tamanhos N_1 e N_2 ($N_1 + N_2 = N$), com médias y_1 e y_2 e desvio padrão s_1 e s_2 , respectivamente. De acordo com SALAS (1992) a divisão das sub-séries deve ser feita no momento hipotético de mudança, sendo no presente estudo considerado o momento em que há o início da captação de água na ETA-Pipiripau (ano 2000). A hipótese de que $y_1 = y_2$ é rejeitada se $T_s > T_{1-\alpha/2v}$. O teste estatístico T_s para mudanças em séries temporais é calculado conforme (SALAS, 1992):

$$T_s = \frac{y_1 - y_2}{S} \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}} \quad \text{Equação 4}$$

O desvio padrão agrupado (S) é dado pela equação 5 (SALAS, 1992):

$$S = N1 - 1s12 + N2 - 1s22N - 2 \quad \text{Equação 5}$$

O Número-Curva do NRCS (NRCS, 1972) da bacia, foi calculado a partir da precipitação abatida e do escoamento superficial, para cada um dos eventos significativos da série de vazões analisada.

A seleção dos eventos significativos usados na calibração (ALBUQUERQUE, 2009) foi feita usando-se três critérios simultâneos: a) ocorrência de escoamento direto por mais de um dia; b) ocorrência de picos de vazão claramente identificados no hidrograma e; c) ocorrência de chuva na data do pico do hidrograma ou nos três dias imediatamente anteriores. A equação utilizada para o cálculo do Número-Curva da bacia foi (NRCS, 1972):

$$Q = (P - 0,2S)^2(P + 0,8S) \quad \text{Equação 6}$$

Onde Q (mm) é o escoamento direto no evento, P (mm) é a precipitação total na bacia e S (mm) é o fator de abstração da bacia. Na equação 6, temos, por definição, que se $(P - 0,2S) < 0$, $Q = 0$. O número curva (CN) e o fator de abstração S são relacionados pela Equação 7 abaixo:

$$S = 25400CN - 254 \quad \text{Equação 7}$$

O CN na equação acima é suposto como tendo umidade antecedente normal (condição II, ou CNII). Para condições antecedentes secas (AMC I) ou condições mais úmidas (AMC III), o CN equivalente pode ser computado por (LINSLEY et al., 1975):

$$CN I = 4.2 CN II(10 - 0,058 CN II) \quad \text{Equação 8}$$

$$CN III = 23 CN II(10 + 0,13 CN II) \quad \text{Equação 9}$$

A classificação de umidade antecedente para cada solo época do ano está representada na Tabela 1. No presente estudo, todo o ano foi considerado como temporada de crescimento de plantas.

TABELA 1. Valores de umidade antecedente (LINSLEY et al., 1975):

Grupo de Umidade antecedente	Total precipitado de 5 dias antecedentes (mm)	
	Temporada de repouso	Temporada de Crescimento
I	< 12,68	< 35,5
II	12,68 - 27,9	35,5 - 53,25
III	> 27,9	> 53,25

Para a calibração do CNII da bacia, as equações 1-6 foram solucionadas iterativamente no computador, usando a ferramenta “atingir meta” do MS-Excel, usando os valores de P e Q observados nos eventos selecionados. O CNII médio calibrado da bacia, por sua vez, foi obtido através da média dos valores individuais de CNII, calibrados em cada evento significativo na série diária.

Com o intuito de estimar os valores de CNII da bacia para os cenários de uso

futuro, foi determinado o CNII médio ponderado da bacia com valores obtidos a partir de dados tabelados da literatura. Inicialmente os solos da bacia foram classificados de acordo com SARTORI (2004). Feito isso foi atribuído os valores de CNII a partir da combinação de uso e manejo do solo conforme NRCS (1972).

QUADRO 1. Classificação dos solos da bacia conforme o grupo hidrológico de solo.

Classe de solos encontrados na bacia	Grupo Hidrológico de Solo
Cambissolo	C
Gleissolo Háplico	D
Latossolo Vermelho Amarelo	A
Latossolo Vermelho	A
Nitossolo	B

Os polígonos hidrológicamente homogêneos foram obtidos através do cruzamento/interseção dos mapas temáticos (shapes) de pedologia e de uso e manejo do solo da bacia estudada, por meio da função intersect do ESRI-ArcGis 10.0. Em seguida, valores correspondentes de CN (NRCS, 1972) foram assinalados a cada polígono.

O valor de CNII médio ponderado (tabelado) da bacia, por sua vez, foi obtido através da seguinte equação:

$$CN\ II_{tp} = A_1 \times CN\ II_1 + A_2 \times CN\ II_2 + A_3 \times CN\ II_3 \dots + (A_X \times CN\ II_X) / A_{total}$$

Equação 10

Onde A_i (km²) = Área do polígono i; A_{total} = Área total da bacia; $CNII_i$ = valor de CNII do polígono i.

Como os valores de CNII não refletem, necessariamente, os valores reais de CNII (calibrados) da bacia, um fator de correção foi usado para corrigir os valores de CNII tabelados dos polígonos individuais do mapa de uso e manejo do solo. O fator de correção usado foi:

$$f_c = CN\ II_c / CN\ II_t$$

Equação 11

Onde f_c é o fator de correção, $CN\ II_c$ é o valor médio calibrado de CNII da bacia, e $CN\ II_t$ é a média ponderada do CNII tabelado da bacia, usando a Tabela 2. Uma vez obtido o f_c acima, foi corrigido o valor de CNII para cada um dos polígonos homogêneos.

Visando obter um modelo empírico que explicasse a relação entre as variáveis CNII e vazão de base (Q_b) na bacia do ribeirão Pipiripau nos cenários atual e futuros, uma análise de regressão linear simples foi realizada no *MS-Excel*, usando os dados médios anuais das duas variáveis. Entretanto, devido à dependência de CNII em relação à precipitação, o CNII médio anual foi normalizado pela precipitação média anual.

Semelhantemente, como o escoamento de base (Q_b) médio anual é dependente do escoamento total (Q) na bacia, o primeiro foi normalizado pelo último. Para a utilização do modelo empírico entre CNII e Q_b normalizadas nos cenários futuros de uso e manejo do solo na bacia foi necessário supor que o aumento da

evapotranspiração real das florestas implantadas na bacia será compensado pela redução de EVTr em outras combinações de uso/manejo, não afetando a recarga e o escoamento de base final. Para testar esta suposição, foram estimados os valores médios ponderados de EVTr dos usos e manejos do solo da bacia, nas condições atual e futura, usando valores de referência da literatura.

Uma análise de *outliers* foi feita nos valores médios de CNII e Q_b , de forma a reduzir as incertezas do modelo empírico e dois pontos considerados *outliers* foram retirados da análise.

Para identificar os déficits de APP ripários, foi realizado o cruzamento do *buffer* de 30m da rede de drenagem da bacia com o mapa de uso atual áreas com usos diferentes de usos nativos foram considerados como áreas de passivo ambiental. No caso dos déficits de RL (20% do total da área da propriedade menos as áreas de vegetação natural que não APP), eles foram obtidos do cruzamento do mapa fundiário com o mapa de uso do solo, propriedades que apresentassem menos de 20% de sua área recoberta com vegetação nativa foram consideradas como possuidora de áreas de passivo ambiental.

Na implantação dos cenários de RL foi considerada a função social da propriedade, bem como a existência de plano de bacia hidrográfica, plano diretor local, zoneamento ecológico-econômico, proximidade com outra RL, APP, unidade de conservação, corredor ecológico, ou outra área legalmente protegida (quando existirem).

Assim, para o estabelecimento das áreas prioritárias de recomposição da Reserva Legal na bacia, foram utilizados os seguintes critérios: a) Aptidão agrícola - Esse critério foi baseado na declividade do terreno, sendo selecionadas áreas com declividade iguais ou acima de 5 graus; b) Tipo de solo - Foram priorizadas as áreas da bacia pertencente aos grupos de solos mais vulneráveis (grupos B, C e D do NRCS); e c) Tipo de uso e manejo - Foram selecionadas as áreas que apresentaram usos que conferem um maior CNII à bacia atualmente. Neste caso, foi estabelecido o valor limite de 72,8, uma vez que esse foi o valor obtido para as áreas cultivadas e que não realizam métodos conservacionistas para solos do grupo A (predominante na bacia).

Para alterar os valores de CNII dos cenários prognósticos da bacia, os valores de CN II corrigidos das áreas com passivos ambientais de APP, previamente identificadas, foram substituídos pelos valores correspondentes de floresta de boa cobertura, após a aplicação do fator de correção.

No caso das áreas selecionadas para recomposição florestal nas RLs da bacia, o uso foi modificado para formações vegetais nativas. Não foram alterados os usos correspondentes as Vias Pavimentadas, Áreas Urbanas, Sedes e Edificações por já serem áreas consolidadas, fato que inviabiliza a sua alteração.

De acordo com a EMBRAPA (2004), as principais formas de vegetação nativa encontradas sobre as diferentes classes de solos da bacia são apresentadas no Quadro 2. Dessa forma, foram escolhidas combinações de fitofisionomias e tipos de solo que apresentassem os menores valores de CNII, de forma a maximizar a infiltração e diminuir o escoamento superficial na bacia.

QUADRO 2. Principais fitofisionomias encontradas para determinadas classes de solo no Distrito Federal (adaptado de EMBRAPA, 2004).

Classe de Solo	Fitofisionomias Encontradas
Cambissolo	Floresta Estacional Semi decídua, Cerrado <i>sensu strictu</i>
Gleissolo Háptico	Campo Limpo Úmido, Campo Higrófilo de Surgente (Buritizais) e Mata de Galeria
Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho Amarelo	Cerrado <i>sensu strictu</i> , Campo Cerrado e Floresta Estacional Semi decídua
Neossolo Quartzarênico	Cerrado <i>sensu strictu</i> e Campo Cerrado
Nitossolo	Floresta Estacional Semi decídua

Cabe ressaltar que o método desenvolvido pelo NRCS (1972) descreve como menor CNII a classe floresta que apresenta estrato arbóreo denso, com dossel contínuo. Assim, para as áreas de déficits de APP e RL foram escolhidas as fitofisionomias Floresta Estacional Semi decídua, Floresta Tropical Subcaducifólia, e Mata de Galeria, dependendo do tipo de solo listado na Quadro 2.

Além do cenário de recuperação florestal (Cenário 1) foram usados dois outros cenários de manejo do solo, nos quais os proprietários alterariam os atuais manejos utilizados nas áreas de agricultura (Cenário 2) e nas áreas de agricultura e pasto (Cenário 3), passando de agricultura convencional para plantio direto, e de pastagem degradada para pastagem recuperada (reforma do pasto), respectivamente.

O indicador utilizado para quantificar os serviços ambientais foi o incremento no escoamento de base, Q_b (em m^3/s). Este foi obtido através da aplicação direta do modelo empírico obtido entre Q_b/Q e CNII/P. Assim, o incremento de Q_b com a mudança de uso/manejo do solo na bacia, com a respectiva redução do CNII, foi então:

$$\Delta Q_b = Q_{b2} - Q_{b1} \quad \text{Equação 12}$$

Onde Q_{b1} (m^3/s) = Volume de escoamento de base médio anual nas condições atuais e Q_{b2} (m^3/s) = Volume de escoamento de base médio anual após recuperação das áreas com passivo ambiental na bacia.

Foram propostos 9 combinações de cenários climáticos e de uso de solo futuros. Para tanto, foram analisados os efeitos hidrológicos dos diferentes cenários de uso e manejo em anos secos, anos úmidos, e anos com precipitações médias. O ano seco (S) correspondeu à precipitação média da bacia menos o desvio-padrão, o (M) a precipitação média, e o úmido (U) a precipitação média mais o desvio-padrão, semelhantemente ao estudo de CHAVES & PIAU (2008). Nesse sentido, o cálculo da variação no escoamento de base considerou os valores iniciais e futuros de CNII médio da bacia, bem como os valores médios de P e Q do ano analisado (seco, médio, ou úmido).

Para valorar os serviços ambientais hidrológicos dos cenários propostos foi aplicado o método do custo de reposição – MCR (ALIPAZ, 2010). Para isso, foram considerados os custos da recomposição da APP e RL.

Os dados utilizados para aplicação do MCR foram obtidos de um projeto realizado pela EMATER/DF na bacia do Ribeirão Pipiripau. Nele não foram considerados os custos de cercamento nem o de manutenção (replanteio) e o período

de um ano foi tomado como o tempo necessário para o plantio. Para o cálculo do Cr foram considerados os seguintes custos: abertura de covas, roçagem da área, aquisição de mudas e mão de obra dos operadores. Dessa forma, o custo de reposição foi calculado a partir da seguinte equação:

$$Cr=Ci$$

Equação 13

Onde o Cr = custo total de recuperação de um passivo ambiental e Ci = custo dos insumos e serviços necessários para a recuperação da área. O ano de referência para a análise econômica foi 2006 e alguns dados de preços obtidos em 2010 foram deflacionados com o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP–DI) da Fundação Getúlio Vargas (FGV 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série pluviométrica analisada, de 1991/1992 a 2008/2009 (anos hidrológicos), foi classificada como estacionária ($t_c < t_{95\%}$) e homogênea ($T_s < t_{95\%}$), corroborando os resultados de CHAVES & PIAU (2008). A precipitação média anual para a bacia do ribeirão Pípiripau no período estudado foi de 1.253,15 mm/ano, com desvio padrão de 191,03 mm/ano. O valor médio anual da vazão no período foi de 2,36 m³/s, com desvio padrão de 0,92 m³/s. Essa série também foi considerada estacionária e homogênea de acordo com os testes de SALAS (1992).

Apesar de as séries de precipitação e vazão terem sido consideradas estacionárias no período estudado, o número de dias com escoamento direto na bacia apresentou uma tendência de aumento linear significativa ($t_c = 6,31 > t_{95\%}$). O que indica uma tendência de intensificação do uso do solo na bacia no período, contribuindo para a redução da infiltração e o aumento do escoamento superficial.

É importante ressaltar que os anos de 1994/1995 e 2007/2008 se comportaram como *outliers*, e, portanto, não foram utilizados na análise. Isto se deveu ao fato de que o CNII calibrado nesses anos foi muito inferior aos demais, além de que as precipitações foram bastante superiores à média do período.

O valor do CNII tabelado ponderado para a bacia foi de 70,65, refletindo o domínio dos latossolos e agricultura extensiva na bacia. O CNII médio calibrado obtido para o período estudado foi de 71,39, indicando que a tabela do NRCS (1972) é bastante fidedigna para a bacia estudada, podendo ser usada para a estimativa de CN em pequenas bacias semelhantes. O fator de correção para o CNII tabelado foi de 1,0105. Esse valor foi usado para corrigir os valores de CN tabelados para os diferentes cenários prognósticos de uso e manejo do solo na bacia.

Os usos antrópicos do solo (passivos) encontrados nas áreas de APP na bacia somam 305,6 ha. Os usos não naturais preponderantes dentro das faixas de APP são a pastagem e a vegetação natural alterada. Já para alocar os 1.897,59 ha de passivos ambientais em relação à RL, as áreas escolhidas foram aquelas com uso Vegetação Alterada, Cultura Irrigada, Agricultura Extensiva, Pastagem, Solos expostos e Vias não pavimentadas.

Após a conversão de todas as áreas de passivo ambiental (APP e RL – Cenário 1), o CNII da bacia passou de 71,39 para 69,22. Essa pequena diferença resultou do fato de que a área total de passivos ambientais na bacia somente representa cerca de 10% da área total da bacia. Entretanto, apesar de pequena, essa diferença pode ser considerada significativa do ponto de vista ambiental, uma

vez que essas áreas funcionarão como um corredor tampão para a rede de drenagem, além de formarem corredores ecológicos.

No Cenário 2 o CNII médio ponderado corrigido da bacia passaria de 71,39 para 64,78. A redução do CNII médio com essa ação é muito mais significativa que somente a recomposição das áreas de RL e APP, uma vez que as áreas de agricultura representam uma parcela muito maior da bacia. Já no Cenário 3, o CNII calibrado da bacia passaria a ser 59,74. No gráfico da Figura 1 é possível observar essa redução.

FIGURA 1. Comparação dos CNII calibrado no cenário 3, na situação atual e após a recuperação das áreas de passivo ambiental.

A Figura 2 abaixo indica que a correlação obtida entre as variáveis normalizadas Q_b/Q e $CNII/P$ é negativa ($r = -0,75$), apresentando um r^2 considerado mediano (0,57).

FIGURA 2. Relação obtida entre Q_b/Q e CN/P na bacia do Ribeirão Pipiripau.

De acordo com o modelo, um aumento de $CNII/P$ reduziria a relação Q_b/Q , o que representaria uma redução relativa do escoamento de base em relação ao escoamento total na bacia. Entretanto, a incerteza do modelo empírico obtido é relativamente elevada ($r^2 = 0,57$), servindo como uma indicação de tendências e comportamentos hidrológicos. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para o aumento de Q_b em função de cada um dos cenários futuros propostos. Nesta tabela, o cenário 1, não mostrou um incremento tão significativo quanto os cenários 2 e 3. Isto decorreu, pois a área das primeiras é relativamente pequena (10% da bacia) em relação às últimas (63%).

TABELA 2. Variação nas vazões de base para os cenários futuros calculados a partir do modelo empírico.

Cenário	Q_{b1} (m^3/s)	Q (m^3/s)	P (mm)	CNII (antes)	CNII (após)	Q_{b2} (m^3/s)	ΔQ_b (m^3/s)
1S	1,198	1,420	1.062,12	71,39	69,23	1,204	0,006
1M	2,038	2,358	1.253,15	71,39	69,23	2,047	0,008
1U	2,898	3,296	1.444,17	71,39	69,23	2,909	0,010
2S	1,198	1,420	1.062,12	71,39	64,78	1,216	0,018
2M	2,038	2,358	1.253,15	71,39	64,78	2,063	0,025
2U	2,898	3,296	1.444,17	71,39	64,78	2,929	0,030
3S	1,198	1,420	1.062,12	71,39	59,47	1,229	0,031
3M	2,038	2,358	1.253,15	71,39	59,47	2,082	0,044
3U	2,898	3,296	1.444,17	71,39	59,47	2,952	0,048

Q_{b1} : média da vazão de base para os anos analisados; Q_{b2} : média estimada da vazão de base após o tratamento da bacia.

Por outro lado, como os cenários 2 e 3 consideram a recuperação de toda a bacia, os incrementos da vazão de base foram os mais altos (48 l/s), em termos

absolutos. É importante ressaltar que o aumento percebido no Qb resultou de uma transferência dos volumes de escoamento superficial para o escoamento de base, supondo-se que não houve alteração na evapotranspiração real (EVTr) na bacia. A Tabela 3 apresenta a EVTr média em cada tipo de uso do solo, sob condições climáticas do Cerrado.

TABELA 3. Evapotranspiração real média provável dos usos dominantes da bacia.

	Agricultur a^a	Pasto^b	Mata^c	Cerrado^d	Total/Méd. Ponderada
Área (ha)	11.259,31	5.062,92	990,77	2.541,22	19.854,23
EVTr (mm/dia)	2,8	3,4	5,2	2,0	3,0

Fontes: ^a(GUERRA et al., 2005); ^b(SANTANA et al., 2010); ^c(DUBOC e GUERRINI, 2007); ^d(SANTANA et al., 2010).

A partir do modelo proposto e com os valores obtidos de EVTr, o aumento da água infiltrada nas áreas recuperadas da bacia gerará um acréscimo à recarga de água subterrânea, o que contribuirá para estabilizar a produção de água da bacia hidrográfica, já que os demais termos do balanço hídrico permanecem praticamente constantes.

De acordo com os resultados obtidos, o custo de reposição (MCR) na bacia do ribeirão Pipiripau seria de R\$ 4,7 milhões, tomando-se como base o ano de 2006. Esse valor representa um custo médio de R\$ 2.134,26/ha.ano.

CONCLUSÕES

1. Os passivos ambientais em relação a áreas de Reserva Legal e APP na bacia do Ribeirão Pipiripau corresponderam a 1897,59ha e 305,6ha, respectivamente.
2. Se recuperados, os passivos relativos à RL e APP na bacia estudada aumentariam o escoamento de base médio anual em 8 l/s. Adicionalmente, se fossem implantadas práticas conservacionistas nas áreas agropecuárias na bacia, o escoamento de base médio aumentaria em 44 l/s, contribuindo junto ao reflorestamento.
3. O modelo de escoamento de base adicional é válido apenas para a bacia do Ribeirão Pipiripau, uma vez que a relação obtida entre as variáveis hidrológicas é empírica, e a variação na EVTr entre os cenários atual e prognósticos foi desprezível.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Relatório de diagnóstico socioambiental da bacia do Ribeirão Pipiripau.** Brasília, 2010.

ALBUQUERQUE, A. C. L. S. **Estimativa de recarga da bacia do Rio das Fêmeas através de métodos manuais e automáticos.** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, 2009.

ALIPAZ, S.M.F. **Quantificação e Valoração Econômica dos Serviços Ambientais Redutores de Sedimentação na Bacia do Ribeirão Pipiripau.** Dissertação de

mestrado em Ciências Florestais, 2011.

ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M. Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records. **Journal of the American Water Resources Association**. 35 (2): 411-424. 1999.

BRASIL. Lei nº 12.651/2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**. Brasília, 2012.

CHAVES, H. M. L.; PIAU, L. P. Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 32, nº1, p.333-343. 2008.

DUBOC, E. , GUERRINI, I. A. Crescimento inicial e sobrevivência de espécies florestais de mata de galeria no domínio do Cerrado em resposta à fertilização. **Energia Agrícola**, vol. 22 n. 1, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA CERRADOS. **Unidade de Paisagem do Distrito Federal escala 1:100000**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Documento 124. 2004.

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS. **IGP**. Disponível em <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D92B6B6420E96>> acessado em 10 de novembro de 2010.

GUERRA, A. F., ROCHA, O. C., RODRIGUES G. C., SOUZA, P. I. M. **Método do tanque classe A para irrigação da soja cultivar Samambaia, no Cerrado**. Comunicado técnico 120. ISSN 1517-1496. 2005.

LINSLEY Jr., R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, J.L.H. **Hydrology for engineers**. New York: McGraw-Hill Book Co., Inc., 1975.

MENDONÇA, L. A. R., VÁSQUEZ, M. A. N., FEITOSA, J. V., OLIVEIRA, J., FRANCA, R., VÁSQUEZ, E. M. F., FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Eng. Sanit. Ambient.** v.14, 2009.

NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (NRCS). Hydrology. In: **National Engineering Handbook**.1972.

PORRAS, I., M. GRIEG-GRAN, AND N. NEVES. **All That Glitters: A Review of Payments for Watershed Services**. London: International Institute for Environment and Development (IIED). 2008.

SALAS, J. D. **Analysis and modeling of hydrologic time series**. Capítulo 19. In: Maidment, D. R.; Editor chefe. **Handbook of Hydrology**. Editora McGraw-Hill, Inc. 1992.

SANTANA, O. A.; CUNIAT, G.; ENCINAS J. I. Contribuição da vegetação rasteira na

evapotranspiração total em diferentes ecossistemas do bioma cerrado, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 2, 2010.

SARTORI A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos**. Campinas, Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas, 159p. 2004.

TABORGA-TORRICO, J. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro, Trasca, 1974. 120p.