

**QUANTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DO SERVIÇO AMBIENTAL
HIDROLÓGICO RESULTANTE DA RECOMPOSIÇÃO DE PASSIVOS
AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU**

ANA PAULA SILVA CAMELO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

**QUANTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DO SERVIÇO AMBIENTAL
HIDROLÓGICO RESULTANTE DA RECOMPOSIÇÃO DE
PASSIVOS AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIBEIRÃO PIPIRIPAU**

ANA PAULA SILVA CAMELO

ORIENTADOR: PROF. DR. HENRIQUE MARINHO LEITE CHAVES

CO-ORIENTADOR: PROF. DR. ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

BRASÍLIA-DF, MARÇO/2011.

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**QUANTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DO SERVIÇO AMBIENTAL
HIDROLÓGICO RESULTANTE DA RECOMPOSIÇÃO DE PASSIVOS
AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU**

ANA PAULA SILVA CAMELO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA FLORESTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.**

APROVADO POR:

Prof. Dr. HENRIQUE MARINHO LEITE CHAVES,

Professor Associado da Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Florestal – UnB,

E-mail: (ORIENTADOR)

Prof. Dr. MAURO ELOI NAPPO

Professor Adjunto da Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Florestal – UnB,

E-mail: mauronappo@yahoo.com.br (EXAMINADOR INTERNO)

Prof. Dra. CONCEIÇÃO DE MARIA A. ALVES

Professor Adjunto da Faculdade de Tecnologia – Departamento de Engenharia Civil – UnB,

E-mail: calves@unb.br (EXAMINADOR EXTERNO)

Brasília/DF, 18 de março de 2011.

FICHA CATALOGRÁFICA

CAMELO, ANA PAULA SILVA

Quantificação e valoração do serviço ambiental hidrológico resultante da recomposição de passivos ambientais na bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau. 2011.

xiii, 78p.: il., 210 x 297 mm (EFL/FT/UnB, Mestre, 2011)

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Florestal

1. Bacias Hidrográficas
2. Passivo Ambiental
3. Pagamento de Serviços Ambientais

I. EFL/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Camelo, A. P. S. (2011). Quantificação e valoração do serviço ambiental hidrológico resultante da recomposição de passivos ambientais na bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau. Dissertação de Mestrado, Publicação PPG EFL. DM-155/2011, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 78p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Ana Paula Silva Camelo

TÍTULO: Quantificação e valoração do serviço ambiental hidrológico resultante da recomposição de passivos ambientais na bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau.

GRAU: Mestre ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

Ana Paula Silva Camelo
QNL 15 BL. C APT 106
72151-613 Taguatinga – DF – Brasil.
Tel: (55-61) 92739523/35410211
paulaflorestal@gmail.com

DEDICATÓRIA

Ao vovô Camelo, vovó Alarice,

À vovó Paulina e ao vovô Sereno.

Aos meus pais e à Keila.

Vocês moram no meu coração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado força e perseverança nessa caminhada.

À minha mãe e pai pela compreensão e companheirismo. À Keila por tudo, principalmente, pela paciência.

Ao meu orientador Dr. Henrique Chaves pelas horas dedicadas à elaboração da dissertação e pelo auxílio.

Ao meu co-orientador Dr. Álvaro Nogueira de Sousa por todo o apoio e conselhos.

À CAESB, TNC e a EMATER pela cessão de dados, principalmente, à Suzana Alipaz que me ajudou a obter os dados da CAESB e ao Marcelo Matsumoto que me auxiliou com o banco de dados da TNC.

Aos meus amigos Priscila Câmara e Petrônio Diego por me auxiliarem na elaboração dos mapas. À Ana Carolina Albuquerque, Rafael Walter, Rejane Marques e à Celina Rubiano pela colaboração com os dados hidrológicos.

À Prof. Dra. Conceição Maria de Albuquerque Alves e ao Prof. Dr. Mauro Eloi Nappo por aceitarem participar da banca examinadora.

A todo o corpo docente do Departamento de Engenharia Florestal por tudo o que me ensinaram. À Alcione Martins por sua prestatividade e auxílio com as exigências do programa.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 PASSIVOS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS E SEUS IMPACTOS	3
3.2 QUANTIFICAÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS.....	8
3.3 VALORAÇÃO AMBIENTAL DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	10
3.4 PAGAMENTO POR SERVIÇO AMBIENTAL - PSA.....	12
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	13
4.2 DADOS HIDROLÓGICOS	16
4.2.1 Variabilidade Temporal das Séries Hidrológicas Históricas.....	18
4.3 CALIBRAÇÃO DO NÚMERO CURVA DA BACIA.....	19
4.3.1 Cálculo do CN Ponderado da Bacia.....	21
4.4 RELAÇÃO ENTRE CN E AS VAZÕES DE BASE NA BACIA.....	23
4.5 DETERMINAÇÃO DOS PASSIVOS AMBIENTAIS NA BACIA E CENÁRIOS FUTUROS DE USO E MANEJO DO SOLO.....	24
4.6 SELEÇÃO DAS ÁREAS DE REVEGETAÇÃO NA BACIA.....	25
4.7 DEFINIÇÃO DOS NOVOS CENÁRIOS DE USO E MANEJO DO SOLO NA BACIA.....	26
4.8 QUANTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS NA BACIA.....	28
4.9 ANÁLISE ECONÔMICA.....	29
4.9.1 Valoração dos Serviços Ambientais Hidrológicos.....	29
4.9.2 Custos de Recomposição dos Passivos Ambientais.....	30
4.9.3 Custo de Oportunidade da Terra	31
4.9.4 Custos Totais do Projeto.....	32
4.9.5 Receitas resultantes dos Serviços Ambientais.....	32
4.9.6 Critérios de Avaliação Econômica.....	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36

5.1 VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DA BACIA	36
5.2 COEFICIENTES CN TABELADO E CALIBRADO NA BACIA.....	40
5.3 ÁREAS RECUPERADAS DE APP E RESERVA LEGAL NA BACIA	44
5.4 QUANTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS	55
5.5 ANÁLISE ECONÔMICA.....	57
5.5.1 Receita após a Revegetação da Bacia.....	57
5.5.2 Custo de Reposição	59
5.5.3 Custo de Oportunidade da Terra	59
5.5.4 Pagamento por Serviço Ambiental.....	60
5.5.5 Maximização da produção dos serviços ambientais hidrológicos.....	61
5.5.6 Critérios de Avaliação Econômica de Projetos	62
5.5.7 Análise Benefício – Custo (B/C).....	65
5.6 RECOMENDAÇÕES	67
6. CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68

LISTA DE SIGLAS

ADASA – Agência Reguladora de Água e Saneamento do Distrito Federal
ANA – Agência Nacional de Águas
APP – Área de Preservação Permanente
B/C – Razão Benefício Custo
BPE – Benefício Periódico Equivalente
CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CN – Número Curva
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA – *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental)
ETA – Estação de Tratamento de Água
EVTr – Evapotranspiração Real
FAO – *Food and Agriculture Organization* (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação)
IBRAM – Instituto Brasília Ambiental
IGP-DI - Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna
MCR – Método do Custo de Recomposição
NRCS - *Natural Resources Conservation Service*
OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PDOT - Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PGIRH - Plano de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos do Distrito Federal
PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PSA – Pagamento por Serviço Ambiental
RL – Reserva Legal
SEINFRA - Secretaria de Infra-Estrutura
SEMARH - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SEMATEC - Secretaria do meio ambiente, Ciência e Tecnologia
SWAT - *Soil Water Assessment Tool*
TIR – Taxa interna de Retorno
VPL – Valor Presente Líquido
WEPP - *Water Erosion Prediction Project*
WTO - *World Trade Organization* (Organização Mundial do Comércio)
WWF – *World Wild Foundation*

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Classificação dos métodos de valoração ambiental.	10
TABELA 2. Valores de umidade antecedente (LINSLEY et al., 1975):.....	20
TABELA 3. Valores do CN II para diferentes tipos de grupo de solo e uso e manejo (NRCS, 1972 adaptado).....	22
TABELA 4. Principais fitofisionomias encontradas para determinadas classes de solo no Distrito Federal (adaptado de EMBRAPA, 2004).....	26
TABELA 5. Cenários para recomposição da bacia.	29
TABELA 6. Cenários propostos para avaliação econômica do projeto de revegetação da bacia.....	36
TABELA 7. Valores médios anuais de P, Q, Q _b , Q _d e CNII calibrados para a bacia do Ribeirão Pípiripau no período entre 1991/1992 e 2008/2009.	43
TABELA 8. Uso do solo dentro das faixas de Preservação Permanente.....	46
TABELA 9. Áreas selecionadas para recomposição florestal da Reserva Legal na bacia do Pípiripau.	47
TABELA 10. Áreas antrópicas selecionadas para recuperação florestal sob a forma de reserva legal.....	47
TABELA 11. Variação nas vazões de base para os cenários futuros calculados a partir do modelo empírico.	56
TABELA 12. Evapotranspiração real média provável dos usos dominantes da bacia...57	
TABELA 13. Valores do incremento de vazão e financeiro obtido com a revitalização da bacia.	58
TABELA 14. Custo de reposição referente à recomposição florestal das áreas de APP e RL na bacia do Ribeirão Pípiripau, relativas ao ano de 2010.....	59
TABELA 15. Custos de oportunidade da terra obtidos para o projeto de recomposição florestal na bacia do Ribeirão Pípiripau.	60
TABELA 16. Valor presente líquido e benefício periódico equivalente dos cenários propostos, ao final do 35º ano, para a bacia do Ribeirão Pípiripau.	62
TABELA 17. Resultados obtidos para o B/C dos cenários prognósticos analisados.	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Croqui da Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau (Fonte: CAESB, 2001).....	14
FIGURA 2. Mapa de uso do solo da bacia do Ribeirão Pipiripau. (Fonte: TNC, 2009)15	
FIGURA 3. Localização das Estações de Monitoramento Hidrológico na Bacia do Ribeirão Pipiripau.....	17
FIGURA 4. Função de produção ambiental, em função do esforço despendido (Adaptado de Pearce e Turner, 1990).....	30
FIGURA 5. Precipitações médias anuais do Ribeirão Pipiripau no período de 1991 a 2009.....	36
FIGURA 6. Precipitação média mensal da estação analisada para a bacia do Ribeirão Pipiripau no período de 1991/1992 a 2008/2009.	37
FIGURA 7. Vazões médias mensais do Ribeirão Pipiripau.....	38
FIGURA 8. Vazões médias anuais observadas na bacia do Ribeirão Pipiripau.....	38
FIGURA 9. Número de dias em que houve contribuição do escoamento direto na vazão do Ribeirão Pipiripau.....	39
FIGURA 10. Vazão mínima $Q_{7,10}$ na estação Frinocap - Ribeirão Pipiripau.	39
FIGURA 11. Localização dos grupos de solo na bacia do Ribeirão Pipiripau. (CAESB, 2001 adaptado)	40
FIGURA 12. Mapa das áreas com diferentes classes de CN na bacia do Ribeirão Pipiripau, elaborado a partir de dados de tabelas da literatura.	41
FIGURA 13. Comportamento da variável normalizada CN_c/P na bacia do Ribeirão Pipiripau, durante o período analisado.	44
FIGURA 14. Áreas de passivo ambiental referente às áreas de preservação permanente-APP na bacia do Ribeirão Pipiripau, mostradas em cor vermelha.....	45
FIGURA 15. Áreas de Reserva Legal da bacia do Ribeirão Pipiripau a serem recuperadas.	48
FIGURA 16. CNII da bacia do Ribeirão Pipiripau após a revegetação das áreas de RL e APP (Cenário 3).	50
FIGURA 17. Classes de CNII calibrado da bacia antes e após a implementação do projeto de recuperação de áreas de passivo ambiental.	51

FIGURA 18. CNII da bacia do Ribeirão Pipiripau após a revegetação e adoção de práticas conservacionistas nas áreas de agricultura (Cenário 4).....	52
FIGURA 19. Comparação dos CNII calibrado na situação atual e após a recuperação das áreas de passivo ambiental e implementação de boas práticas de manejo em áreas de agricultura e pastagem (Cenário 5).....	53
FIGURA 20. CNII da bacia do Ribeirão Pipiripau a revegetação e adoção de práticas conservacionistas nas áreas de agricultura e pastagem (Cenário 5).	54
FIGURA 21. Relação obtida ente Q_b/Q e CN/P na bacia do Ribeirão Pipiripau.	55
FIGURA 22. Curvas de custos e receitas referentes aos serviços ambientais hidrológicos da bacia do Ribeirão Pipiripau.....	61
FIGURA 23. Comparação do VPL (cenários) para a taxa de 6% a.a.....	63
FIGURA 24. Fluxo de caixa do Cenário 5M a uma taxa de 6% a.a.....	64
FIGURA 25. Fluxo de caixa do Cenário 5M a uma taxa de 8% a.a.....	65

RESUMO

QUANTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DO SERVIÇO AMBIENTAL HIDROLÓGICO RESULTANTE DA RECOMPOSIÇÃO DE PASSIVOS AMBIENTAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU

Autor: Ana Paula Silva Camelo

Orientador: Henrique Marinho Leite Chaves

Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal

Brasília, março de 2011.

A bacia do Ribeirão Pipiripau, localizada na região nordeste do Distrito Federal, é responsável pelo abastecimento de água de aproximadamente 14% da população do DF. O uso e manejo inadequado de áreas agrícolas e pecuárias vêm comprometendo a quantidade e qualidade de água do manancial na bacia. Diante disso, o objetivo do estudo foi estimar o passivo ambiental da bacia, relativamente às Áreas de Preservação Permanente - APP e Reserva Legal - RL, assim como quantificar e valorar os serviços ambientais resultantes de sua recomposição, 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, bem como modelos hidrológicos e econômicos. Atualmente, as áreas de passivo ambiental somam 2.203,19 ha, representando cerca de 10% do total da área da bacia. O número-curva (CNII) médio calibrado da bacia nas condições atuais foi de 71,4 passando a 69,3 após a recomposição das áreas de APP e RL. O custo de reposição estimado dessas últimas foi de R\$ 4,7 milhões em 2006, o que resultaria em um incremento médio da vazão de base de 0,010 m³/s, correspondendo a um volume adicional de 315 mil m³/ano. O valor dos serviços ambientais hidrológicos foi estimado em R\$ 3 milhões. O pagamento médio por serviços ambientais referentes à recomposição das áreas APP e RL seria de R\$285,71/ha.ano, considerando uma taxa de desconto de 8% a.a., sendo que a alternativa de maior viabilidade econômica foi a que também considera a adoção de manejo conservacionista na bacia. Caso essas práticas sejam implantadas nas áreas de agricultura e pecuária da bacia, uma vazão de base incremental de 0,044 m³/s seria obtida, correspondendo a um aumento médio de 64% em relação à vazão de base média atual.

Palavras chaves: Passivos ambientais, Número Curva, quantidade de água, pagamento por serviços ambientais.

ABSTRACT

QUANTIFICATION AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE HYDROLOGICAL SERVICES RESULTING FROM THE RECLAMATION OF ENVIRONMENTAL LIABILITIES IN THE PIPIRIPAU RIVER BASIN

Author: Ana Paula Silva Camelo

Supervisor: Henrique Marinho Leite Chaves

Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal

Brasília, March 2011.

The Pípiripau river basin, located in the northeast of Distrito Federal, is responsible for the water supply of 14% of the Distrito Federal population. The inadequate use and management of agricultural and cattle-raising areas are compromising the quality and quantity of water. Therefore, the aim of this study was to estimate the environmental liabilities of the basin, related to the Permanent Preservation Areas - APP and Legal Reserve - RL, and also quantify and evaluate the environmental services resulting from its restoration and that are related to water quantity and the assurance of water supply. Therefore, were used a Geographic Information System to integrate information about the soil use and management, and also economic and hydrological models. Nowadays, the areas of environmental liabilities (2,203.19 ha) represent approximately 10% of the total watershed area. The average calibrated curve-number (CNII) of the basin under the current conditions was 71.4 rising to 69.3 after the recovery of APP and RL areas. The estimated replacement cost of those areas was R\$ 4.7 million in 2006, their recovering would result in an average increase of 0.010 m³/s of the base flow which corresponds to 315 thousand cubic meters per year. The economic valuation of hydrological services were about R\$ 3 million. The average payment for environmental services related to the recovery of APP and RL areas would be R\$285.71 per hectare considering a 8% annual rate, and the alternative that showed the best economic feasibility was the one that also considered in the agriculture and cattle-raising areas. If those practices were adopted in the river basin, the base flow would rise up to 0.044m³/s, which corresponds to 64% over the current average base flow.

Keywords: Environmental liabilities, Curve Number, water quantity, payment for environmental services.

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, instituída pela Lei nº 9.433/97, estabelece a bacia hidrográfica como locus de planejamento e gestão. De acordo com esta Lei, as políticas públicas a serem aplicadas na bacia devem integrar a gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental. Entretanto, muitas das ações ainda se limitam às fronteiras políticas, reduzindo sua eficácia.

Além disso, a bacia hidrográfica inclui águas superficiais e subterrâneas, solo, vegetação e os animais que a habitam assim como humanos e seus impactos antrópicos, uma vez que as atividades desenvolvidas no seu interior têm influência sobre a quantidade e qualidade da água (CRUZ e LIMA, 2007).

As áreas de proteção e conservação ambiental previstas no Código Florestal (Lei nº 4.771/1965) que se encontram deficitárias nas propriedades são consideradas como áreas de passivos ambientais. De acordo com Ribeiro e Lisboa (2000), a ausência dessas áreas provoca danos ao meio ambiente e estes devem ser indenizados através da entrega de benefícios econômicos ou prestação de serviços. Um dos danos causados mais importantes é a alteração na quantidade e qualidade da água nas bacias.

Segundo Felfilli *et al.* (2000), as Áreas de Preservação Permanente - APP referente aos corpos hídricos são frequentemente as matas de galeria, sendo essas áreas necessárias não apenas para a conservação das espécies vegetais e da fauna nativa, mas também para manutenção da qualidade e quantidade da água.

Estudos feitos por Albuquerque (2009b) e Alípez (2010) mostram que na Bacia do Ribeirão Pípiripau há uma grande área de passivo ambiental, principalmente, em relação a áreas de Reserva Legal - RL e Áreas de Preservação Permanente - APP, as quais contribuem para a redução da quantidade e qualidade da água. Além disso, Chaves (2004b), Camelo (2008) e Mendes (2009) concluíram que o uso e manejo do solo na bacia não são adequados, uma vez que predominam o preparo convencional do solo e as pastagens degradadas. Assim, verifica-se a necessidade de ações voltadas a mudar este quadro.

Outro problema verificado na Bacia do Ribeirão Pipiripau é a pressão sob os recursos hídricos por conta do crescimento da demanda local. Neste contexto, destacam-se a Resolução nº293 de 2006 da Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – ADASA, e a Resolução nº127 da Agência Nacional de Águas – ANA. Estas estabelecem procedimentos e critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos na bacia, com a finalidade de definir as vazões de restrições para cada trecho do corpo hídrico, buscando assim mitigar os conflitos existentes entre os principais setores usuários, que são o abastecimento humano, a irrigação e o meio ambiente.

Diante do exposto, são necessárias medidas de recomposição dos passivos ambientais da bacia do Ribeirão Pipiripau, que impliquem na geração de serviços ambientais hidrológicos, tais como a redução do escoamento direto e a regulação do escoamento de base.

2. OBJETIVOS

O presente estudo teve como principal objetivo avaliar os serviços ambientais relativos à melhoria da quantidade de água, gerados pela recomposição de áreas de Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente na região da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau, bem como valorá-los sob o ponto de vista econômico.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

No âmbito da bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau foram propostos os seguintes objetivos específicos:

1. Calibrar o Número Curva da bacia na condição atual e após a recuperação dos passivos ambientais da bacia.
2. Determinar, dentro das áreas de passivo ambiental da bacia, as áreas prioritárias para a implantação de um projeto de recuperação ambiental.
3. Propor novos cenários de uso e manejo do solo da bacia para mitigar os impactos observados.
4. Quantificar os custos de recuperação dos passivos ambientais da bacia.
5. Estimar os serviços ambientais hidrológicos promovidos pelas Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal da bacia, e por boas práticas de uso e manejo do solo;

6. Estimar o valor do pagamento por serviços ambientais aos produtores participantes.
7. Analisar a viabilidade econômica dos cenários de recuperação propostos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PASSIVOS AMBIENTAIS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS E SEUS IMPACTOS

Apesar de ser um termo abrangente, pode-se definir passivo ambiental como uma obrigação adquirida em decorrência de transações anteriores ou presentes, que provocaram ou provocam danos ao meio ambiente ou a terceiros, de forma voluntária ou involuntária, os quais deverão ser indenizados através da entrega de benefícios econômicos ou prestação de serviços em um momento futuro (EPA, 1996; RIBEIRO e LISBOA, 2000; GALDINO *et al.*, 2002).

O passivo ambiental insere-se no âmbito social por se tratar de uma exigência legal que responsabiliza o autor do dano a reparar ou mitigar prejuízos de cunho social ou privado, provocados direta ou indiretamente através das externalidades provocadas no meio ambiente (EPA, 1996).

Segundo a EPA (1996), existem várias técnicas para se estimar um passivo ambiental, as quais têm sido desenvolvidas e aplicadas em combinação para cada tipo de passivo ambiental: técnicas atuariais, julgamento profissional, engenharia de estimação de custos, técnicas de análises para a decisão, modelagem, técnicas de cenários, e métodos de valoração.

Quanto às técnicas para estimativa do dano relativo ao passivo ambiental, a Agência americana destaca uma variedade de técnicas utilizadas, tais como: conformidades, remediações, multas e penalidades, compensações, indenizações punitivas e danos em recursos naturais. No caso do Brasil, adota-se predominantemente a técnica de multas e penalidades, principalmente por meio da aplicação da Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/1998). Além disso, o Código Florestal (Lei 4.771/1965) define as áreas que podem gerar passivos ambientais, que são as áreas de Reserva Legal e as Áreas de Preservação Permanente.

As Áreas de Preservação Permanente (APP) são áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. O regime de proteção das APPs é bastante rígido: a regra é a intocabilidade, admitida excepcionalmente a supressão da vegetação apenas nos casos de utilidade pública ou interesse social previsto em lei (RANIERI, 2004).

As Reservas Legais (RL), também são definidas pelo Código Florestal Brasileiro e são áreas localizadas no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção de fauna e flora nativas.

O Art. 16 da Lei 4.771/65 define os percentuais de RL que as propriedades rurais devem ter: no mínimo 80% na propriedade rural situada em área de floresta localizada na Amazônia Legal, 35% na propriedade rural situada em área de cerrado localizada na Amazônia Legal, 20% na propriedade rural situada em área de floresta ou outras formas de vegetação nativa localizada nas demais regiões do País; e 20% na propriedade rural em área de campos gerais localizada em qualquer região do País.

De acordo com Albuquerque (2009b), as APPs e RL são extremamente importantes e necessárias para geração dos serviços ambientais, indispensáveis para os seres humanos, e para a conservação da natureza. Em seu estudo, o autor concluiu que as APPs referentes aos corpos hídricos dentro da bacia do Ribeirão Pipiripau representam cerca de 1.080 ha, sendo que aproximadamente 306 ha estão em desacordo com o Código Florestal, considerados assim passivos ambientais. Além disso, a área de passivo ambiental referente à RL na bacia representa um total de 1.897,59 ha.

Segundo Ranieri (2004) a Reserva Legal exerce seis importantes funções ecossistêmicas, tais como: manutenção dos fragmentos existentes, proteção de áreas com maior suscetibilidade à erosão, aumento dos fragmentos florestais existentes, aumento das áreas das faixas de vegetação ao longo dos corpos d'água, proteção das cabeceiras das bacias e redução das distâncias entre os fragmentos florestais.

Além disso, a manutenção da qualidade da água em microbacias agrícolas depende também da presença de mata ciliar ou mata de galeria, sendo que a remoção destas matas resulta num aumento da quantidade de nutrientes no curso d'água. O efeito benéfico da presença da mata é devido à absorção de nutrientes do escoamento subsuperficial pelo ecossistema ripário (MUSCUTT *et al.*, 1993).

Os resultados obtidos por Sabará (1999), Fonseca (1984) e Rovira (1978) sugerem que o ecossistema florestal consegue reter mais eficientemente os nutrientes em relação aos ecossistemas agrícolas, impedindo que estes fluam em demasia para os cursos d'água por escoamento, o que pode comprometer a qualidade dos recursos hídricos. Além de que a floresta contribui consideravelmente para a regularização da vazão de água.

De acordo com Tucci (2002), há vários estudos que relataram tanto o aumento quanto a diminuição das vazões mínimas após o desmatamento da bacia hidrográfica, o que está intimamente relacionado com as alterações na superfície do solo após o desmatamento. De acordo com o autor, após o desmatamento, o escoamento superficial aumenta, reduzindo a recarga dos aquíferos, resultando na redução das vazões mínimas.

Apesar do desmatamento gerar um aumento na vazão média num primeiro momento, o desflorestamento tende a reduzir o escoamento de base a longo prazo, contribuindo para a redução da oferta de água em rios não regulados (BOSCH E HEWLETT, 1982; BRUIJNZEEL, 1990; TUCCI e CLARK, 1997).

Segundo McCulloch e Robinson (1993), os estudos experimentais utilizados em bacias hidrográficas para avaliar o impacto das modificações físicas sobre as vazões podem ser classificados em três grupos: estudos de correlação, estudos em uma bacia única (situação antes e após as intervenções) e estudos experimentais com pares de bacias. Hibbert (1967) realizou uma revisão abrangendo os três grupos de estudos para avaliar a produção de água em florestas submetidas a diversos tratamentos e concluiu que as respostas hidrológicas são bastante variáveis e em grande parte imprevisíveis, devido ao grande número de fatores alterados, que variam de região para região.

No entanto, Bormann *et al.* (1968) e Cassol *et al.* (2008) afirmam que a remoção da vegetação gera perda significativa dos nutrientes do solo, uma vez que há o aumento do

escoamento superficial, considerado como o principal responsável pelo dinamismo da erosão mecânica em bacias de drenagem. .

Dessa forma, a supressão de APPs e das RLs na bacia do Ribeirão Pípiripau contribuiu para o aumento do processo erosivo, do escoamento superficial e do aporte de sedimentos (CHAVES, 2004b; CHAVES, 2008; CAMELO, 2008 e ALÍPAZ, 2010).

É importante destacar que na bacia do Ribeirão Pípiripau, a técnica de plantio direto ainda é bastante incipiente, e mesmo as práticas de conservação do solo tradicionais parecem não estar sendo adotadas pela maioria dos produtores, uma vez que foram registrados vários pontos de erosão em sulcos, focos de erosão e voçoroca próximas aos pontos de captação (CBH PARANAÍBA, 2005).

Em 2001, já haviam sido verificados na bacia do Pípiripau processos erosivos, desbarrancamento e assoreamento em 40% das propriedades, principalmente devido à ausência de práticas conservacionistas. Em 25% dos estabelecimentos estudados, foi registrada a supressão de matas de galeria com a alteração do uso do solo, em geral coincidindo com as ocorrências de desbarrancamentos e assoreamento. (CAESB, 2001).

A má gestão dos recursos da bacia do Ribeirão Pípiripau foi diagnosticada em estudo feito por Mendes (2009), que utilizou um indicador de intensidade de uso da terra (LUI), a partir de imagens de satélites multi-temporais. De acordo com o estudo, a intensidade de uso da terra na bacia triplicou entre 1953 e 2006, devido à substituição de áreas com vegetação nativa por áreas de agricultura, pastagem, solo exposto e áreas urbanas.

Alipaz (2010), avaliando o aporte de sedimento na bacia, constatou que chegam ao curso d'água 31,7 mil toneladas de sedimento por ano, principalmente como consequência do mau uso e manejo do solo da bacia.

Neste contexto, a partir de uma simulação realizada por Chaves *et al.* (2004b), caso houvesse a adoção generalizada de práticas conservacionistas nas propriedades na bacia do Pípiripau, o aporte de sedimento seria reduzido em até 73%, gerando uma diminuição semelhante no custo de tratamento de água, além de outros benefícios econômicos e ambientais.

Desta forma, constata-se que as práticas conservacionistas nas áreas de produção agropecuária são importantes e complementares à recomposição florestal. 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. As práticas podem ser de caráter edáfico, vegetativo ou mecânico (BERTONI e LOMBARDI, 1995).

As práticas de caráter edáfico incluem os controles das queimadas, adubação adequada e calagem do solo. Já as práticas de caráter vegetativo se dividem em florestamento e reflorestamento, cobertura do solo com pastagem, cultivo em contorno, cultivo em faixas, cordões de vegetação permanente, faixas de retenção, uso de cobertura morta, rotação de culturas e o cultivo mínimo do solo. Por fim, as práticas de caráter mecânico envolvem a construção de estruturas de terra ou outros materiais, visando à interceptação ou diminuição da energia do escoamento superficial (BERTONI e LOMBARDI, 1995).

De acordo com Cogo *et al* (1984) a cobertura do solo associada ao seu manejo é o fator mais importante que influencia as taxas de infiltração e de escoamento da água da chuva devido à possibilidade de selamento dos poros na superfície em solos descobertos.

O preparo de solo convencional elimina a cobertura e o deixa sujeito à ação da energia de impacto das gotas de chuva e dessa forma esse tipo de manejo pode propiciar o selamento superficial (TACKETT e PEARSON, 1965). Este ocasiona redução da taxa de infiltração de água e aumento do escoamento superficial em relação ao plantio direto (COGO *et al.*, 1984; BERTOL *et al.*, 1997a).

No plantio direto, pelo fato de conservar a cobertura do solo por resíduos culturais, mantém a infiltração de água no solo em níveis mais elevados que nos preparos convencionais (COGO *et al.*, 1984).

Já para a recuperação de APPs, devem ser utilizados métodos como os sugeridos por Felfilli *et al.* (2000), tais como plantios em linhas paralelas ou perpendiculares as

margens do córrego, alternando-se as linhas com espécies pioneiras, secundárias, e clímax.

Já de acordo com Kobiyama *et al.* (2001), as técnicas mais adequadas para recuperação das áreas de RL levam em conta o estabelecimento de um povoamento florestal com espécies nativas. Para tanto, é necessário identificar as espécies vegetais de ocorrência regional por meio de um levantamento florístico, alternando espécies pioneiras, secundárias e clímax.

Além do plantio das mudas de espécies nativas nas áreas recuperadas, é necessária uma condução adequada da nova floresta, através de práticas como o controle de espécies invasoras, formigas e confecção de aceiros. (CHABARIBERY *et al.*, 2008)

3.2 QUANTIFICAÇÃO DE SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS

Segundo o Instituto Socioambiental – ISA (2009) os serviços ambientais são definidos como funções ecológicas e processos que asseguram o equilíbrio dos ecossistemas e possibilitam a sobrevivência e o bem-estar de todas as espécies no planeta. Eles são bens produzidos e proporcionados pelos ecossistemas, incluindo alimentos, água, combustíveis, recursos naturais e recursos genéticos. Os serviços resultantes da regulação e purificação da água são considerados serviços ambientais hidrológicos. A existência desses serviços depende diretamente da conservação e preservação ambiental, bem como de práticas que minimizem os impactos das ações humanas sobre o ambiente.

A quantificação prévia dos serviços ambientais hidrológicos em bacias, resultante de mudanças do uso e manejo do solo, pode ser feita por meio de modelos matemáticos. Esses podem ser modelos de simulação contínua como, por exemplo, modelos WEPP e SWAT, ou modelos empíricos. (CHAVES e NEARING, 1991; MERCURI *et al.*, 2009).

O modelo WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) é um modelo baseado em processos hidrológicos fundamentais de precipitação, infiltração e escoamento superficial, os processos erosivos básicos de destacamento, transporte e deposição, tanto em vertentes como em bacias hidrográficas. Por se tratar de um modelo semi-

determinístico, ele também pode ser aplicado às condições brasileiras, desde que os arquivos de entrada de dados sofram adaptações e modificações para que reflitam as nossas condições (CHAVES, 1996a).

Entretanto, trata-se de um modelo relativamente complexo e requer dados raramente disponíveis em países em desenvolvimento (ANGULO FILHO *et al.*, 1992; CHAVES, 1996a). Além disso, Chaves e Nearing (1991) concluíram que as incertezas inerentes aos parâmetros e às variáveis do modelo WEPP podem se propagar de forma significativa até as suas predições, limitando sua aplicação e o processo de tomada de decisão.

Já o SWAT (*Soil Water Assessment Tool*), capaz de simular o escoamento superficial, as vazões líquida e sólida e o transporte de nutrientes em bacias, é um modelo semi - distribuído de simulação contínua. Entretanto, a maior limitação ao uso desse modelo é a dificuldade em trabalhar a grande quantidade de dados que descrevam a heterogeneidade dos sistemas naturais e a escassez destes dados em bacias brasileiras (MERCURI *et al.*, 2009).

De acordo com Blackie e Eeles (1995), em sistemas complexos, como é o caso de uma bacia hidrográfica, é impossível obter uma representação completa de cada processo associado ao ciclo hidrológico. Assim, os modelos hidrológicos buscam a simplificação de uma realidade complexa por meio da utilização apenas dos aspectos de maior importância envolvidos nos processos hidrológicos.

Por outro lado, modelos mais simples podem ser de grande valia quando há limitação de dados locais. E apesar dos processos físicos simples poderem ser descritos precisamente, a maioria dos processos complexos requer suposições, simplificações, agregações e algum grau de empirismo na sua formulação (FERREIRA e SMITH, 1988).

Nesse sentido, a aplicação de métodos empíricos para a predição de fenômenos hidrológicos somente deve ser considerada como uma primeira aproximação, devendo ser posteriormente corrigida com base na avaliação mais aprofundada do sistema (BELTRAN *et al.*, 1988).

3.3 VALORAÇÃO AMBIENTAL DOS RECURSOS HÍDRICOS

A escassez dos recursos hídricos no planeta e a competitividade do mercado são temas cada vez mais frequentes nas discussões do setor de gestão de recursos hídricos e saneamento, tanto sob o aspecto físico, devido à escassez pelas condições geográficas e climáticas, quanto sob o aspecto econômico/financeiro, na medida em que a sua oferta fica cada vez mais onerosa para atender às demandas crescentes de consumo. (RAMOS e BORGES, 2001).

Para fazer frente a isso, o controle institucional direto sobre o acesso e uso dos recursos hídricos vem sendo feito a partir da outorga, a qual necessita de instrumentos econômicos que tem como função induzir os agentes econômicos a comportarem-se de acordo com padrões socialmente desejados. Dentre estes, destaca-se a valoração econômica ambiental muito utilizada na gestão das águas (Lei nº 9.433/1997; BANCO MUNDIAL, 1998).

Hanley e Spash (1993) fazem uma distinção dos métodos de valoração econômica ambiental em dois grupos: i) os diretos e ii) os indiretos, assim como pode ser visto na Tabela 1.

TABELA 1. Classificação dos métodos de valoração ambiental.

CLASSIFICAÇÃO	MÉTODOS	ESTIMATIVA		
		Direta	Indireta	
Função de Demanda	Mercado de Bens		X	
	Complementares		X	
	Valoração Contingente	X		
Função de Produção	Produtividade Marginal		X	
	Custo de Oportunidade		X	
	Mercado de Bens	Custos Evitados		X
		Custos de Controle		X
		Custos de Reposição		X

Fonte: Motta (2006) adaptado por Alipaz (2010).

Uma das técnicas de valoração largamente utilizada é o método da função de produção. Neste método, observa-se o valor do recurso ambiental E pela sua contribuição como insumo ou fator na produção de um outro produto Z, isto é, o impacto do uso de E em uma atividade econômica. Assim, estima-se a variação de produto de Z decorrente da variação da quantidade de bens e serviços ambientais do recurso ambiental E utilizado na produção de Z. Este método é empregado sempre que é possível obterem-se preços de mercado para a variação do produto Z ou de seus substitutos. Duas variantes gerais podem ser reconhecidas: o método da produtividade marginal e o método dos bens substitutos (MOTTA, 1997).

Segundo Nogueira *et al.* (2000), o método de produtividade marginal atribui um valor ao uso da biodiversidade relacionando a quantidade, ou qualidade, de um recurso ambiental diretamente à produção de outro produto com preço definido no mercado. Mas é preciso ressaltar que este método acaba estimando apenas uma parcela dos benefícios ambientais, e os valores tendem a ser subestimados. A função de produção capta apenas valores de uso direto e indireto do recurso ambiental. Valores de opção e valores de existência, como a preservação das espécies, não fazem parte das estimativas.

Além disso, de acordo com Pearce (1993) e Nogueira *et al.* (2000), o método Custo de Reposição (MCR), que é uma forma indireta, apresenta uma das idéias intuitivas mais básicas quando se pensa em prejuízo, ou seja, a reparação por um dano provocado. Pearce (1993) afirma que o MCR é freqüentemente utilizado como uma medida do dano causado. Essa abordagem é correta nas situações em que é possível argumentar que a reparação do dano gerará benefícios, quaisquer que sejam estes. É o caso do padrão de qualidade da água: os custos para alcançá-lo são uma proxy dos benefícios que esse padrão proporciona à sociedade.

Alipaz (2010) utilizou o MCR para valorar os serviços ambientais redutores de sedimentação na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau, considerando três cenários distintos, envolvendo a recomposição de áreas de preservação permanente, de áreas de reserva legal, e a utilização de plantio direto nas áreas agrícolas. De acordo com a autora, as reduções observadas no aporte de sedimento médio anual na bacia seriam de 16%, 20% e 59,2% nos três cenários, respectivamente. Entretanto, poucos estudos sobre

valoração dos serviços ambientais relativos ao aumento da oferta de água existem no país e, mais especificamente, na bacia do ribeirão Pipiripau.

3.4 PAGAMENTO POR SERVIÇO AMBIENTAL - PSA

Para Organização Mundial do Comércio (WTO), os serviços ambientais são definidos como serviços prestados por ecossistemas (por exemplo, o sequestro de carbono) ou como atividades humanas (por exemplo, gestão de águas residuais), visando à solução de problemas ambientais específicos (UNCTAD, 2009).

Atualmente, a maioria dos programas de PSA tem centrado em serviços hídricos. Esse fato reflete tanto a urgência de abordar questões da água em muitos países em desenvolvimento como a relativa facilidade com que os beneficiários dos serviços de água podem ser identificados, uma vez que se encontram a jusante das atividades implementadas visando à minimização de efeitos negativos. No entanto, a principal dificuldade encontrada em relação aos programas de PSA é a aplicação de métodos de valoração do serviço ambiental (WWF, 2003; BANCO MUNDIAL, 1998; NOGUEIRA *et al.*, 2000).

O primeiro país a implantar um sistema de PSA eficiente foi os Estados Unidos. Para atender aos padrões do *Safe Drinking Water Act* de 1986, os gestores de água de Nova York optaram por adquirir e recuperar áreas da bacia de Castkill, um manancial situado ao norte da cidade, ao invés de construir uma nova estação de filtração de água, que custaria US\$ 6 bilhões. O plano de proteção ambiental que garantiu a qualidade da água e evitou a necessidade de filtragem custou apenas US\$ 1,5 bilhão e teve duração de 10 anos (The Catskill Center, 2009).

Em 1989, o Canadá iniciou o Programa de Cobertura Vegetal Permanente, com o objetivo de reduzir a deterioração do solo de terras de cultivo com alto risco de danos, por meio da manutenção de cobertura permanente de gramíneas e árvores (*The Permanent Cover Program*, 2011).

Na América Latina, segundo a FAO (2010) entre os programas de PSA com cunho hidrológico, podem ser citados o *Pagamento por Serviços Ambientais* (Costa Rica), o

Pagamento para o Programa de Serviços Ambientais Hidrológicos (México) e os Pagamentos por Serviços Ambientais (El Salvador).

No Brasil, a Agência Nacional de Águas-ANA desenvolveu uma metodologia de quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras, denominado “Programa do Produtor de Água”. De acordo com esse programa, o produtor recebe um incentivo financeiro para implantar boas práticas de manejo do solo, minimizando os processos de erosão e sedimentação nas propriedades e bacias. Esse valor é obtido a partir do cálculo do percentual de abatimento de erosão, assim como do custo de oportunidade da medida adotada (CHAVES *et al.* 2004a).

A primeira iniciativa brasileira para implantar o Programa Produtor de Água - ANA foi o município de Extrema, em Minas Gerais, onde quatro metas básicas foram definidas: adoção de práticas conservacionistas na propriedade; implantação de sistemas de saneamento ambiental; implantação e manutenção das Áreas de Preservação Permanente; e averbação da Reserva Legal em cartório (ANA, 2010).

A ANA visa também implantar o Programa Produtor de Água na bacia do ribeirão Pípiripau, seguindo a mesma filosofia original, de abatimento da sedimentação (ANA, 2010). Entretanto, se comprovados os serviços ambientais relativos à quantidade de água na bacia, é possível que o Programa seja estendido a essa modalidade.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na bacia do Ribeirão Pípiripau, situada na região nordeste do Distrito Federal, com seu terço superior situado no Estado de Goiás, conforme mostra a Figura 1. A bacia tem como ponto central as coordenadas 15°27'14"S e 47°27'47"W. Sua altitude varia de 905 a 1.225 metros e sua área é de aproximadamente 235 km², fazendo parte da bacia do rio Paranaíba. A bacia apresenta declividade média de 5,8% e solos bem drenados, com predominância do Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Cambissolos (CAESB, 2001).

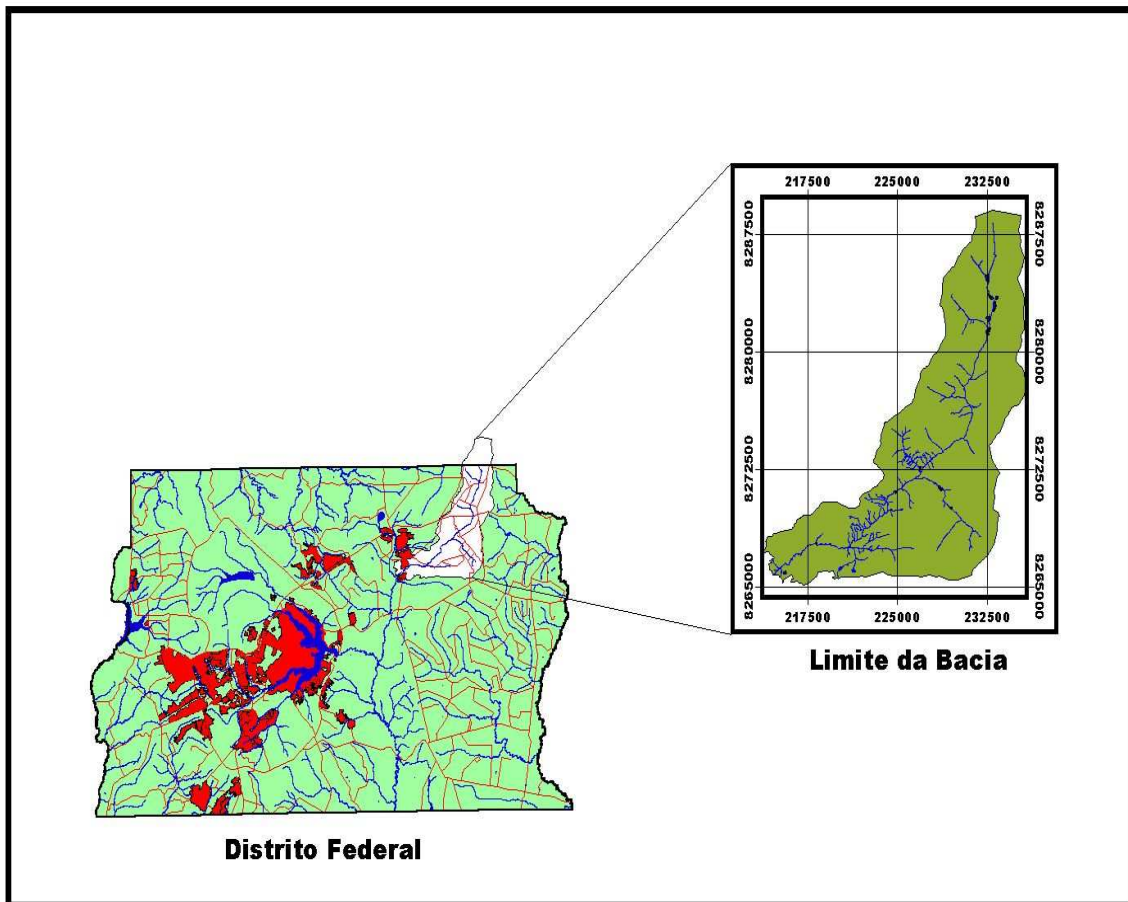


FIGURA 1. Croqui da Localização da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pípiripau (Fonte: CAESB, 2001).

Segundo Chaves e Piau (2008), as áreas de agricultura e pastagens cobrem hoje 43% e 28% da bacia, respectivamente, e são em grande parte responsáveis pelo assoreamento do Ribeirão Pípiripau, pois raramente as práticas conservacionistas são adotadas em suas propriedades (Figura 2).

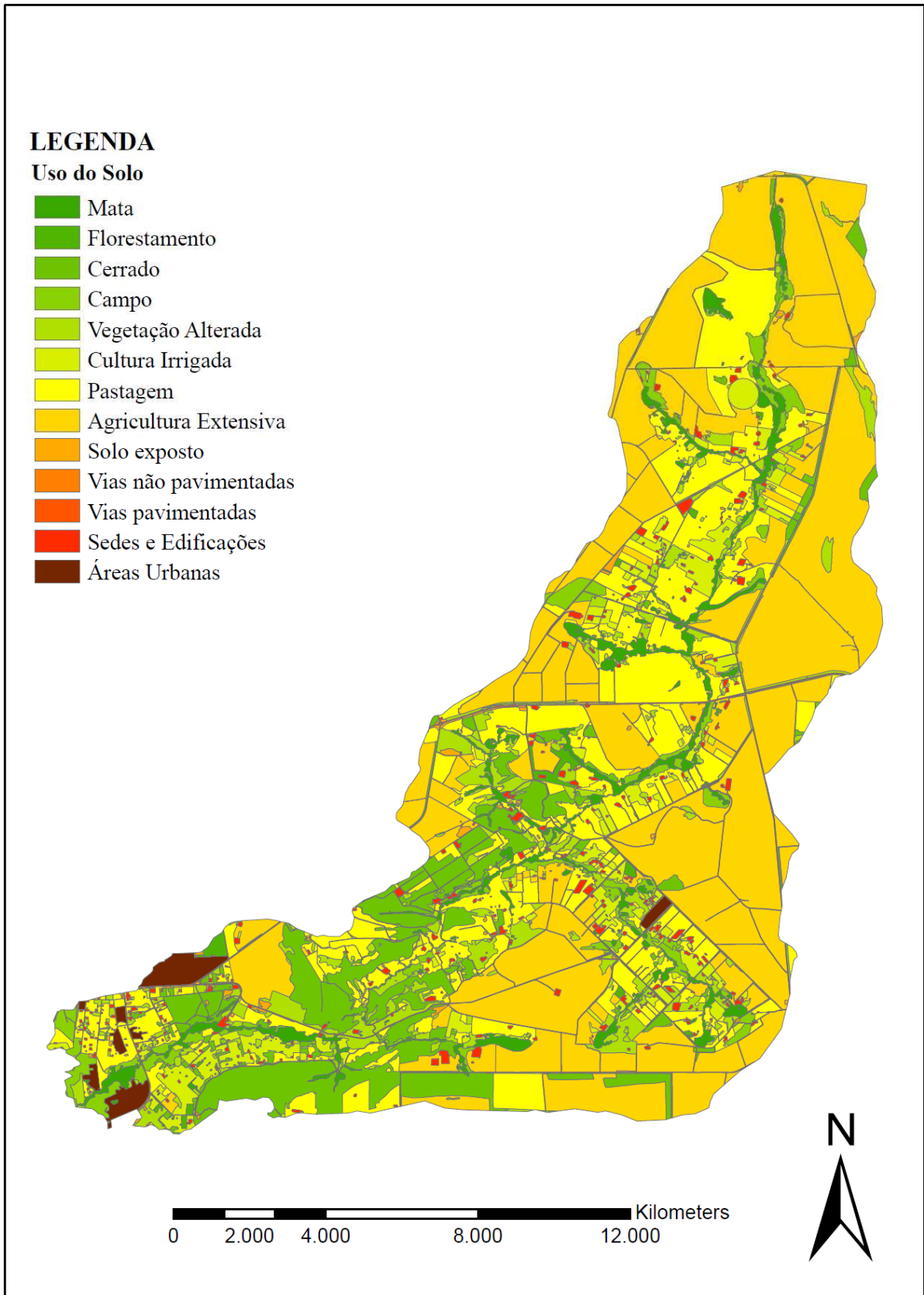


FIGURA 2. Mapa de uso do solo da bacia do Ribeirão Pipiripau. (Fonte: TNC, 2009)

A bacia do Pípiripau possui duas captações de água importantes. A primeira, do canal de irrigação Santos Dumont, possui uma outorga de 350l/s. A segunda, é da Estação de Captação de Água da CAESB, possui uma outorga de 400l/s. Porém, 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).

Além disso, estudos realizados pela SEMATEC (1999) e pelo SEINFRA (2006) preveem um aumento da demanda hídrica em Planaltina de aproximadamente 52% até 2014, e uma situação desfavorável na captação da CAESB no rio Pípiripau para o ano de 2025, respectivamente. Diante disso, nos anos de 2007 a 2010, a ANA, em conjunto com a ADASA, emitiu sete boletins emergenciais para a bacia, informando sobre a necessidade de racionamento de água durante o período de estiagem.

4.2 DADOS HIDROLÓGICOS

Os dados diários de precipitação e vazão da bacia do Ribeirão Pípiripau foram obtidos através do sítio HidroWeb ANA, para as 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, o mesmo ocorrendo para as vazões naturais do manancial, uma vez que a principal captação (canal Santos Dumont) já operava em 1989.

É importante ressaltar que os dados de vazão da estação Frinocap foram obtidos por meio de uma régua linimétrica, sendo que a periodicidade da leitura (12h) é de três a quatro vezes maior que o tempo de concentração da bacia, limitando assim sua acurácia em relação às vazões de pico. Por essa razão, a calibração do modelo hidrológico privilegiou o volume de escoamento direto e não as vazões de pico.

Outro fator limitante é que a bacia possui somente um pluviômetro, situado em sua região central, estando os outros pluviômetros da região muito afastados da bacia. A Figura 3 mostra a localização das estações hidrológicas usadas.

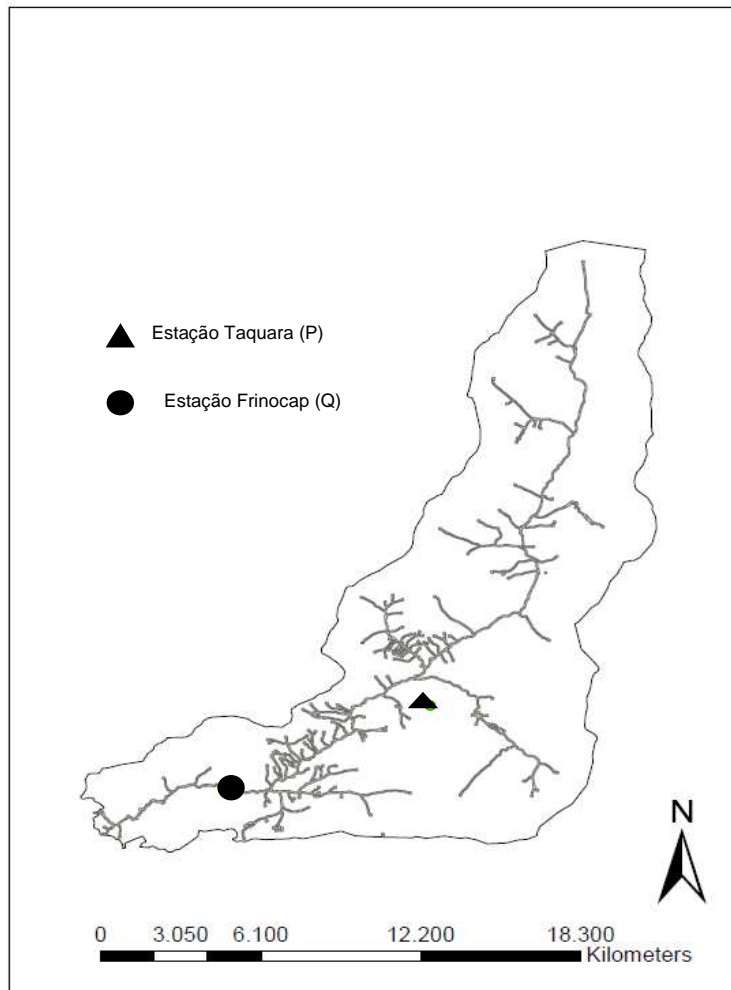


FIGURA 3. Localização das Estações de Monitoramento Hidrológico na Bacia do Ribeirão Pipiripau.

A partir dos dados diários de vazão, foram gerados hidrogramas anuais para o Ribeirão Pipiripau. Em seguida, os hidrogramas foram decompostos em escoamento direto e de base, visando à calibração do coeficiente de escoamento CN (NRCS, 1972).

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

$$q_t = \alpha q_{t-1} + \frac{1+\alpha}{2}(Q_t - Q_{t-1}) \quad \text{Equação 1}$$

Onde q_t (m^3/s) é a vazão direta filtrada; Q_t (m^3/s) é a vazão original total; e α é o parâmetro do filtro, equivalente a 0,925 (NATHAN e MCMAHON,1990).

Desta forma, o escoamento de base (Q_b , em m^3/s) foi obtido pela seguinte equação:

$$Q_b = Q - q \quad \text{Equação 2}$$

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):

$$P_a = P_0 \times 1 - (0,10 \times \frac{\log A}{25}) \quad \text{Equação 3}$$

Onde P_a (mm) = Precipitação abatida em função da área da bacia; P_0 (mm) = Precipitação observada no pluviômetro e; A (km^2) = Área da bacia.

4.2.1 Variabilidade Temporal das Séries Hidrológicas Históricas

A variabilidade hidrológica é um processo estocástico no tempo e no espaço, em decorrência da combinação de fatores como condições climáticas de precipitação, evapotranspiração, radiação solar, relevo, geologia, geomorfologia e solos; cobertura vegetal e uso do solo, e ações antrópicas sobre o sistema fluvial (TUCCI e CLARKE, 1995).

Para identificar eventuais tendências e mudanças de padrões nas variáveis hidrológicas da bacia, foi calculado o grau de estacionariedade das séries temporais. Segundo Salas (1992), uma série histórica é considerada estacionária se for livre de tendências, variações ou periodicidades. Isto implica que os parâmetros estatísticos das séries, como média e variância, permanecem constantes ao longo do tempo. Caso contrário, a série é considerada não-estacionária. A não-estacionariedade pode ocorrer devido à variabilidade climática no período amostrado, mudança climática ou modificação do uso do solo (TUCCI e BRAGA, 2003).

Dessa forma, o teste de estacionariedade das séries históricas para o período em estudo foi feito utilizando os testes de tendência linear (“trends”) e de salto (“shifts”) de Salas (1992). Para que a série histórica seja considerada não estacionária em relação às tendências lineares crescentes ou decrescentes, o valor calculado de t_c tem que ser maior que o valor tabelado do t de *Student* a 95% de confiança.

$$t_c = \left| \frac{r\sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > t_{1-\alpha/2,v} \quad \text{Equação 4}$$

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 $N = n^\circ$ de anos da série.

Para testar as homogeneidade e consistência das series hidrológicas de precipitação e vazão foi calculada o grau de homogeneidade da série de acordo com o teste proposto por Salas (1992).

Inicialmente a serie foi dividida em duas sub-séries com tamanhos N_1 e N_2 ($N_1 + N_2 = N$), com médias \bar{y}_1 e \bar{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 $\bar{y}_1 = \bar{y}_2$ é rejeitada se $T_s > T_{1-\alpha/2v}$. O teste estatístico T_s para mudanças em séries temporais é calculado conforme (Salas, 1992):

$$T_s = \frac{|\bar{y}_1 - \bar{y}_2|}{s \sqrt{\left[\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right]}} \quad \text{Equação 5}$$

O desvio padrão agrupado é dado pela equação(6) (Salas, 1992):

$$S = \sqrt{\frac{(N_1-1)s_1^2 + (N_2-1)s_2^2}{N-2}} \quad \text{Equação 6}$$

4.3 CALIBRAÇÃO DO NÚMERO CURVA DA BACIA

O Número-Curva do NRCS (NRCS, 1972; Chow *et al.*, 1988) da bacia, largamente utilizado em estudos hidrológicos e usando as informações sobre solos e tipo de uso e manejo da bacia, foi calculado a partir das séries diárias de precipitação e escoamento superficial, esta última obtida pela Equação 1, para cada um dos eventos significativos da série de vazões analisada.

A seleção dos eventos significativos usados na calibração (ALBUQUERQUE, 2009a) 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):

$$Q = \frac{(P-0,2S)^2}{(P+0,8S)} \quad \text{Equação 7}$$

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 7, 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 8 abaixo:

$$S = \left(\frac{25400}{CN}\right) - 254 \quad \text{Equação 8}$$

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):

$$CN I = \frac{4,2 CN II}{(10-0,058 CN II)} \quad \text{Equação 9}$$

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

Apesar de haver algumas suposições em relação à abstração inicial da umidade nas equações 9 e 10 acima (CHOW *et al.*, 1988), elas não inviabilizam sua aplicação em pequenas bacias hidrográficas. A classificação de umidade antecedente para cada solo época do ano está representada na Tabela 2.

TABELA 2. 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

No presente estudo, em função do clima tropical da bacia, todo o ano foi considerado como temporada de crescimento de plantas, ou seja, apenas os limites da coluna da direita da Tabela 1 foram utilizados na calibração.

Para a calibração do CNII da bacia, as equações 1-7 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.

4.3.1 Cálculo do CN Ponderado da Bacia

Com o intuito de estimar os valores de CNII da bacia para os cenários de uso futuro, o CNII médio ponderado da bacia foi obtido a partir de dados tabelados da literatura (Quadro 1 e Tabela 3). O primeiro classifica os solos de acordo com os grupos hidrológicos de solos do NRCS (1972) combinados com a tabela do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), e o segundo mostra os valores de CNII a partir da combinação de uso e manejo do solo.

QUADRO 1. Classificação dos grupos hidrológicos de solo para o cálculo do CN. (TUCCI, 1993)

Grupo de Solo	Descrição
A	Solos com baixo potencial de deflúvio. Inclui areias em camadas profundas, com pouco silte ou argila, inferior a 8%.
B	Solos arenosos com camadas menos profundas que as do tipo A e com maior teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. Este grupo de solo tem uma capacidade de infiltração acima da média.
C	Solos argilosos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras, até a profundidade de 1,2 m. No caso das Terras Roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Os solos do grupo C possuem baixa taxa de infiltração quando completamente úmidos.
D	Solos argilosos com 30% a 40% de argila total, com camada densificada a 50 cm de profundidade e quase impermeável. São solos com elevado potencial de escoamento e baixa taxa de infiltração.

A obtenção dos polígonos hidrológicamente homogêneos, necessária para a estimativa do CNII tabelado, foi obtida 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 correspondentes a Tabela 3 foram assinalados a cada polígono homogêneo da bacia.

TABELA 3. Valores do CN II para diferentes tipos de grupo de solo e uso e manejo (NRCS, 1972 adaptado).

Uso da terra		Grupo de Solo			
		A	B	C	D
Terra cultivada	Sem métodos conservacionistas	72	81	88	91
	Com métodos conservacionistas	62	71	78	81
Pasto	Más condições	68	79	86	89
	Boas condições	39	61	74	80
Prado	Boas condições	30	58	71	78
Cobertura Florestal	Pouca cobertura, Sem cobertura foliar	45	66	77	83
	Boa Cobertura	25	55	70	77
Espaços Abertos, gramados, parques, etc.					
Boas condições:	Gramma cobre mais de 75% da área	39	61	74	80
Condição moderada:	Gramma cobre entre 50% a 75% da área	49	69	79	84

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

$$CNII_{tp} = \frac{(A_1 \times CNII_1) + (A_2 \times CNII_2) + (A_3 \times CNII_3) \dots + (A_x \times CNII_x)}{A_{total}}$$

Equação 11

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 (Tabela 2) 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:

$$f_c = \frac{\overline{CNII}_c}{\overline{CNII}_t}$$

Equação 12

Onde: f_c é o fator de correção, \overline{CNII}_c é o valor médio calibrado de CNII da bacia, e \overline{CNII}_t é a média ponderada do CNII tabelado da bacia, usando a Tabela 3.

Uma vez obtido o f_c acima, o valor corrigido de CNII para cada um dos polígonos homogêneos foi obtido pela equação:

$$CNII_{tc} = f_c \times CNII_t \quad \text{Equação 13}$$

Onde $CNII_{tc}$ é o CNII tabelado corrigido e $CNII_t$ é o CNII obtido da Tabela 3.

A partir dos valores corrigidos de CNII, as áreas de passivo ambiental da bacia tiveram seus valores modificados em função do novo tipo de uso e manejo proposto (cenários futuros). O detalhamento dessa etapa é apresentado posteriormente neste documento.

4.4 RELAÇÃO ENTRE CN E AS VAZÕES DE BASE NA BACIA

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 fortemente dependente do escoamento total (Q) na bacia, o primeiro foi normalizado pelo último. Uma regressão linear simples foi então obtida entre as variáveis CNII e Q_b normalizadas, e um gráfico *bi-log* das duas variáveis foi gerado.

Algumas suposições foram necessárias para a utilização do modelo empírico entre CNII e Q_b normalizadas nos cenários futuros de uso e manejo do solo na bacia:

- 1- Apenas pequenas variações de CNII e Q_b médios anuais são esperados nos cenários futuros na bacia, relativamente aos valores atuais;
- 2- 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;
- 3- As relações entre CNII e P, e entre Q_b e Q no futuro estarão dentro do intervalo verificado no passado recente.

Para testar a suposição 2 acima, 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 (CHAVES e NEARING, 1991), e os pontos considerados *outliers* foram retirados da análise.

4.5 DETERMINAÇÃO DOS PASSIVOS AMBIENTAIS NA BACIA E CENÁRIOS FUTUROS DE USO E MANEJO DO SOLO

As áreas de passivo ambiental relativas à reserva legal e áreas de preservação permanente nas propriedades da bacia foram obtidas a partir do estudo de Albuquerque (2009b).

No caso dos déficits de APP ripários, estes foram obtidos do cruzamento do *buffer* de 30m da rede de drenagem da bacia com o mapa de uso atual. No caso dos déficits de RL (mínimo de 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.

Ao contrário das áreas de APPs, que são fixas na bacia (30m de cada lado do rio e no caso de nascentes e veredas foi feito um *buffer* de raio de 50m), na implantação dos cenários de RL foram consideradas a Portaria nº42/2005, onde devem ser levadas em consideração 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 Reserva Legal na bacia, foram utilizados os seguintes critérios:

- I. Aptidão agrícola - Esse critério foi baseado na declividade do terreno, sendo selecionadas áreas com declividade iguais ou acima de 5° graus (EMBRAPA, 1978).
- II. Tipo de solo - Foram priorizadas as áreas da bacia pertencente aos grupos de solos mais vulneráveis (grupos B, C e D do NRCS).
- III. 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).

4.6 SELEÇÃO DAS ÁREAS DE REVEGETAÇÃO NA BACIA

Para obter as áreas de recuperação dos passivos ambientais da bacia, definidas pelos critérios supracitados, foi necessário cruzar os mapas temáticos (*shapes*) de uso e manejo do solo, confeccionado pela TNC (2009, comunicação pessoal), com os de Pedologia, de declividade (CAESB, 2001) e de áreas de preservação permanente (CAESB, 2001), por meio da função *intersect* do SIG *ESRI-ArcGis* 10.0.

Para obter um *shape* que contivesse somente as áreas de APP, foi feita uma extração com a função *Erase* com os *shapes* de APP (CAESB, 2001) e com os *shapes* de critérios de seleção. A mesma operação foi realizada para as áreas de Reserva Legal, usando os *shapes* de declividade (CAESB, 2001) e com os de critérios de seleção acima.

Com essas operações, foram obtidos três *shapes* distintos: i) seleção de áreas dentro das áreas de APP, ii) seleção de áreas dentro das áreas de RL e iii) demais áreas da bacia.

Assim, as áreas de passivo ambiental em relação à APP e RL foram definidas na bacia, e os polígonos hidrologicamente homogêneos do *shape* correspondente foram identificados, para posterior modificação de uso, de acordo com os cenários prognósticos. .

4.7 DEFINIÇÃO DOS NOVOS CENÁRIOS DE USO E MANEJO DO SOLO 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 (Tabela 3), após a devida correção (Equação 13).

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 na Tabela 4.

TABELA 4. 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

Dessa forma, foram escolhidas combinações de fitofisionomias e tipos de solo que apresentassem os menores valores de CNII, de forma a maximizar a recarga e diminuir o escoamento superficial na bacia.

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 foram escolhidas as fitofisionomias Floresta Estacional

Semi decídua, Floresta Tropical Subcaducifólia, e Mata de Galeria, dependendo do tipo de solo listado na Tabela 4. Processo semelhante foi feito para as áreas com passivos ambientais de Reserva Legal na bacia, com as respectivas fitofisionomias da Tabela 3.

Para a análise dos passivos ambientais, foi suposto que todos os proprietários haviam suprimido suas reservas legais antes de 1998, pois caso contrário não poderia ser realizada a compensação da área por outra dentro da mesma micro-bacia, conforme estabelece o Art. 44-C do Código Florestal.

Além dos dois cenários de recuperação florestal acima, foram usados dois outros cenários de manejo do solo. Nestes cenários, os proprietários alterariam os atuais manejos utilizados nas áreas de agricultura e pasto, passando de agricultura convencional para plantio direto, e de pastagem degradada para pastagem recuperada (reforma do pasto), respectivamente. Em ambos os casos, foi usado o terraceamento em nível, de forma a evitar-se a erosão em sulcos (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1995).

No sistema de plantio direto, há o uso de culturas de cobertura para formação de palhada, sendo a movimentação do solo é restrita a linha de semeadura, uma vez que não há revolvimento do solo (TORMENA, *et al.*, 1998), e o plantio é feito em nível. A adoção desse tipo de uso e manejo é capaz de reduzir até 75% das perdas de solo e até 20% das perdas de água, em relação ao preparo convencional (ALBUQUERQUE *et al.*, 2002).

No plantio em nível, as fileiras de plantas e os restos culturais ficam dispostos de forma paralela à vertente, diminuindo a velocidade da enxurrada e filtrando os sedimentos nela contidos, o que torna esta forma de cultivo mais eficaz no controle da erosão hídrica do que a semeadura morro a baixo (SILVA *et al.*, 1986; COGO *et al.*, 2007).

A técnica do terraceamento consiste na distribuição de terraços em áreas agrícolas visando à redução do volume e da velocidade nas vertentes. O terraço é composto de duas partes: a) canal coletor, de onde é retirada a massa de solo e; b) camalhão ou dique, construído com a massa de solo movimentada do canal (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990; CHAVES, 1996b). No terraceamento, os canais armazenam água e

sedimentos, aumentando a infiltração, diminuindo a velocidade da água evitando os efeitos da enxurrada (COGO *et al.*, 2007).

A reforma da pastagem consiste no plantio em nível, na subsolagem, adubação e replantio do pasto, seguindo-se do sistema de pastejo rotacionado. Nesse sistema o período de pastejo é subdividido em dois, um período de ocupação da pastagem e outro de descanso (EMBRAPA, 2007; SALMAN, 2007).

De acordo com Santos *et al* (2001) a integração lavoura-pecuária, sob plantio direto (PD), tem mostrado que é técnica e economicamente viável. Para tal, devem ser identificados sistemas de produção de média e longa duração, integrando a produção de grãos com a de pastagens perenes, os quais ofereçam maior sustentabilidade e melhor resultado econômico possível. Além disso, é importante incluir nas pastagens leguminosas que fixem N e melhorem o valor nutritivo da forragem, contribuindo para aumentar a produção animal e para melhorar as condições físico-químicas do solo.

4.8 QUANTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS NA BACIA

O indicador utilizado para quantificar os serviços ambientais referentes à recuperação dos passivos ambientais de APP e RL, bem como da adoção das boas práticas nas áreas de agropecuária na bacia, foi o incremento no escoamento de base, ΔQ_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:

$$\Delta Q_b = Q_{b2} - Q_{b1} \quad \text{Equação 14}$$

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 15 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 e Piau (2008). Os cenários de uso/manejo do solo e climáticos usados no estudo são descritas na Tabela 5.

TABELA 5. Cenários para recomposição da bacia.

Cenário	Tipos de Uso e Manejo do Solo	Tipos de Clima
1	Recomposição somente das áreas de APP	S
		M
		U
2	Recomposição somente das áreas de RL	S
		M
		U
3	Recomposição das áreas de APP e RL	S
		M
		U
4	Recomposição das áreas de APP, RL e adoção de técnicas conservacionistas nas áreas de agricultura	S
		M
		U
5	Recomposição das áreas de APP, RL e adoção de técnicas conservacionistas nas áreas de agricultura e pastagem	S
		M
		U

S: ano seco; M: ano médio; U: ano úmido.

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).

4.9 ANÁLISE ECONÔMICA

4.9.1 Valoração dos Serviços Ambientais Hidrológicos

A valoração dos serviços ambientais hidrológicos resultantes da recomposição dos passivos ambientais na bacia foi baseada na função de produção (MOTTA, 1997), através da análise de custos e receitas da recuperação.

Segundo Pearce e Turner (1990), os custos e benefícios da recuperação ambiental podem ser usados na estimativa do esforço ótimo de recuperação. Este seria dado pelo

lucro máximo, resultante da diferença entre as receitas (apropriação econômica dos serviços ambientais gerados) e os custos do esforço de recuperação.

A Figura 4 abaixo apresenta três regiões distintas da função de produção da recuperação ambiental, em função do esforço de recuperação do passivo, sendo apenas uma delas (II) viável economicamente.

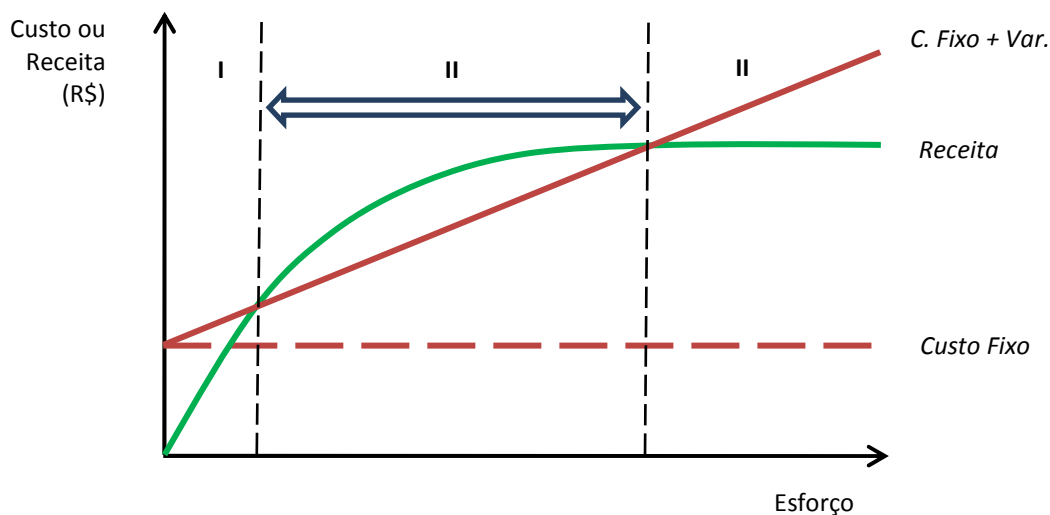


FIGURA 4. Função de produção ambiental, em função do esforço despendido (Adaptado de Pearce e Turner, 1990).

No caso dos custos de recuperação, estes foram estimados em função dos valores de mercado da recomposição florestal das áreas de passivo ambiental, e as receitas foram estimadas em função da adicionalidade financeira, resultante do aumento de vazão firme na bacia. Esses são descritos nos parágrafos abaixo.

4.9.2 Custos de Recomposição dos Passivos Ambientais

Para calcular o custo de recomposição dos passivos ambientais da bacia foi aplicado o método do custo de reposição – MCR (PEARCE, 1993; MOTTA, 1998; NOGUEIRA *et al.* 2000). Para isso, foram considerados os custos de uma adequada recomposição da vegetação local (APP e RL) conforme a lei exige.

Os dados utilizados para contabilizar os custos foram obtidos do Projeto de Conservação de Água e Solo, realizado pela EMATER/DF na bacia do Ribeirão Pipiripau. Nele não foram considerados os custos de cercamento nem o de manutenção (replântio).

De acordo com este projeto, o custo de reposição (Cr) foi calculado como sendo o custo de revegetação das áreas de passivo ambiental (APP+RL) da bacia. 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 ($C1$), roçagem da área ($C2$), aquisição de mudas ($C3$) e mão de obra dos operadores ($C4$).

Assim, o custo de reposição foi calculado a partir da seguinte equação:

$$Cr = \sum Ci \quad \text{Equação 15}$$

Onde o Cr = custo total de recuperação de um passivo ambiental e Ci = custo dos insumos e serviços necessários para a recuperação da área.

4.9.3 Custo de Oportunidade da Terra

O segundo custo considerado no projeto de recomposição florestal foi o custo de oportunidade da terra. Este, por sua vez, foi tomado como sendo o valor mínimo a ser pago aos proprietários rurais locais para que eles se sintam estimulados a manter a recomposição florestal proposta.

Como a concessionária terá benefícios financeiros com a implementação do projeto de recomposição florestal, foi estabelecido que esta arcasse com este custo de oportunidade durante os 10 primeiros anos de aplicação do projeto na bacia.

O custo de oportunidade foi calculado por meio da equação abaixo (SANTOS, 2007; QUEIROZ, 2008):

$$CO = P_t^A \cdot Q_t^A \cdot i_{t+1} \quad \text{Equação 16}$$

Onde CO = custo de oportunidade; P_t^A = preço médio da terra no tempo (t); Q_t^A = quantidade de área de passivo ambiental no tempo (t); e i = taxa de desconto.

Segundo Alípaz (2010), em 2010, o preço da terra no DF era de R\$ 4.700,00/ha e esse valor foi utilizado para as análises do presente estudo.

4.9.4 Custos Totais do Projeto

O custo total do projeto de recuperação de áreas com passivo ambiental florestal na bacia foi à soma do custo de reposição e do custo de oportunidade da terra, ou seja:

$$CT = C_r + CO \quad \text{Equação 17}$$

Onde: CT é o custo total de recuperação do passivo ambiental na bacia; C_r é o custo de reposição dos passivos ambientais na bacia e CO é o custo de oportunidade da terra.

É importante destacar que para este estudo foram considerados apenas os custos acima, sendo estes arcados pela concessionária a qual será a principal beneficiada com o incremento da vazão de base proporcionado pelas ações de recomposição e manutenção florestal da bacia do Ribeirão Pípiripau. Sabendo-se ainda que os custos da aplicação de práticas conservacionistas (cenário 4 e 5) deverão ser arcados pelos proprietários rurais da bacia, uma vez que estes receberão durante 10 anos o montante correspondente ao custo de oportunidade da terra que surgirá apenas como um estímulo inicial para que estes proprietários cumpram permanentemente a legislação florestal.

4.9.5 Receitas resultantes dos Serviços Ambientais

As receitas incrementais resultantes dos serviços ambientais foram obtidas em função do incremento de vazão de base. Dessa forma, a receita incremental foi dada como sendo o produto da tarifa de água praticada pela concessionária, no valor de R\$ 2,18/m³ (CAESB, 2006, comunicação pessoal), multiplicada pela diferença entre as vazões atuais e as vazões prognosticadas pelo modelo empírico nos diferentes cenários.

Para a análise das receitas relativa aos serviços ambientais gerados foi considerado que todo o incremento no volume de água obtido pelo escoamento de base devido à diminuição do CNII seria convertido em captação pela concessionária. Com base nisso, a receita adicional foi calculada, considerando-se a receita oriunda do incremento de volume de água que será captado após a implementação do projeto, tendo o ano de 2006 como referência. A equação utilizada para este cálculo foi:

$$\Delta R_{b1} = P_0 \times (Q_1 - Q_0) \quad \text{Equação 18}$$

Onde ΔR_{b1} = Receita adicional anual considerando-se apenas o incremento na receita bruta (R\$/ano); P_0 = preço em reais da tarifa de água (R\$/m³); Q_1 = quantidade de água após a revegetação da bacia (m³/ano) e Q_0 = quantidade de água disponível atualmente (m³/ano).

Além disso, como o ano de referência para a análise econômica foi 2006 e alguns dados de preços são de anos seguintes a este, foi necessário utilizar um índice deflator de preços para ajustar os dados para o ano requerido. Para tanto, foi utilizado o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP–DI) da Fundação Getúlio Vargas (FGV 2010) para neutralizar o efeito da inflação e permitir a realização de comparações válidas entre os valores da série histórica estudada.

4.9.6 Critérios de Avaliação Econômica

Para a análise da viabilidade econômica do projeto de recuperação das áreas de Reserva Legal e Áreas de Proteção Permanente, utilizou-se os métodos da Razão Benefício/Custo (B/C), o Valor Presente Líquido (VPL), o Benefício Periódico Equivalente (BPE) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), conforme descritos em Rezende e Oliveira (2008). Segundo estes autores, um projeto é considerado economicamente viável se tiver o VPL maior que zero, a TIR maior que taxa de desconto, o BPE maior que zero e a B/C maior que um.

O VPL é o valor presente da diferença entre os benefícios e custos descontados a uma taxa apropriada i , como mostra a equação 19. Ele é um critério rigoroso e isento de falhas técnicas. (FERNANDEZ E GARRIDO, 2002).

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j \times (1 + i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j \times (1 + i)^{-j} \quad \text{Equação 19}$$

Em que C_j = custos do final do período de tempo considerado; R_j = receita líquida no final do período de tempo considerado; i = taxa de atratividade do projeto; j = período em que as receitas ou os custos ocorrem e n = duração do projeto em números de períodos de tempo.

De acordo com Rezende e Oliveira (2008), o BPE converte os fluxos de caixa líquidos em uma série equivalente de valores iguais e, geralmente, anuais por meio da equação 20:

$$BPE = \frac{VPL \times [(1+i)^t - 1] \times (1+i)^{nt}}{(1+i)^{nt} - 1} \quad \text{Equação 20}$$

Em que BPE = benefício (custo) periódico equivalente; VPL = valor presente líquido e t = número de períodos de capitalização.

Segundo esses autores, a TIR é a taxa de desconto, t , que torna o VPL de um projeto igual a zero e é dada pela seguinte equação:

$$\sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+TIR)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+TIR)^j} = 0 \quad \text{Equação 21}$$

Onde: C_j = custos do final do período de tempo considerado; R_j = receita líquida no final do período de tempo considerado; i = taxa de atratividade do projeto; j = período em que as receitas ou os custos ocorrem; n = duração do projeto em números de períodos de tempo e TIR = taxa interna de retorno.

De acordo com Fernandez e Garrido (2002), quanto maior for a TIR, melhor é o projeto. No entanto, na análise de viabilidade econômica de projetos, a TIR deve ser comparada com o custo de oportunidade (juros) do capital.

Já o método de análise benefício/custo (B/C) consiste em comparar os benefícios recebidos com os custos de cada investimento. Esse é dado por:

$$B/C = \frac{\sum_{j=0}^n R_j \times (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j \times (1+i)^{-j}} \quad \text{Equação 22}$$

Em que C_j = custos do final do período de tempo considerado; R_j = receita líquida no final do período de tempo considerado; i = taxa de desconto do projeto; j = período em que as receitas ou os custos ocorrem e n = duração do projeto em números de períodos de tempo.

É importante destacar que para a realização das análises de viabilidade foram utilizadas taxas de desconto de 6% a.a e 8% a.a., que são consideradas por Rezende e Oliveira (2008) como as taxas médias de atratividade para projetos florestais, uma vez que se trata de um projeto de recomposição florestal.

Além disso, foram considerados horizontes de planejamento de 35 anos para verificação da inversão do fluxo de caixa, uma vez que a Lei nº 9.433/97 adota esse período como o tempo máximo de duração da outorga (Art. 16). Assim, esse seria o tempo mínimo para que a CAESB analisasse a viabilidade do projeto.

O Instituto Brasília Ambiental – IBRAM - DF considera 20 anos como o tempo necessário para que haja a total recuperação e estabilização ecológica da área (IBRAM-DF, 2010), esse mesmo período também foi proposto por Alípaz (2010) em seu estudo de recomposição do passivo ambiental na bacia do Ribeirão Pipiripau.

Dessa forma, o incremento da quantidade de água gerado a partir da melhoria do uso do solo da bacia foi calculado de forma proporcional ao crescimento da floresta. Para tanto, foi considerado que a cada ano analisado haveria um incremento de 5% da vazão total estimada desde o 1º ano até atingir o 20º ano, quando a vazão passaria a ser 100% do valor estimado pelo modelo.

Desta forma, foram propostos 10 cenários, considerando-se os cenários hidrológicos 1, 2, 3, 4 e 5 em relação à precipitação média para cada uma das taxas de desconto, conforme mostra a Tabela 6.

TABELA 6. Cenários propostos para avaliação econômica do projeto de revegetação da bacia.

Taxa de Desconto	Cenários
6% a.a	1M
	2M
	3M
	4M
	5M
8% a.a	1M
	2M
	3M
	4M
	5M

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VARIABILIDADE HIDROLÓGICA DA BACIA

Na Figura 5 estão dispostos os dados pluviométricos de 1991/1992 a 2008/2009 (anos hidrológicos), é possível observar uma leve tendência linear de queda. Entretanto, o valor de t_c de Salas (1992) para este tipo de tendência não foi significativo a 95% ($t_c < t_{95\%}$), e a série histórica considerada estacionária e homogênea ($T_s < t_{95\%}$), corroborando os resultados de Chaves e Piau (2008).

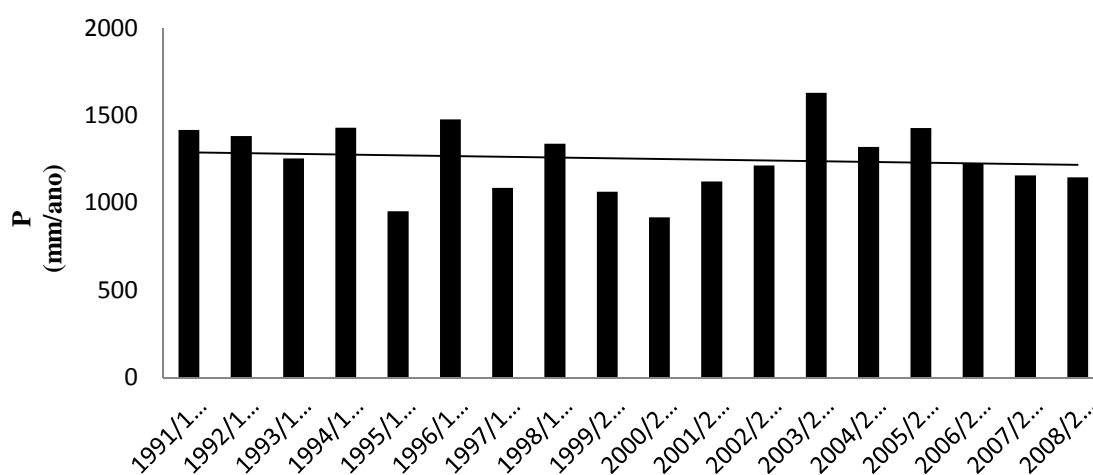


FIGURA 5. Precipitações médias anuais do Ribeirão Pipiripau no período de 1991 a 2009.

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. A precipitação máxima foi de 1627,20 mm e a mínima de 911,50 mm para os anos hidrológicos de 2003/2004 e 2000/2001, respectivamente.

Os valores de precipitação mensal média na bacia do Ribeirão Pípiripau no período de 1991/1992 a 2008/2009 pode ser observada na Figura 6. As maiores médias mensais se encontram entre novembro e março, correspondendo ao período chuvoso da região, sendo dezembro o mês com a maior precipitação mensal de 217,12 mm/mês e julho o mês de menor precipitação mensal, sendo igual a 0,29 mm/mês.

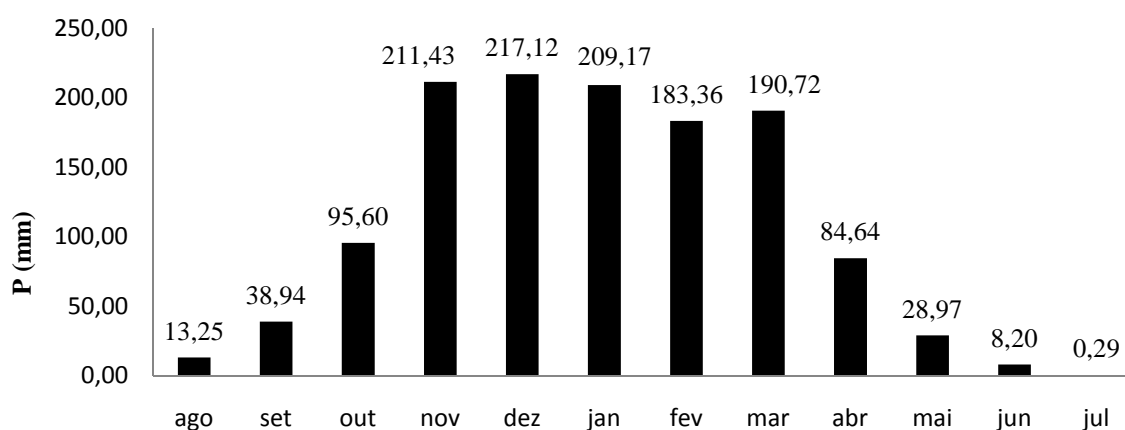


FIGURA 6. Precipitação média mensal da estação analisada para a bacia do Ribeirão Pípiripau no período de 1991/1992 a 2008/2009.

No caso das vazões observadas, cabe ressaltar que elas não correspondem às vazões naturais do Pípiripau, uma vez que a estação Frinocap está a jusante das captações do Canal Santos Dummont (1984) e da CAESB (2000). Entretanto, considerando que os volumes totais captados por esses dois usuários de água não é significativa considerando-se o volume total escoado da bacia, as vazões da estação fluviométrica estudada foi considerada natural e a série histórica estudada pode ser considerada homogênea ($T_s < t_{95\%}$).

As vazões médias mensais do período estudado são apresentadas na Figura 7. Nesta figura, a variação é devida à sazonalidade da precipitação da região. O valor médio anual da vazão no período foi de 2,36 m³/s, com desvio padrão de 0,92 m³/s. O valor

médio máximo anual foi de 4,59 m³/s, obtido no ano hidrológico de 1992/1993, e o valor médio mínimo (1,23 m³/s), foi obtido no ano hidrológico de 2000/2001.

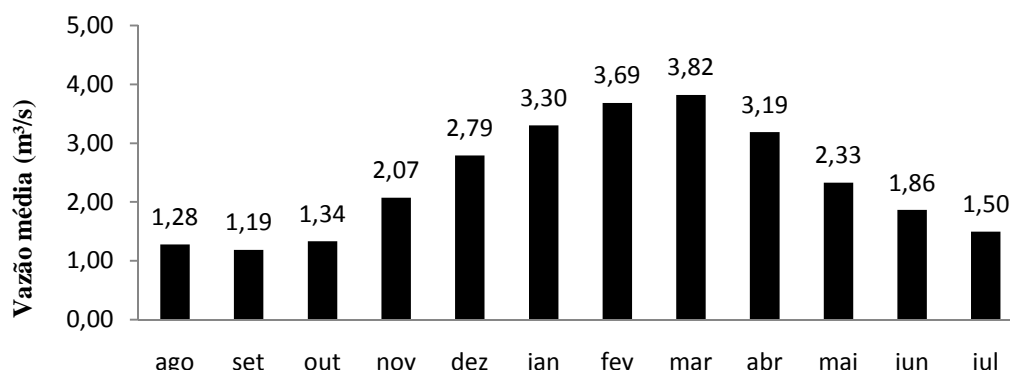


FIGURA 7. Vazões médias mensais do Ribeirão Pipiripau.

Pelas Figuras 6 e 7, observa-se que há um atraso (*lag*) de três meses entre as vazões médias e as precipitações, o qual decorre do processo de recarga e descarga dos aquíferos da bacia.

Além disso, é possível observar na Figura 8 uma tendência acentuada de diminuição das vazões médias anuais ao longo dos anos. Essa mudança reflete a evolução do uso e ocupação do solo da bacia, ou seja, o aumento da impermeabilidade do solo devido às más práticas de uso e manejo do solo. No entanto, como no caso da precipitação anual, o teste de tendência de SALAS (1992) para o período levou à conclusão que a série histórica de vazões médias anuais é também estacionária.

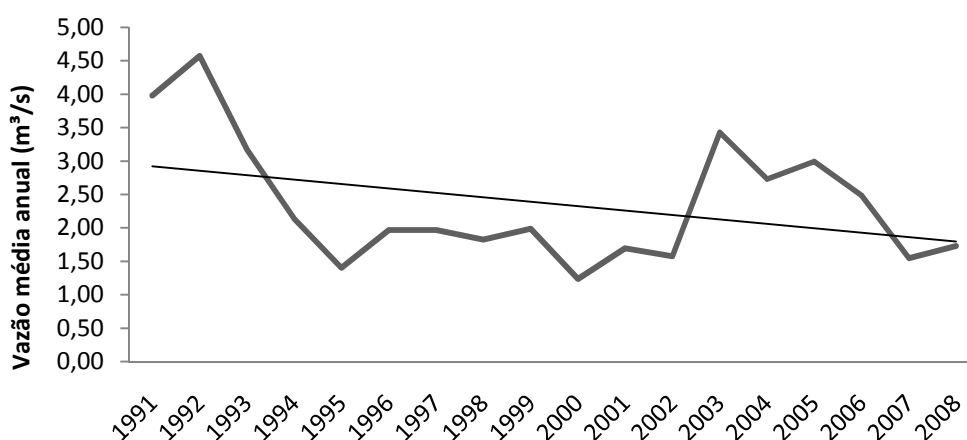


FIGURA 8. Vazões médias anuais observadas na bacia do Ribeirão Pipiripau.

Apesar de as séries de P e Q terem sido consideradas estatisticamente estacionárias no período estudado, o número de dias com escoamento direto na bacia apresentou uma tendência de aumento linear significativa ($t_c = 6,31 > t_{95\%}$). (Figura 9).

Isto 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. Esta intensificação já havia sido reconhecida no estudo multi-temporal de Mendes (2009), onde um aumento da área de agricultura extensiva e da área urbana da bacia foi identificado.

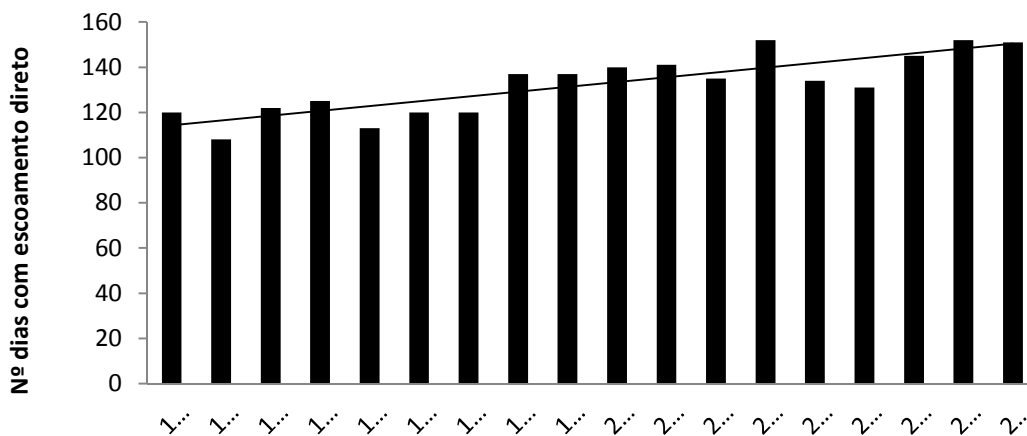


FIGURA 9. Número de dias em que houve contribuição do escoamento direto na vazão do Ribeirão Pipiripau.

Um outro indicador da alteração do uso do solo na bacia no período estudado é a tendência gradual de redução da vazão de referência $Q_{7,10}$ (Figura 10).

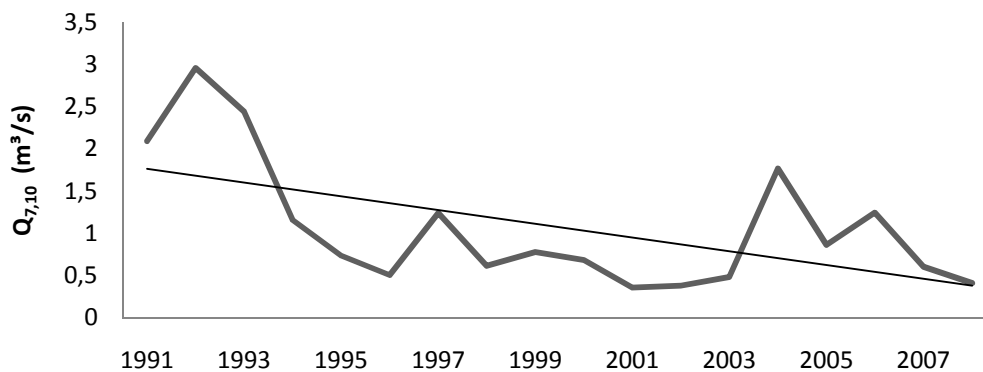


FIGURA 10. Vazão mínima $Q_{7,10}$ na estação Frinocap - Ribeirão Pipiripau.

Pela Figura 10, é possível observar que a $Q_{7,10}$ cai abaixo da vazão mínima remanescente de $0,375 \text{ m}^3/\text{s}$, estipulada pelo marco regulatório da bacia (ADASA, 2006). As vazões remanescentes, também chamadas de vazões ecológicas, são necessárias para manter as funções dos ecossistemas (GONDIM, 2006). Entretanto, no Brasil ainda não há legislação específica com relação às vazões ambientais/remanescente nos rios, o que pode comprometer a sustentabilidade desses ecossistemas (GALVÃO E CHAVES, 2008).

5.2 COEFICIENTES CN TABELADO E CALIBRADO NA BACIA

A Figura 11 apresenta a classificação dos grupos de solos da bacia do Ribeirão Pipiripau. É possível observar que a maioria dos solos da bacia são do grupo A, e que os solos mais sensíveis hidrológicamente (C e D) se encontram próximos ao corpo hídrico.

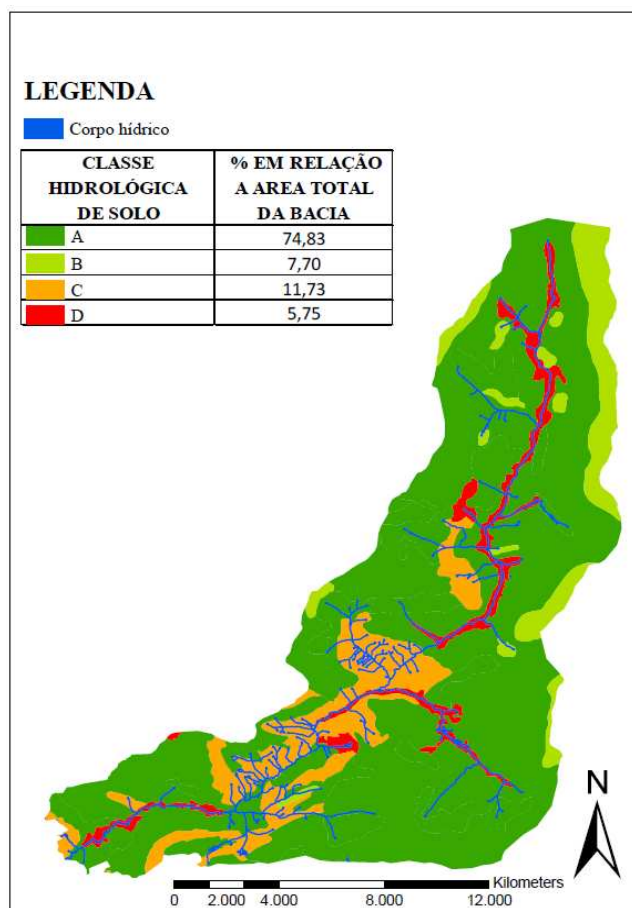


FIGURA 11. Localização dos grupos de solo na bacia do Ribeirão Pipiripau. (CAESB, 2001 adaptado)

Na Figura 12 estão representados os CNII estimados para a bacia, de acordo com a classificação do NRCS (1972).

LEGENDA

CLASSE DE CN II TABELADO CORRIGIDO	% EMRELAÇÃO A AREA TOTAL DA BACIA
25 - 30	2,18
30 - 35	1,71
35 - 40	-
40 - 45	-
45 - 50	5,08
50 - 55	-
55 - 60	0,19
60 - 65	-
65 - 70	20,76
70 - 75	43,66
75 - 80	11,00
80 - 85	5,86
85 - 90	8,63
90 - 95	0,59
95 - 100	0,35

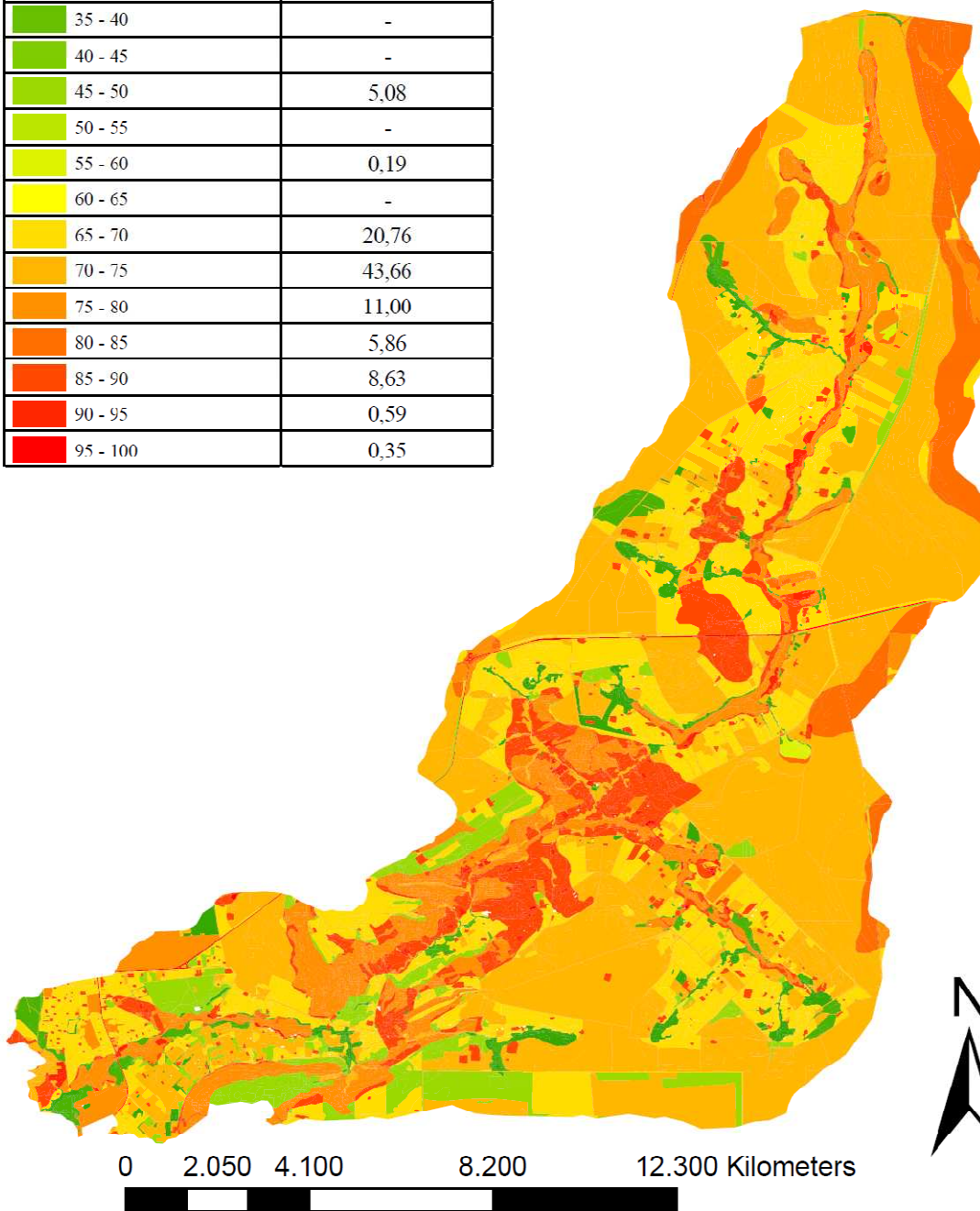


FIGURA 12. Mapa das áreas com diferentes classes de CN na bacia do Ribeirão Pipiripau, elaborado a partir de dados de tabelas da literatura.

Conforme a Figura 12, o valor de CN tabelado na bacia variou de 25 a 98, em função das distintas combinações de solo e uso da bacia. O valor do CNII tabelado ponderado para a bacia foi de 70,65, refletindo o domínio dos latossolos e agricultura extensiva na bacia.

Já a Tabela 7 mostra os valores médios de precipitação abatida (P_a), vazão observada (Q), vazão de base (Q_b), o volume de escoamento direto (Q_d) e os valores de CNII calibrados para os anos estudados.

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 CNII médio calibrado obtido para o período estudado foi de 71,39, muito próximo ao valor médio tabelado para a bacia (70,65), 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.

TABELA 7. Valores médios anuais de P, Q, Q_{ob}, Q_b, Q_d e CNII calibrados para a bacia do Ribeirão Pípiripau no período entre 1991/1992 e 2008/2009.

ANO	P(mm)	Q _{ob} (m ³)	Q _b (m ³ /s)	Q _d (m ³)	CNII _c
1991/1992	1.417,40	3,98	3,5	7.771.224,7	73,23
1992/1993	1.383,20	4,58	4,1	8.843.406,2	73,90
1993/1994	1.254,40	3,17	2,7	8.425.850,8	73,67
1995/1996	951,40	1,40	1,2	3.572.160,2	69,58
1996/1997	1.479,20	1,97	1,6	7.254.075,7	71,85
1997/1998	1.085,30	1,97	1,7	5.893.499,5	70,28
1998/1999	1.339,60	1,82	1,5	5.445.932,3	71,99
1999/2000	1.063,20	1,99	1,6	7.848.489,4	73,87
2000/2001	911,50	1,24	1,0	4.592.538,0	75,58
2001/2002	1.123,40	1,69	1,3	7.033.850,8	73,43
2002/2003	1.212,80	1,58	1,3	7.424.161,2	68,98
2003/2004	1.627,20	3,43	2,7	11.602.167,9	75,26
2004/2005	1.316,00	2,73	2,3	6.745.588,9	70,45
2005/2006	1.428,40	2,99	2,6	6.932.619,6	70,30
2006/2007	1.227,70	2,49	2,1	6.914.064,1	71,12
2008/2009	1.147,00	1,73	1,5	6.428.775,4	68,16
Média	1.249,25	2,23	1,88	7.209.220,73	71,39
DP	196,47	0,97	0,87	1.820.745,21	2,25
CV*	0,16	0,44	0,46	0,25	0,03

*coeficiente de variação

Comparado com outras variáveis hidrológicas da Tabela 7, o coeficiente de variação do CNII calibrado obtido foi baixo (0,03). Isso pode ter decorrido da não-linearidade da equação 1.

Os resultados de CNII calibrados obtidos no presente estudo corroboram com os resultados medidos em parcelas de enxurrada, em uma área experimental próxima a bacia (Dedecek, 1986), onde um valor de CN = 76,06 foi obtido para Latossolo Vermelho argiloso sob áreas de lavoura de soja e preparo convencional sob pousio.

O fator de correção para o CNII tabelado foi de 1,0105, ou seja, uma variação de apenas 1,05% em relação ao valor médio tabelado. Esse valor foi usado para corrigir os valores de CN tabelados para os diferentes cenários prognósticos de uso e manejo do solo na bacia.

A Figura 13 abaixo apresenta a variação normalizada CN/P ao longo dos anos estudados. Através dessa figura, observa-se que há uma tendência linear de aumento de CN/P com o tempo, indicando uma eventual resposta hidrológica a uma intensificação do uso do solo na bacia, com um conseqüente aumento do potencial de escoamento superficial.

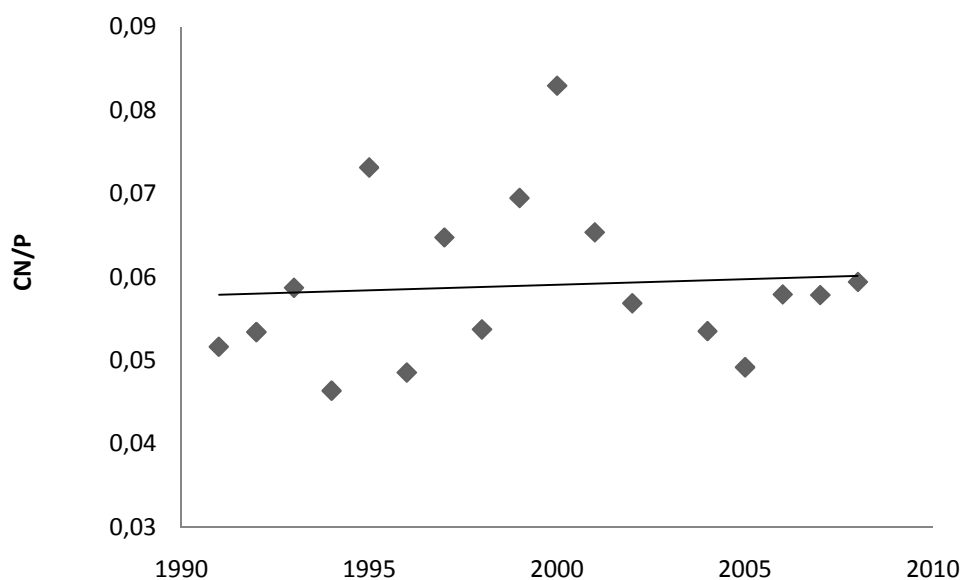


FIGURA 13. Comportamento da variável normalizada CN/P na bacia do Ribeirão Pipiripau, durante o período analisado.

5.3 ÁREAS RECUPERADAS DE APP E RESERVA LEGAL NA BACIA

As áreas com passivo ambiental em relação às APPs na bacia, objeto de reflorestamento nos cenários prognósticos, são apresentadas na Figura 14.

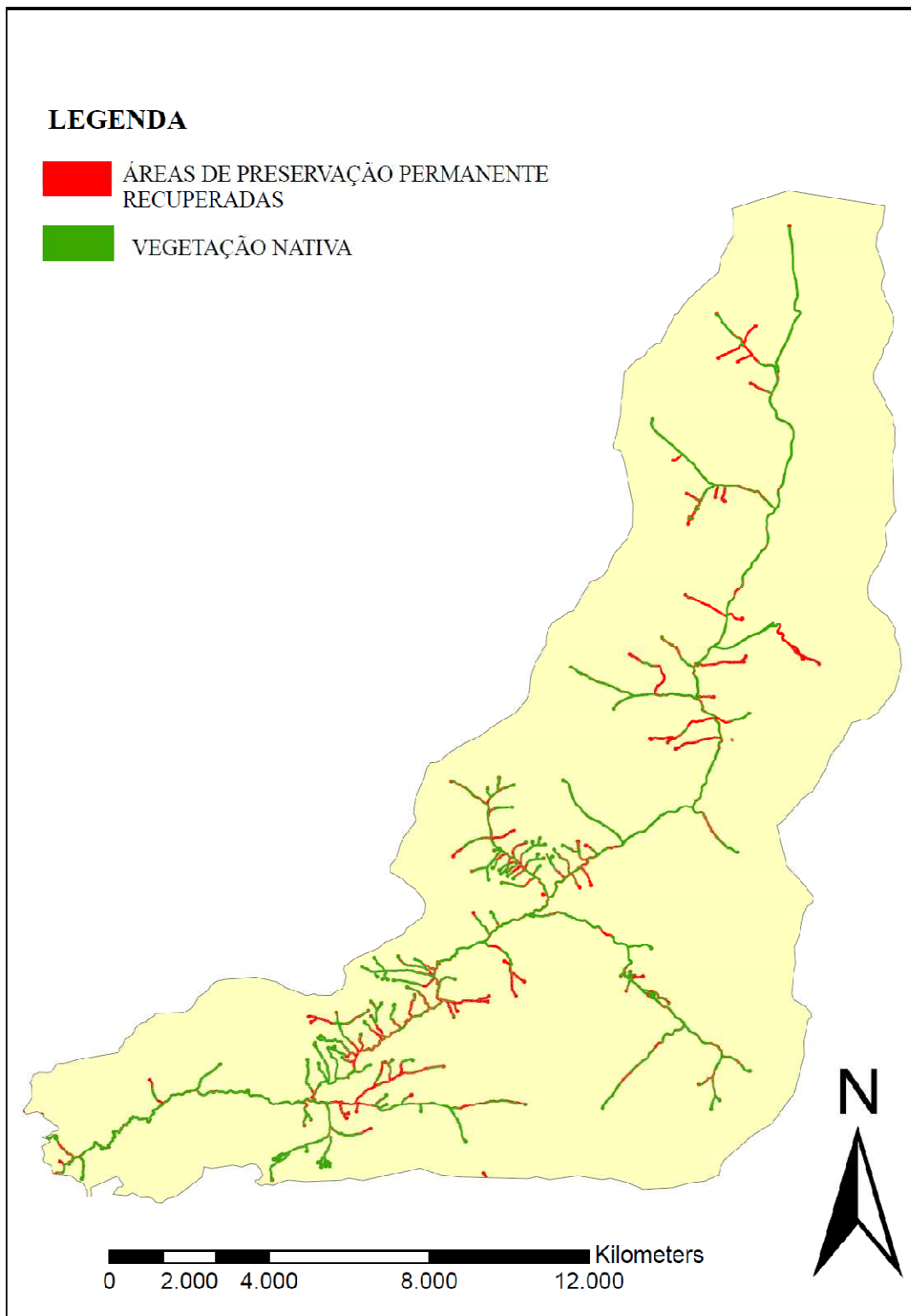


FIGURA 14. Áreas de passivo ambiental referente às áreas de preservação permanente-APP na bacia do Ribeirão Pipiripau, mostradas em cor vermelha.

Na Tabela 8 são apresentados os usos antrópicos do solo (passivos) encontrados nas áreas de APP na bacia, os quais somam 305,6 ha. A partir dessa, conclui-se que os usos

não naturais preponderantes dentro das faixas de APP são as pastagem e a vegetação natural alterada.

TABELA 8. Uso do solo dentro das faixas de Preservação Permanente.

USO E MANEJO DO SOLO	ÁREA (ha)
Agricultura Extensiva	25,56
Áreas Urbanas	0,96
Campo	78,21
Cerrado	236,04
Cultura Irrigada	14,01
Mata	459,75
Pastagem	157,50
Reflorestamento	0,03
Sedes e Edificações	9,81
Solo Exposto	2,81
Vegetação Alterada	86,44
Vias Pavimentadas	0,70
Vias Não pavimentadas	7,78
Total	1.079,60

Montebelo *et al.* (2005) também constatou uma grande conversão de áreas de APP em pastagem e agricultura em uma bacia de São Paulo, sendo as primeiras dominantes. Considerando que essa bacia também possuía um elevado uso agrícola, uma vez que os autores encontraram 41% das APP referentes aos corpos hídricos convertidas em pastagem.

Ao alterar os usos antrópicos das APP para outro ambientalmente mais adequado, o CNII médio ponderado dessas áreas diminuiu, passando de 68,4 para 57,7.

Já no caso das áreas prioritárias para implantação de RL, as áreas antrópicas que estavam sobre solos dos grupos hidrológicos B, C e D não foram suficientes para recompor todo o passivo ambiental da RL.

Dessa forma, foi necessário escolher dentre as áreas de solos do grupo hidrológico A aquelas que apresentaram CNII maior ou igual 72,76 e com declividade maior ou igual a 5 graus.

Na Tabela 9 estão relacionados os tipos de uso e manejo das áreas prioritárias para implantação de RL na bacia estudada.

TABELA 9. Áreas selecionadas para recomposição florestal da Reserva Legal na bacia do Pipiripau.

TIPO DE USO	ÁREA (ha)
Agricultura Extensiva	1.058,46
Áreas Urbanas	56,27
Cultura Irrigada	1.885,37
Pastagem	2.155,23
Florestamento	33,73
Sedes e Edificações	2.042,55
Solo Exposto	133,10
Vegetação Alterada	606,68
Vias pavimentadas	129,06
Vias não pavimentadas	11,85
Total	8.112,30

Como o Código Florestal brasileiro não especifica onde a RL deverá ser alocada dentro da propriedade, 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* e *Solos expostos*, como mostrados na Tabela 10.

TABELA 10. Áreas antrópicas selecionadas para recuperação florestal sob a forma de reserva legal.

TIPO DE USO	ÁREA (ha)
Agricultura Extensiva	620,44
Cultura Irrigada	92,58
Pastagem	709,96
Solo Exposto	39,44
Vegetação Alterada	393,16
Vias não pavimentadas	42,01
Total	1.897,59

Após a recomposição florestal das áreas de RL, o CNII médio ponderado relativo a essas áreas passou de 71,37, para 66,72.

Na Figura 15 são apresentadas as áreas selecionadas para recompor as áreas de passivo ambiental referente às RLs na bacia.

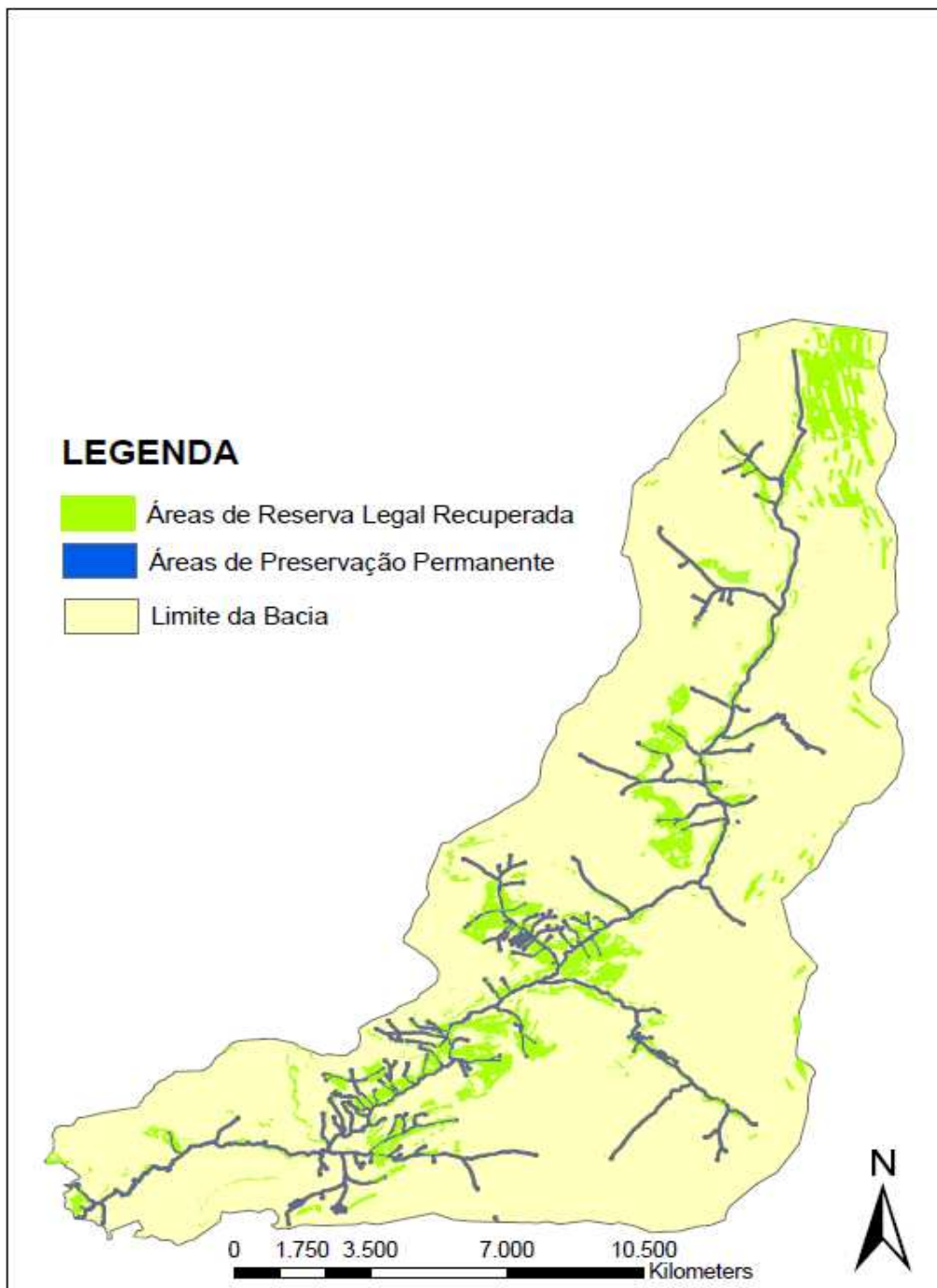


FIGURA 15. Áreas de Reserva Legal da bacia do Ribeirão Pipiripau a serem recuperadas.

É possível perceber na Figura 15 que as áreas escolhidas para recompor o passivo ambiental de RL se encontram próximas as APPs. Cumprindo dessa maneira o que está disposto na legislação ambiental, visto que estabelecem corredores ecológicos ao

servirem de conectores entre as APPs, além de colaborarem para aumentar as zonas de amortecimento.

Nas condições atuais da bacia, a agricultura, a urbanização e outros usos antrópicos geram paisagens fragmentadas, deixando os remanescentes da vegetação natural circundados por vegetação alterada ou antropizadas.

Apesar do fato de que a conservação de grandes fragmentos isolados possui uma capacidade de manter a biota regional, os fatores econômicos, culturais e políticos têm sido mais decisivos para a implantação de reservas do que os princípios ecológicos (SOULÉ, 1986; WARBURTON, 1997).

Dessa forma, ao adotar o sistema de Reserva Legal condominial, conforme a Figura 15, os produtores estarão contribuindo não só para o provimento de serviços ambientais hidrológicos, mas também para os serviços ambientais referentes à fauna e flora local.

Assim, após a conversão de todas as áreas de passivo ambiental (APP e RL), 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.

Do ponto de vista hidrológico, com a diminuição do CNII médio haverá uma diminuição do escoamento direto, e conseqüentemente um aumento da recarga e do escoamento de base, além da redução do aporte de sedimento na bacia.

Na Figura 16 está representado o mapa de CNII após a recuperação das áreas de passivo ambiental (APP e RL) na bacia.

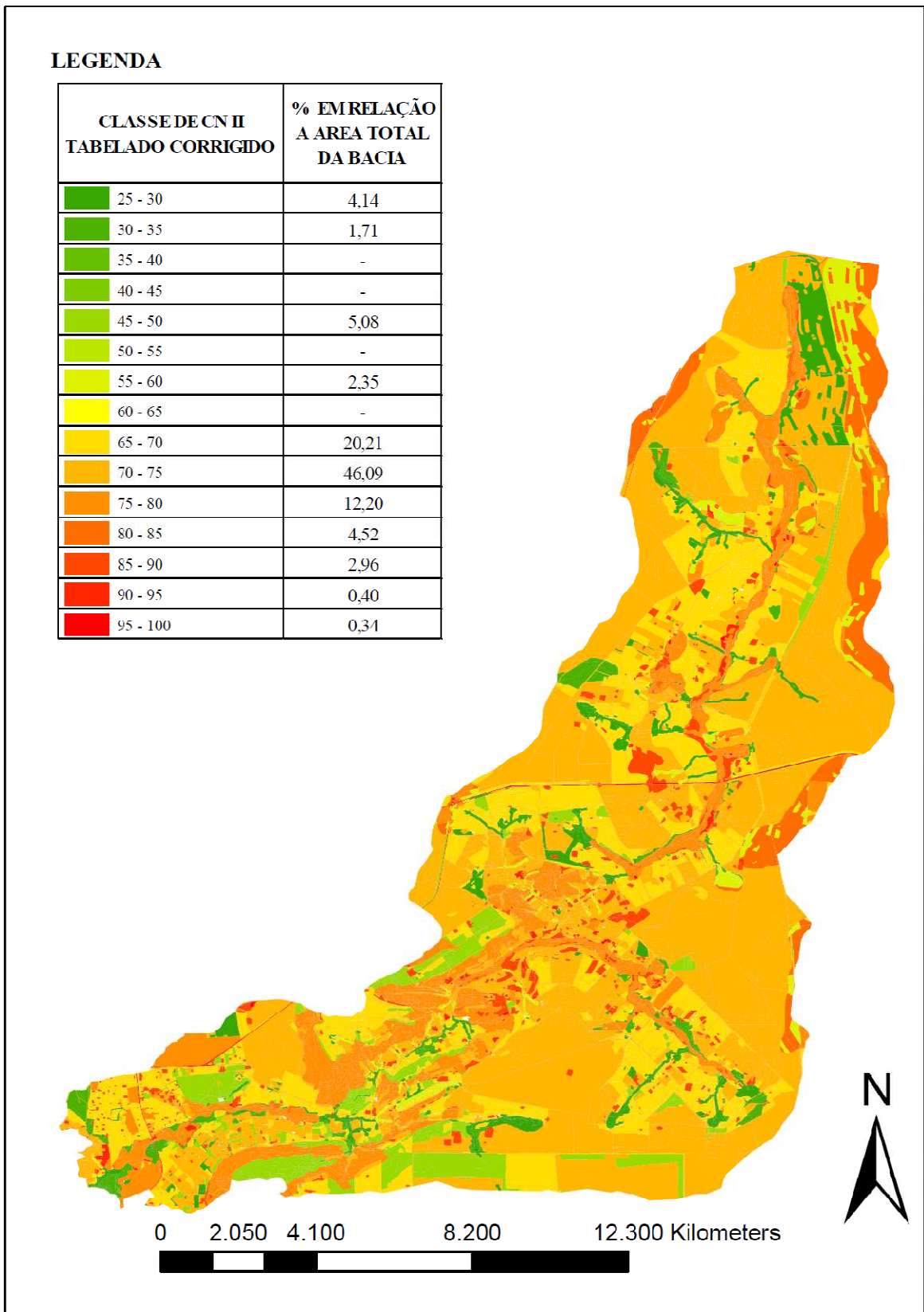


FIGURA 16. CNII da bacia do Ribeirão Pípiripau após a revegetação das áreas de RL e APP (Cenário 3).

Apesar de grande parte ainda se encontrar dentro da classe 70 a 80, a quantidade de áreas inseridas nas classes 20 a 30 e 50 a 60 aumentarem consideravelmente na bacia (Figura 17).

Além disso, as áreas dentro das APPs com CN superiores a 78 ficaram restritas às áreas com solos hidromórficos, com mata ciliar e com a vegetação nativa, classificada como *campo*.

Na Figura 17 é possível observar a variação nos intervalos do CN da bacia do Ribeirão Pipiripau, após a recomposição do passivo ambiental.

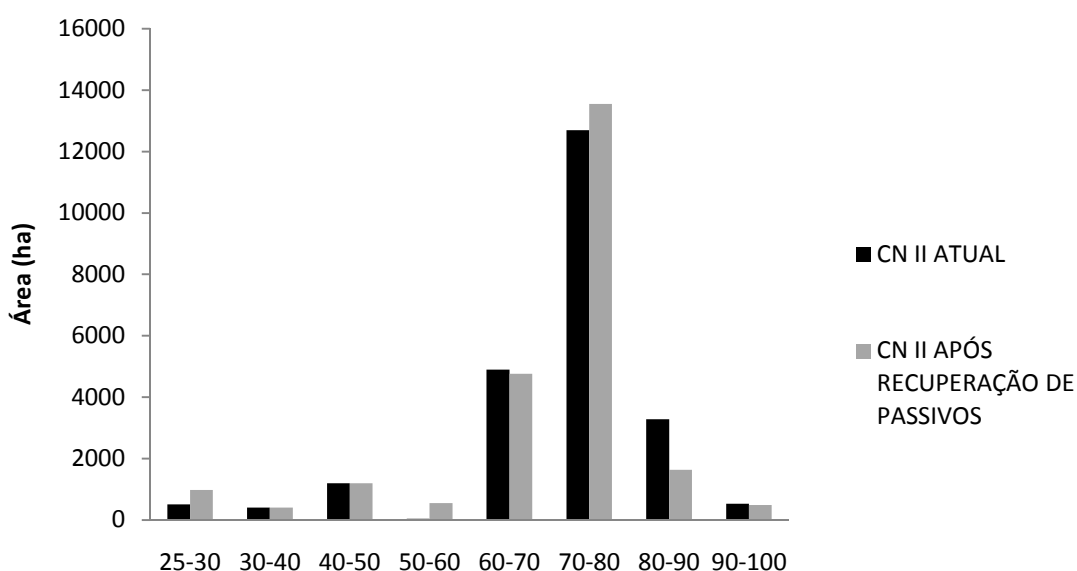


FIGURA 17. Classes de CNII calibrado da bacia antes e após a implementação do projeto de recuperação de áreas de passivo ambiental.

Ao implementar técnicas conservacionistas nas áreas de agricultura da bacia (Cenário 4: plantio direto, terraceamento e plantio em nível ao invés de preparo convencional do solo), o CNII médio ponderado corrigido da bacia passaria de 71,39 para 64,78, conforme pode ser observado na Figura 18.

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.

LEGENDA

CLASSE DE CN II TABELADO CORRIGIDO	% EM RELAÇÃO A ÁREA TOTAL DA BACIA
25 - 30	4,14
30 - 35	1,71
35 - 40	-
40 - 45	-
45 - 50	5,08
50 - 55	-
55 - 60	2,35
60 - 65	39,91
65 - 70	20,21
70 - 75	10,48
75 - 80	12,39
80 - 85	0,41
85 - 90	2,73
90 - 95	0,27
95 - 100	0,32

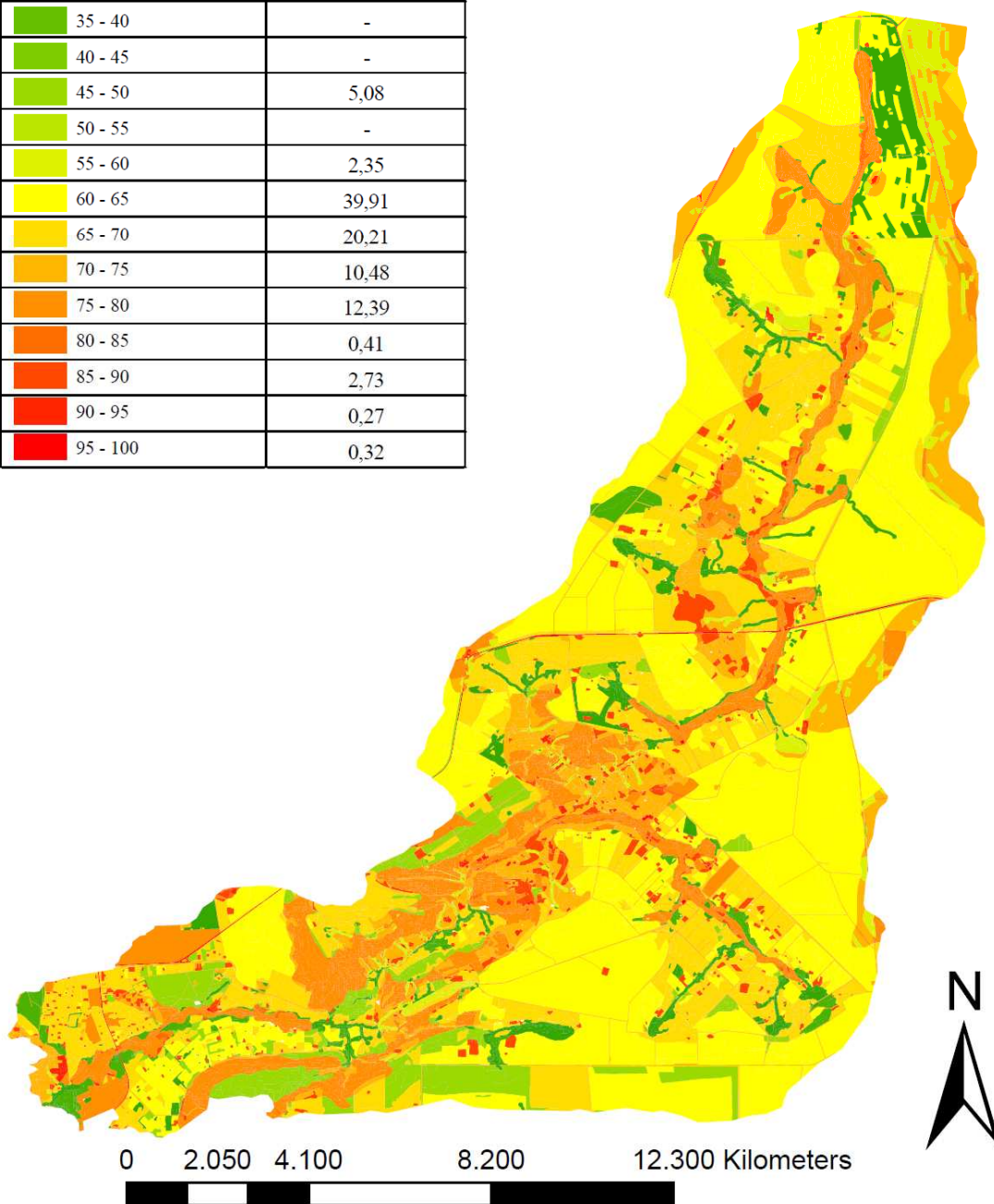


FIGURA 18. CNII da bacia do Ribeirão Pipuripau após a revegetação e adoção de práticas conservacionistas nas áreas de agricultura (Cenário 4).

Caso os proprietários implementassem adicionalmente boas práticas nas áreas de pastagem, tais como reforma do pasto e terraços (Cenário 5), o CNII calibrado da bacia passaria a ser 59,74.

No gráfico da Figura 19 é possível observar que ao adotar as boas práticas de uso e manejo do solo tanto nas áreas de agricultura como nas áreas de pastagem os resultados da diminuição do CNII seriam muito mais acentuados, visto que essas áreas ocupam uma área significativa na bacia.

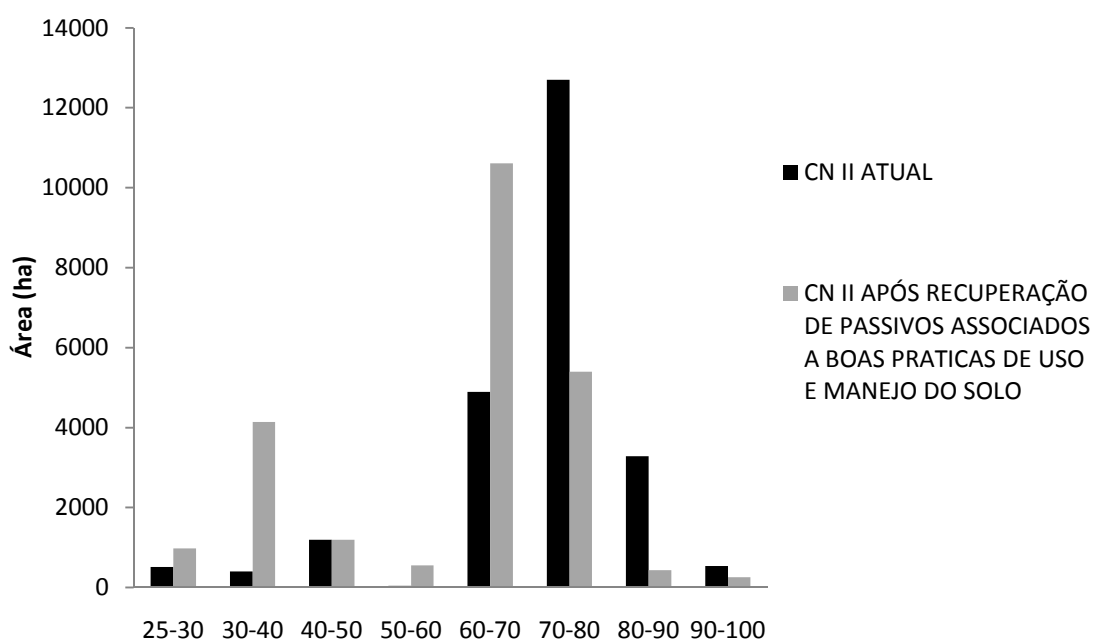


FIGURA 19. Comparação dos CNII calibrado na situação atual e após a recuperação das áreas de passivo ambiental e implementação de boas práticas de manejo em áreas de agricultura e pastagem (Cenário 5).

A Figura 20 apresenta os valores de CNII da bacia após a recuperação das áreas de passivo ambiental e implementação de boas práticas de manejo em áreas de agricultura e pastagem.

LEGENDA

CLASSE DE CN II TABELADO CORRIGIDO	% EMRELAÇÃO A ÁREA TOTAL DA BACIA
25 - 30	4,14
30 - 35	1,71
35 - 40	15,86
40 - 45	-
45 - 50	5,08
50 - 55	-
55 - 60	2,35
60 - 65	40,67
65 - 70	4,35
70 - 75	11,29
75 - 80	11,63
80 - 85	0,78
85 - 90	1,55
90 - 95	0,27
95 - 100	0,32

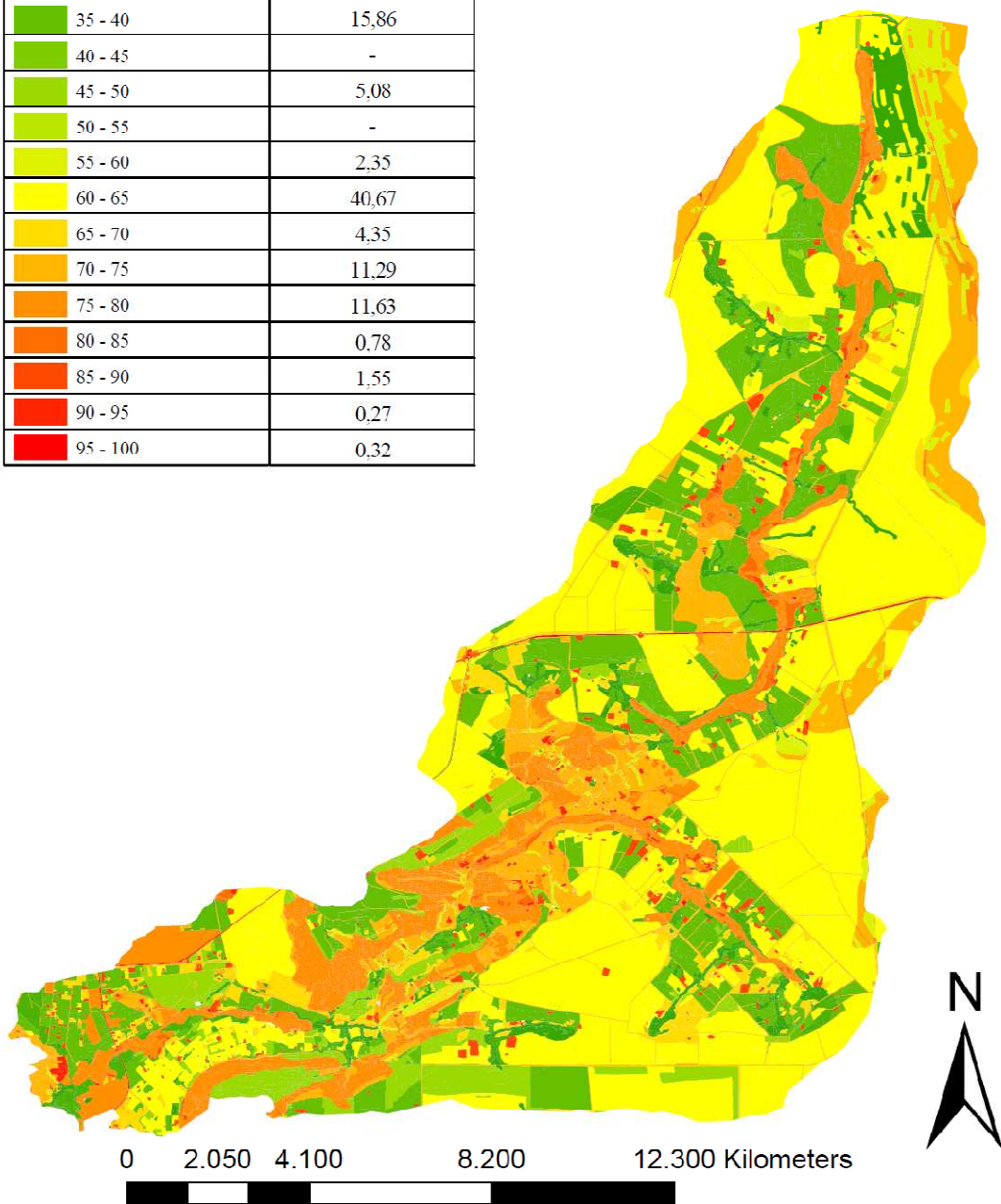


FIGURA 20. CNII da bacia do Ribeirão Pípiripau a revegetação e adoção de práticas conservacionistas nas áreas de agricultura e pastagem (Cenário 5).

5.4 QUANTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS AMBIENTAIS HIDROLÓGICOS

A Figura 21 abaixo indica que a correlação obtida entre as variáveis normalizadas Q_b/Q e $CNII/P$ é negativa ($r = -0,75$), com um r^2 considerado mediano (0,57) (HOFFMAN, 2006).

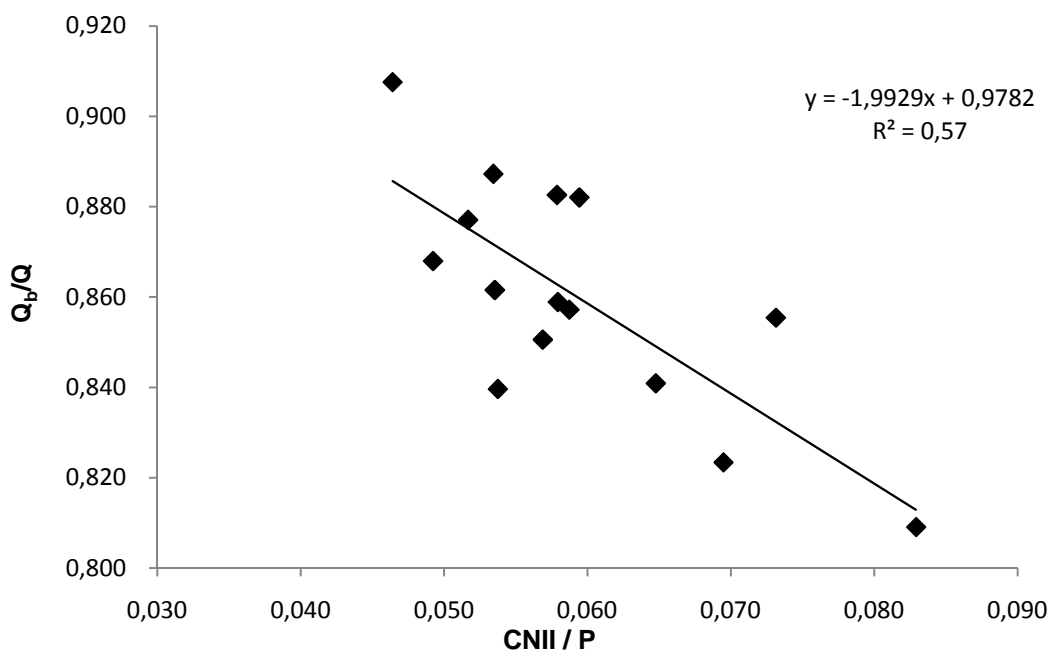


FIGURA 21. Relação obtida entre Q_b/Q e $CNII/P$ na bacia do Ribeirão Pipiripau.

De acordo com a Figura 21, 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 (MORGAN e HENRION, 1993).

A Tabela 11 apresenta os resultados obtidos para o aumento de escoamento de base em função de cada um dos cenários futuros propostos.

TABELA 11. 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	71,05	1,199	0,001
1M	2,038	2,358	1.253,15	71,39	71,05	2,040	0,001
1U	2,898	3,296	1.444,17	71,39	71,05	2,901	0,002
2S	1,198	1,420	1.062,12	71,39	69,72	1,203	0,004
2M	2,038	2,358	1.253,15	71,39	69,72	2,045	0,006
2U	2,898	3,296	1.444,17	71,39	69,72	2,907	0,008
3S	1,198	1,420	1.062,12	71,39	69,23	1,204	0,006
3M	2,038	2,358	1.253,15	71,39	69,23	2,047	0,008
3U	2,898	3,296	1.444,17	71,39	69,23	2,909	0,010
4S	1,198	1,420	1.062,12	71,39	64,78	1,216	0,018
4M	2,038	2,358	1.253,15	71,39	64,78	2,063	0,025
4U	2,898	3,296	1.444,17	71,39	64,78	2,929	0,030
5S	1,198	1,420	1.062,12	71,39	59,47	1,229	0,031
5M	2,038	2,358	1.253,15	71,39	59,47	2,082	0,044
5U	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. S: ano seco; M: ano médio; U: ano úmido.

Na Tabela 11, os cenários que consideraram somente a recomposição florestal das áreas de passivo ambiental, tanto isoladamente (cenários 1 e 2) ou em conjunto (cenário 3), não mostraram um incremento tão significativo quanto aos demais cenários que também reúnem o manejo conservacionista (4 e 5). Isto decorreu, pois a área das primeiras é relativamente pequena (10% da bacia) em relação às últimas (63%).

Por outro lado, como os cenários 4 e 5 consideraram 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 na vazão de base nos cenários da Tabela 11 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 12 apresenta a EVTr média em cada tipo de uso do solo, sob condições climáticas do Cerrado.

TABELA 12. Evapotranspiração real média provável dos usos dominantes da bacia.

	Agricultura*	Pasto **	Mata***	Cerrado****	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: *(EMBRAPA, 2005; GUERRA *et al.*, 2005; FRANCISCO, 2009); **(SANTOS *et al.*, 2004; AGUIAR *et al.*, 2004; SANTANA *et al.*, 2010); *** (SILVA JUNIOR, 2005; DUBOC e GUERRINI, 2007; SANTANA *et al.*, 2010) **** (EMBRAPA, 2002; SILVA *et al.*, 2000; LIMA *et al.*, 2009; SANTANA, 2003; SANTANA *et al.*, 2010).

Tomando-se os valores médios ponderados da Tabela acima, a evapotranspiração real média na condição atual da bacia seria de 3,0 mm/dia, passando a um valor esperado de 2,9 mm/dia, com a recuperação completa da mesma (cenário 5). A redução observada pode ser considerada, para todo efeito, insignificante.

Desta forma, a partir do modelo proposto e com os valores de EVTr praticamente idênticos, 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.

Embora Bosch e Hewlett (1982) e Cornish (1993) sugiram que a alteração dos fluxos hídricos em bacias só é perceptível a partir de uma modificação de 20% do recobrimento florestal, os aumentos calculados de Q_b nos cenários desse estudo indicam que esse valor pode ser inferior.

5.5 ANÁLISE ECONÔMICA

5.5.1 Receita após a Revegetação da Bacia

Para a análise de valoração dos serviços ambientais hidrológicos foram calculadas as receitas incrementais, para cada cenário proposto, a partir do aumento da vazão de base resultante da recomposição florestal da bacia. Para tanto, foi necessário o conhecimento de que em 2006 a CAESB captou em média uma vazão de 0,068 m³/s, gerando uma receita bruta de R\$ 4.707.509,79. Entretanto, a vazão outorgada pela ANA para a concessionária é de 0,4 m³/s, mostrando que a esta opera abaixo do patamar permitido.

É importante ressaltar que em função da baixa disponibilidade de água na bacia, principalmente durante o período de estiagem, a concessionária perde cerca de dois terços do potencial de captação e, conseqüentemente, dois terços de sua receita em relação à venda de água na bacia.

Diante dos resultados do estudo, a partir da implementação do projeto de recomposição florestal e manejo do solo ocorrerá um incremento da vazão de base médio e, conseqüentemente, a CAESB poderá captar maior quantidade de água, aumentando assim sua receita.

A Tabela 13 mostra os resultados obtidos quanto aos incrementos de vazão e receita, considerando-se os cenários propostos no estudo.

TABELA 13. Valores do incremento de vazão e financeiro obtido com a revitalização da bacia.

Cenário	ΔQ_b (m ³ /s)	Receita adicional (R\$/ano)
1S	0,001	61.842,52
1M	0,001	87.054,17
1U	0,002	105.596,13
2S	0,004	306.990,77
2M	0,006	432.143,27
2U	0,008	524.186,88
3S	0,006	396.556,53
3M	0,008	558.222,76
3U	0,010	677.120,45
4S	0,018	1.210.990,00
4M	0,025	1.704.680,51
4U	0,030	2.067.766,00
5S	0,031	2.134.255,01
5M	0,044	3.004.337,70
5U	0,048	3.303.694,99

De acordo com a Tabela acima, a receita anual de captação adicional de água na bacia pela concessionária variaria de R\$ 61 mil/ano, no cenário 1 (ano seco), até R\$ 3,3 milhões/ano no cenário 5 (em ano úmido).

É importante destacar que essa receita refere-se apenas ao caso de todo o incremento de vazão de base ser destinado à abastecimento. Por outro lado, essa receita poderia também ser quantificada pela consideração de outros possíveis usos da água incremental, como o uso industrial, que possivelmente gerariam retornos econômicos consideráveis. Ressalta-se ainda que há outros benefícios ecológicos, que também serão obtidos a partir da recomposição florestal e que não foram considerados neste estudo, caso contrário, o ganho seria muito maior.

5.5.2 Custo de Reposição

De acordo com os resultados obtidos, o custo de reposição (MRC) na bacia do ribeirão Pípiripau seria de R\$ 6,19 milhões, tomando-se como base o ano de 2010. Esse valor representa um valor médio de R\$ 2.808,74 ha/ano. A descrição dos custos envolvidos e obtidos no cálculo do C_r pode ser vista na Tabela 14.

TABELA 14. Custo de reposição referente à recomposição florestal das áreas de APP e RL na bacia do Ribeirão Pípiripau, relativas ao ano de 2010.

Custos	Descrição	Valor (R\$)
C1	Coveamento	1.006.276,55
C2	Roçagem	40.847,14
C3	Aquisição de mudas	4.253.879,41
C4	Mão de obra	887.200,00
TOTAL		6.188.203,10

Ao deflacionar esses valores para o ano de 2006, o valor total do custo de reposição do projeto de recomposição dos passivos ambientais foi de R\$ 4.702.187,66/ano, o qual representa um custo médio de R\$ 2.134,26/ha.ano.

5.5.3 Custo de Oportunidade da Terra

Ao deflacionar o preço da terra de R\$4.700/ha (ALIPAZ, 2010), com o IGP-DI de 1,3160 % referente ao período de 2006 - 2010 (FGV, 2010), obteve-se um preço da terra para 2006 de R\$3.571,36/ha.

A Tabela 15 mostra os resultados obtidos para os custos de oportunidade da terra nos cenários prognósticos do projeto (6% a.a e 8% a.a.).

TABELA 15. Custos de oportunidade da terra obtidos para o projeto de recomposição florestal na bacia do Ribeirão Pipiripau.

Taxa (% a.a.)	Custo de oportunidade (R\$/ha.ano)	Custo de oportunidade * (R\$/ano)	Custo de oportunidade total* (R\$ em 10 anos)
6	214,28	472.102,67	4.721.026,72
8	285,71	629.470,23	6.294.702,29

* Valores relativos à área total de passivo ambiental da bacia do Ribeirão Pipiripau.

A partir da Tabela 15 observa-se que os custos de oportunidade da terra para o ano de 2006 foram de R\$214,28/ha.ano para a taxa de 6% a.a. e de R\$285,71/ha.ano para a taxa de 8% a.a. De acordo com Rezende (2003), o custo de oportunidade de se manter a vegetação natural é realmente alto, considerando o preço da terra. Portanto, diante dos resultados obtidos no estudo, o produtor rural se sentirá estimulado a manter a vegetação, uma vez que o valor a ser pago (custo de oportunidade da terra) é elevado, mostrando ser uma boa alternativa econômica.

Chaves *et al.* (2004b), em seu estudo, havia sugerido um pagamento médio de R\$ 89,00/ha.ano, como forma de incentivo financeiro relativo à redução da erosão nas propriedades da bacia do Ribeirão Pipiripau.

Assim, observa-se que os resultados obtidos no presente estudo são superiores ao proposto por Chaves *et al.* (2004b), mostrando que o projeto de recomposição florestal é bastante atrativo para o produtor.

5.5.4 Pagamento por Serviço Ambiental

Os valores totais de compensação financeira por serviços ambientais na bacia, em 2006, relativos aos custos de recomposição florestal e custos de oportunidade da terra (pagos aos produtores participantes em um período de 10 anos) foram cerca de R\$9,4 milhões para taxa de 6% a.a. e de R\$10,9 milhões para taxa de 8% a.a. Os valores médios destes custos na bacia seriam de R\$ 4.277,00/ha para a taxa de 6% a.a e de R\$ 4.991,30/ha para a taxa de 8% a.a.

Alípaz (2010), em seu estudo de quantificação e valoração econômica de serviços ambientais redutores de sedimentação na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau, obteve um custo de R\$ 20.217,17/ha para a recuperação florestal.

A diferença entre os resultados obtidos no presente estudo e os encontrados pela autora acima se deve, principalmente, pelo fato de que Alípaz (2010) considerou custos, como os de monitoramento, e áreas a serem recuperadas diferentes das que foram utilizadas no presente estudo.

5.5.5 Maximização da produção dos serviços ambientais hidrológicos

A Figura a seguir mostra o comportamento das curvas de custos e receitas referentes aos cenários propostos.

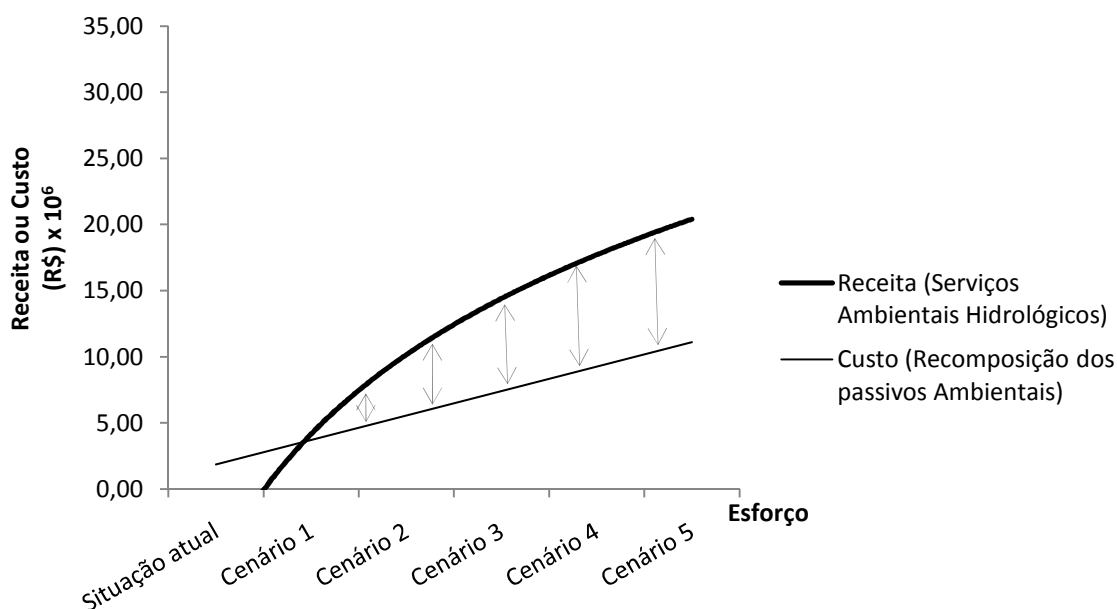


FIGURA 22. Curvas de custos e receitas referentes aos serviços ambientais hidrológicos da bacia do Ribeirão Pipiripau.

De acordo com a Figura 22, observa-se que a zona entre a interseção das curvas de custos e receitas corresponde ao lucro, e as áreas fora desta zona correspondem à prejuízos econômicos. Dessa forma, os esforços propostos pelos cenários possibilitam à concessionária maximizar a produção dos serviços ambientais visando à obtenção de maior lucro possível. Cabe ressaltar que, de acordo com o modelo de Pearce e Turner

(1990) observado na Figura 4, nenhum cenário atingiu a região III, que são áreas onde os custos superam as receitas.

Entretanto, destaca-se que para este estudo, a implementação das práticas conservacionistas não foi proposta com os seus custos arcados pela concessionária e sim pelos próprios produtores, portanto, não foram consideradas nesta análise.

5.5.6 Critérios de Avaliação Econômica de Projetos

Foram feitas dez simulações de cenários, considerando-se os incrementos de quantidade e qualidade. A Tabela 16 mostra os resultados de VPL e BPE encontrados para as simulações feitas.

TABELA 16. Valor presente líquido e benefício periódico equivalente dos cenários propostos, ao final do 35º ano, para a bacia do Ribeirão Pipiripau.

Cenário	Taxa de desconto (%)	Tempo do projeto (anos)	VPL (R\$)		BPE(R\$)	
			Total	ha	Total	ha.ano
1M	6	35	-4.236.698,37	-1.922,98	-292.221,44	-132,64
2M	6	35	-4.012.841,76	-1.821,38	-276.781,18	-125,63
3M	6	35	-3.520.348,00	-1.597,84	-242.811,99	-110,21
4M	6	35	5.092.516,94	2.311,43	351.250,55	159,43
5M	6	35	14.856.313,66	6.743,09	1.024.697,28	465,10
1M	8	35	-4.430.291,22	-2.010,85	-380.133,45	-172,54
2M	8	35	-5.408.815,11	-2.454,99	-464.093,99	-210,65
3M	8	35	-5.276.320,28	-2.394,85	-452.725,50	-205,49
4M	8	35	861.281,35	390,92	73.900,75	33,54
5M	8	35	7.819.049,81	3.548,97	670.900,00	304,51

A partir dos resultados da Tabela 16, observa-se que a inclusão de práticas conservacionistas (cenário 5) gera maiores benefícios para a concessionária, dado que elas geram maiores aumentos na vazão de base.

Na Figura 23 é apresentada a comparação do valor presente líquido para a taxa de 6% a.a, sendo que os cenários 4M e 5M são os únicos a apresentarem valores positivos, pois são os que reúnem também as práticas conservacionistas.

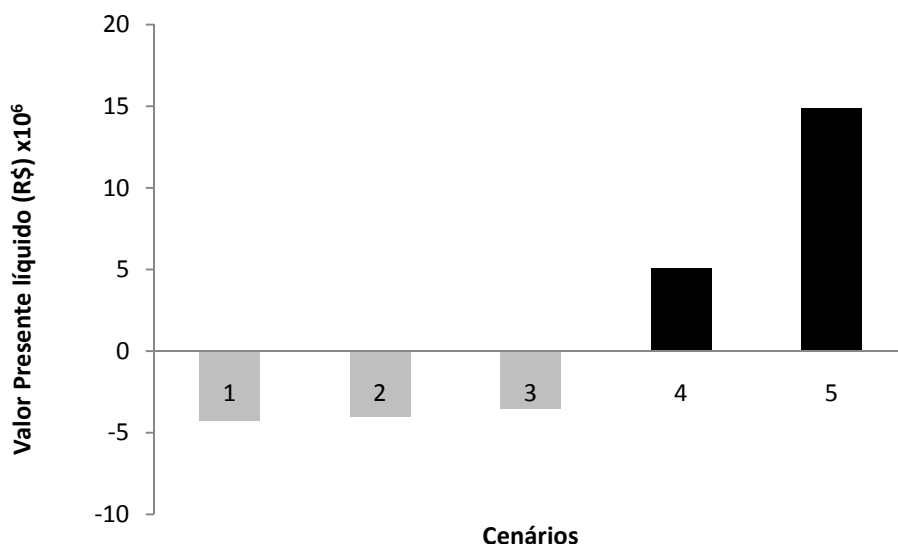


FIGURA 23. Comparação do VPL (cenários) para a taxa de 6% a.a.

Ao comparar os cenários analisados, é possível concluir que o melhor é o cenário 5M, com a taxa de 6% a.a. Nesse cenário, o VPL ao fim do projeto é de aproximadamente R\$ 14,8 milhões. O benefício periódico equivalente desse cenário é cerca de R\$ 1 milhão. Para os cenários que apresentaram VPL negativo ao final do horizonte de planejamento, a taxa interna de retorno é menor que a taxa de desconto.

No cenário 5M, com a taxa de 6% a.a., foi obtida uma TIR de 14,98% ao final do projeto. Já para o cenário 5M com a taxa de 8% a.a, a TIR obtida foi de 13,87%. Comparando-se esses valores com as taxas de desconto propostas (6% a.a e 8% a.a), pode-se afirmar que o projeto é economicamente viável em ambos os casos.

Para a análise com a taxa de 6% a.a., o cenário 4M apresentou uma inversão do fluxo de caixa no 20º ano. Neste ano, o projeto apresentou um VLP de R\$ 222.383,10. Este valor representa cerca de R\$ 101,00 por hectare. Já ao final do projeto, apresentou um VPL de aproximadamente R\$ 5 milhões, cerca de R\$ 2,3 mil por hectare. É importante destacar que a inversão de fluxo de caixa mostra o momento em que o projeto foi totalmente pago e passou a gerar lucros.

Para a mesma taxa, o cenário 5M apresentou uma inversão do fluxo de caixa no 13º ano (Figura 24). Neste ano, apresentou um VLP de aproximadamente R\$54 mil, ou melhor, cerca de R\$ 24,50 por hectare. No entanto, ao fim do projeto, apresentou um VLP de aproximadamente R\$ 14 milhões, cerca de R\$ 6,7 mil por hectare.

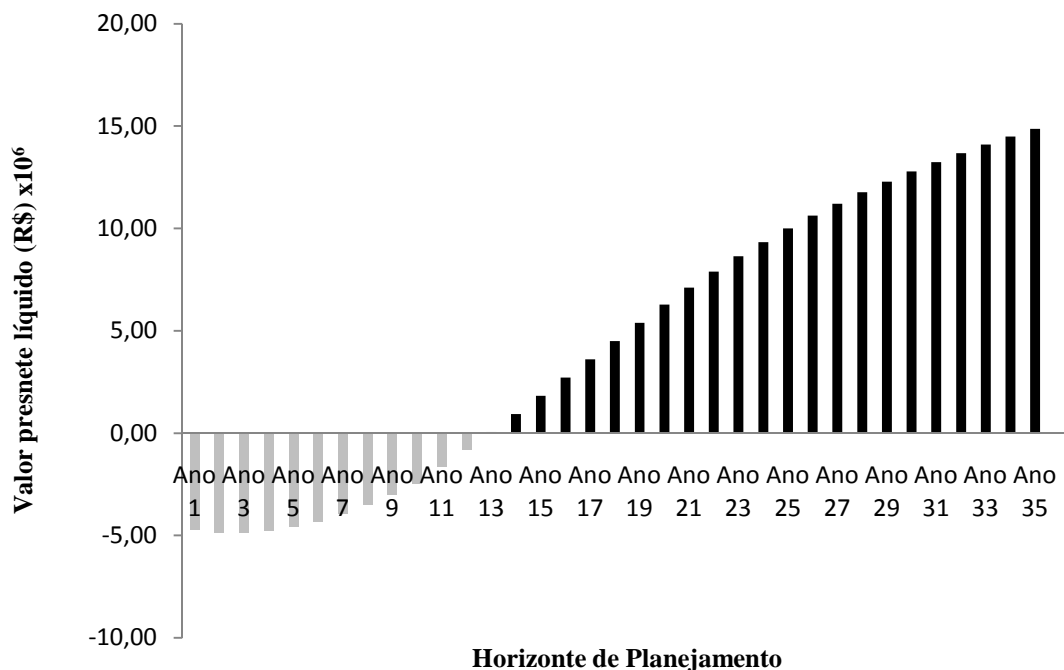


FIGURA 24. Fluxo de caixa do Cenário 5M a uma taxa de 6% a.a.

Para a análise com a taxa de 8% a.a., o cenário 5M apresentou uma inversão do fluxo de caixa no 16º ano (Figura 25). Neste ano, o VLP foi cerca de R\$ 235,7 mil, que representa R\$ 107,00 por hectare.

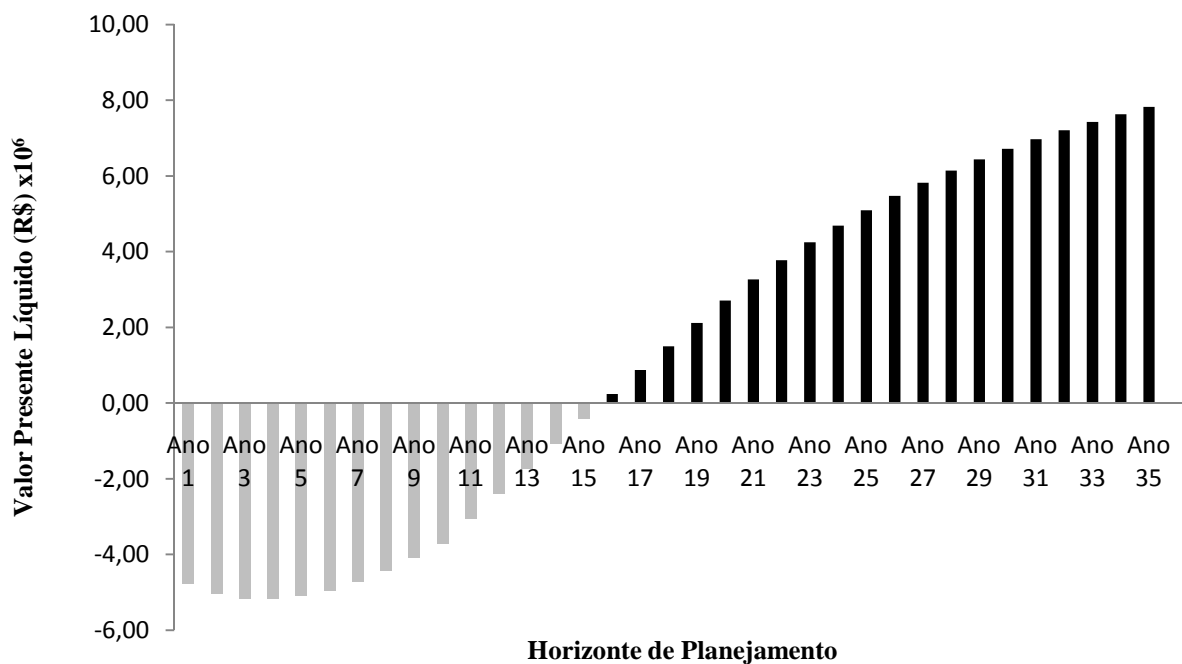


FIGURA 25. Fluxo de caixa do Cenário 5M a uma taxa de 8% a.a.

Cabe ressaltar que, no presente estudo não foi contabilizado a redução do gasto com o tratamento de água, caso estes tivessem sido considerados os valores obtidos na análise seriam mais expressivos.

Além disso, os resultados obtidos refletem somente o ganho dos serviços ambientais referentes aos processos hidrológicos, mas haverá, com o processo de recuperação, outras externalidades positivas que não foram computadas nas análises, caso fossem, os demais cenários provavelmente também seriam considerados viáveis para o mesmo horizonte de planejamento.

5.5.7 Análise Benefício – Custo (B/C)

A Tabela 17 apresenta os valores da relação benefício/custo dos cenários analisados no presente estudo.

TABELA 17. Resultados obtidos para o B/C dos cenários prognósticos analisados.

Cenário	Taxa de juros (% a.a.)	No 35º ano		
		Benefício (R\$)	Custo (R\$)	B/C
1M	6	693.242,27	5.184.158,55	0,13
1M	8	503.331,36	5.288.061,87	0,10
2M	6	3.441.305,27	7.694.933,53	0,45
2M	8	2.498.573,61	8.340.109,93	0,30
3M	6	4.445.319,54	8.176.904,42	0,54
3M	8	3.227.542,24	8.925.984,14	0,36
4M	6	13.574.956,38	8.176.904,42	1,66
4M	8	9.856.151,99	8.925.984,14	1,10
5M	6	23.924.572,90	8.176.904,42	2,93
5M	8	17.370.532,93	8.925.984,14	1,95

Na Tabela 17, destaca-se o cenário 5M, pois ele apresentou uma relação B/C de 2,93 e de 1,95 para as taxas de 6% a.a. e 8% a.a., respectivamente. Estes resultados permitem inferir que ao se investir na recuperação da bacia e no pagamento por serviços ambientais, a concessionária estaria garantindo um ativo financeiro não auferido por ela atualmente.

Uma vez que existem passivos ambientais significativos na bacia, conclui-se que, na situação atual, a relação B/C é bem inferior ao ideal (p.ex., o cenário 5). Isto decorre do fato de que a vazão captada atualmente é, em média, 60% do que poderia ser captado, no melhor cenário.

Além dos serviços ambientais relativos ao aumento do escoamento de base (quantidade de água), outros serviços hidrológicos, tais como a melhoria da qualidade de água deverão ser proporcionados pelos cenários analisados. Entretanto, esses benefícios não foram analisados nesse estudo.

Por isto, os resultados obtidos foram inferiores aos obtidos por Alípaz (2010) para a redução da sedimentação, visto que o valor gasto com o tratamento de água é bastante elevado e a redução destes custos obtida pela autora é bastante significativa.

5.6 RECOMENDAÇÕES

Como o estudo realizado foi teórico, os resultados obtidos devem ser verificados experimentalmente, ou, alternativamente, usando-se modelos de simulação contínuos, adequados às condições da bacia.

Ao se estabelecerem reservas legais condominiais na bacia, propõe-se também que haja remuneração do pagamento por serviços ambientais aos proprietários rurais que possuem cobertura florestal nativa superior ao legalmente requerido. O pagamento poderia ser feito de forma cruzada, pelos proprietários que não possuem reserva legal suficiente.

Esse instrumento econômico de conservação (TDR) seria assim uma forma de minimizar o custo de oportunidade da recomposição florestal de uma área de passivo ambiental (CHOMITZ, 2004).

6. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos no estudo é possível concluir que:

- Os passivos ambientais em relação a áreas de Reserva Legal e APP na bacia do Ribeirão Pipiripau corresponderam a 1897,59ha (0,08% da bacia) e 305,6ha (0,013% da bacia), respectivamente;
- Se recuperados, os passivos relativos à RL e APP na bacia estudada aumentariam o escoamento de base médio anual em 8 l/s, correspondendo a um volume adicional anual de 252.288.000 m³.
- Adicionalmente, se fossem implantadas práticas conservacionistas nas áreas agropecuárias na bacia, o escoamento de base médio aumentaria em 44 l/s, correspondendo a um volume adicional anual de 1.387.584.000 m³.
- Implementando um programa de recuperação ambiental como o proposto na bacia do Ribeirão Pipiripau, a concessionária aumentaria sua receita entre R\$ 61 mil a R\$ 3 milhões, dependendo do cenário utilizado.

- Considerando o horizonte de planejamento de 35 anos, somente quando se associam as práticas conservacionistas de uso e manejo do solo com a recomposição da RL e APP, obtêm-se cenários economicamente viáveis.
- O modelo de escoamento de base adicional é válido apenas para a bacia do Ribeirão Pípiripau, 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.
- Os valores de CN tabelados pelo NRCS (1972) foram válidos para a bacia do Ribeirão Pípiripau.
- O pagamento por serviços ambientais na bacia seria uma forma de incentivar os produtores rurais a cumprirem a legislação e adotarem boas práticas de manejo do solo.
- Além dos serviços ambientais relativos ao aumento do escoamento de base (quantidade de água), outros serviços hidrológicos, tais como a melhoria da qualidade de água, poderão resultar da recuperação proposta. Entretanto, eles não foram considerados no presente estudo pelos cenários analisados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL – ADASA. **Boletim de Monitoramento da Bacia do Ribeirão Pípiripau**. 2010.

———. **Resolução nº. 08**. 2010.

AGUIAR, A. P. A. et al. Ganho de peso de bovinos em pastagens dos capins Mombaça, Tanzânia-1 (“*Panicum maximum*” jacq cv. Mombaça e Tanzânia-1) e Tifton 85 (“*Cynodon dactylon*” x “*Cynodon nlemfuensis*” cv. Tifton 68) manejadas intensivamente. **In: Anais da R. Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004**.

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, 2009a.

ALBUQUERQUE, R.W. **Levantamento de malha fundiária e diagnóstico ambiental das propriedades da bacia do Pipiripau (DF/GO) para participação no Programa Produtor de Água.** Trabalho final de graduação em engenharia florestal, 2009b.

ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S. & SANTOS, J.R. **Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé,** PB. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 6:136-141, 2002.

ALIPAZ, S. M.F. **Quantificação e valoração econômica de serviços ambientais redutores de sedimentação na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau (DF/GO).** Dissertação de Mestrado. 2010.

ANGULO FILHO, R. et al. **Utilização do modelo "WEPP" para simulação de erosão no Brasil – Estudo preliminar.** Piracicaba, ESALQ, Relatório Técnico, v.3, p. 65-79, 1992.

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.

BANCO MUNDIAL. **Gerenciamento de recursos hídricos.** Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 292p, 1998.

———. **Paying for Biodiversity Conservation Services in Agricultural Landscapes.** Washington, D.C. U.S.A. 48p, 2004.

BELTRAN, J.M.; SANCHEZ, I.G. E FRUK, M.P. **Drenaje agrícola.** In: CURSO INTERNACIONAL DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO. Brasília, s.ed., 1988.

BERTOL, I.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Erosão hídrica em diferentes preparos do solo logo após as colheitas de milho e trigo, na presença e ausência dos resíduos culturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v.21, p.409-418, 1997.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** São Paulo, Ed. Ícone, 355 p. 1995.

BLACKIE, J.R. E EELES, C.W. **Lumped catchment models,** In: ANDERSON, M.G. & BURT, T. P., eds. Hydrological forecasting, Willey, Chichester, p.311-345. 1985.

BORMANN, F. H.; LIKENS, E.; FISHERD, W.; PIERCER, S. Nutrient loss accelerated by clear-cutting of a forest ecosystem, **Science,** 159, p.882-884, 1968.

BOSCH, J. M.; HEWLETT J. D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, 55: 3-23. 1982.

BRASIL. Lei nº 4771/65. **Institui o novo código florestal brasileiro**. Brasília, 1965.

———. Lei nº 9.433/97. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.**1997.

———. Lei nº 9.605/98. **Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**. 1998.

BRUINJZEEL, L.A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. UNESCO. 230 p. 1990.

CAESB. **Relatório Sobre o Plano de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Pipiripau**. Brasília, 2001.

CAMELO, A.P.S. **Quantificação e valoração dos serviços ambientais relativos à conservação do solo e da água na bacia do ribeirão Pipiripau**. Universidade de Brasília. Faculdade de tecnologia - Departamento de Engenharia Florestal. Trabalho de conclusão de curso. 2008.

CASSOL, E.A.; ELTZ, F.L.F.; MARTINS, D.; LEMOS, A.M. DE.; LIMA, V.S. DE; BUENO, A.C. Erosividade, padrões hidrológicos, períodos de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p. 1239-1251, 2008.

CHABARIBERY, D., SILVA, J. R., TAVARES, L. F. J., LOLI, M. V. B. MONTEIRO, A. V. V. M. Recuperação de matas ciliares: sistemas de formação de floresta nativa em propriedades familiares. **Informações Econômicas**, SP, v.38, n.6, jun. 2008.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, p. 731-750, 1996a.

———. Novo enfoque para o dimensionamento da área de seção transversal de terraços de retenção. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. 1996b.

CHAVES, H. M. L., BRAGA JR., B. DOMINGUES, A.F, SANTOS, D.G. Quantificação dos custos e benefícios do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria. **Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. Brasília. 2004a.

CHAVES, H. M. L., BRAGA JR., B. DOMINGUES, A.F, SANTOS, D.G. Quantificação dos Benefícios Ambientais e Compensações Financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): II. Aplicação. **Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. Brasília. 2004b.

CHAVES, H. M. L.; NEARING, M. A. Uncertain analysis of the WEPP soil erosion model. **Transactions of American Society of Agriculture Engineering**, v. 34, n. 6, p. 2437-2444, 1991.

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.

CHOMITZ, K. M.. Transfer of Development Rights and Forest Protection: an exploratory analysis. **International Regional Science Review**, v. 27, n. 3, p. 348-373, 2010.

CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society America Journal**, v.48, p.368-373, 1984.

COGO, N.P.; PORTELA, J.C.; AMARAL, A.J.; TREIN, C.R.; GILLES, L.; BAGATINI, T. & CHAGAS, J.P. Erosão e escoamento superficial em semeadura direta efetuada com máquina provida de hastes sulcadoras, influenciados pela direção da operação de semeadura e pela cobertura superficial do solo. In: **Congresso brasileiro de Ciência do Solo**, 31., Gramado, 2007. Resumos. Gramado, 2007.

COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA PARANAÍBA. **Características físicas da bacia hidrográfica do Ribeirão Pípiripau**. Disponível em http://www.paranaiba.cbh.gov.br/site/baciasTributariasEOrg/docs/Carac_pipiripau.pdf.> Acessado em 30 de julho de 2008.

CORNISH, P.M. The effects of logging and forest regeneration on water yields in a moist eucalypt forest in New South Wales, Australia. **Journal of Hydrology**, 150:301-322. 1993.

CRUZ, F. M.; LIMA, A. M. M. de. **Sistema de gerenciamento de recursos hídricos do estado do Pará – Água Pará - Manejo de Bacias Hidrográficas**. Belém, Série Relatórios Técnicos: Programa Gerenciamento de Recursos Hídricos, n. 10, 2007.

DEDECEK, R. A. Coberturas permanentes do solo na erosão sob condições de Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira**. Brasília, 24(4):483-488,1989.

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. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal**. SNLCS, Boletim Técnico 33, Rio de Janeiro, 455 p. 1978.

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

———. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 306p. 2006.

———. **Determinação da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica sob vegetação de Cerrado pelo método do balanço hídrico**. 2002.<Disponível em <http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/1?q=Evapotranspira%C3%A7%C3%A3o> acessado em 22 de fevereiro de 2011.

———. **Balanço de energia em um cultivo de soja no Cerrado**. 2005. .<Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/1?q=Evapotranspira%C3%A7%C3%A3o> acessado em 22 de fevereiro de 2011>.

EPA (US Environmental Protection Agency). **Valuing potential environmental liabilities for managerial decision-marking: a review of available techniques**. Publication 742-R-96- 003; Washington DC: EPA, 1996.

FELFILI, J.M.; RIBEIRO, J.F.; FAGG, C.W. & MACHADO, J.W.B. Recuperação de matas de galeria. **Embrapa Cerrado Série Técnica 21(1)**: 45-45. 2000.

FERNANDEZ, J. C.; GARRIDO, R. J. **Economia dos recursos hídricos**. Salvador: EDUFBA, 2002.

FERREIRA, V.A.; E R.E. SMITH. The limited physical basis of physically based hydrology models. p. 10–18. In **Modeling agricultural, forest, and rangeland hydrology**. Proceedings of the 1988 International Symposium. 12–13 Dec. Chicago 1988.

FONSECA, S. da. **Propriedades físicas, químicas e microbiológicas de um Latossolo Vermelho- Amarelo sob eucalipto, mata natural e pastagem.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa - Solos e Nutrição de Plantas. Viçosa, MG, 78p. 1984.

FRANCISCO E. R., **Desempenho agrônômico de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura no Cerrado do Distrito Federal.** Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias, 2009

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

GALDINO, C. A. B, et al. **Passivo ambiental das organizações: uma abordagem teórica sobre avaliação de custos e danos ambientais no setor de exploração de petróleo.** XXII ENEGEP – Curitiba, Paraná de 22 a 25 de out. 2002.

GALVÃO, D. M. CHAVES, H. M. L. Metodologia para o estabelecimento de vazões ambientais mínimas em rios não regulados: I. Teoria. **5º Simpósio de Pós-Graduação em Ciências Florestais.** Brasília, 2008.

GONDIM, J. Apresentação na 51a Reunião da CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. 2006.

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.

HANLEY, N.; SPASH, C. L. **Cost-benefit analysis and the environment.** Hants, Inglaterra: Edward Elgar, 278 p. 1993.

HEWLETT. J. D. **Principles of Forest Hydrology.** Athens, The University of Georgia Press., 183 p. 1982.

HOFFMANN, R. **Estatística para Economistas.** ISBN: 8522104948. Ed. 4. 432 p. 2006.

INSTITUTO BRASÍLIA AMBIENTAL – IBRAM –DF. **Mapeamento das áreas degradadas do Distrito Federal.** Disponível em <www.ibram.df.gov.br/sites/400/406/00002983.pdf>, acessado em 05 de novembro de 2010.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL - ISA. *O que é serviço ambiental?* Disponível em: <http://pib.socioambiental.org/pt/c/terras-indigenas/servicos-ambientais/o-que-e-servico-ambiental>, acessado em 20 de março de 2011.

KOBIYAMA, M.; MINELLA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.210, pg. 10-17 2001.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba, SP: ESALQ, 1986. 242 p. Texto básico para a disciplina “Manejo de Bacias Hidrográficas”, 2001.

LIMA, E. P.; ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; FERREIRA, A. S.; CAPUTI, E.; FERREIRA, W. J. **Estudo da evapotranspiração real diária utilizando imagem de satélite na bacia do rio Paracatu** Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, 2009.

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

MCCULLOCH, J.S.G., ROBINSON, M. History of forest hydrology. **Journal of Hydrology** 150, 189–216. 1993

MENDES, M. R. **Impactos do uso e ocupação do solo sobre a quantidade e qualidade da água na bacia hidrográfica do Ribeirão Pipiripau (DF/GO)**. Trabalho final de graduação em engenharia florestal. 2009

MERCURI E. G. F.; DEPPE F. LOHMANN, M.; SIMÕES, K. Metodologia da geração de dados de entrada e aplicação do modelo SWAT para bacias hidrográficas brasileiras. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009.

MONTEBELO, L.A.; CASAGRANDE, C.A; BALLESTER, M. V. R; VICTORIA, R.L.; CUTOLO A.P.A. Relação entre uso e cobertura do solo e risco de erosão nas áreas de preservação permanente na bacia do ribeirão dos Marins, Piracicaba-SP. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, INPE, p. 3829-3836. 2005.

MORGAN, M.G.; HENRION, M. **Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis**. Cambridge University Press, New York. 1993.

MOTTA, R. S. **Manual para Valoração Econômica de Recursos Ambientais**. Rio de Janeiro, IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 254p. 1997.

———. **Utilização de critérios econômicos para a valorização da água no Brasil.** Rio de Janeiro: Ed. IPEA, Série: Texto para discussão, nº 556, 85 p. 1998.

———. **Economia Ambiental.** Rio de Janeiro: FGV Editora, v. 01. 225 p. 2006.

MUSCUTT, A. D.; HARRIS, G. L.; BAILEY, S. W. DAVIES, D. B. Buffer zones to improve water quality: a review of their potential use in UK agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 45, p. 59-77. 1993.

NATHAN, R. J.; MCMAHON, A. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. **Water Resources Research** 26 (7): 1465 – 1473. 1990.

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

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. A. A.; ARRUDA, F.S.T. Valoração Econômica do Meio Ambiente: Ciência ou Empiricismo?. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v.17, n.2, p.81-115, maio/ago. 2000.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO - FAO. Disponível em: < www.rlc.fao.org > acessado em 25 de novembro de 2010.

PEARCE, D. W. **Economic Value and the Natural World.** The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 129p, 1993.

PEARCE, D.W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment.** Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, Estados Unidos, 378p. 1990.

QUEIROZ, J. M. DE. **Custo de oportunidade da conservação e redução de emissão de carbono por desmatamento e degradação florestal (REDD): um estudo de caso para a Amazônia brasileira.** Trabalho de Conclusão de Curso. UFRJ, CNPq, 2008.

RANIERI, V.E.L., **Reservas Legais: Critérios para localização e aspectos de gestão.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 2004.

RAMOS, M. R. S.; BORGES, P. R. O monopólio natural e as empresas de saneamento no Brasil. **Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.** ABES – Trabalhos Técnicos, 2001, 1- 3p.

REZENDE, G. C. **Ocupação agrícola, estrutura agrária e mercado de trabalho rural no cerrado: o papel do preço da terra, dos recursos naturais e das políticas públicas.** In: Helfand, S. M., Rezende, G. C. (eds.) Região e espaço no desenvolvimento agrícola brasileiro. Rio de Janeiro, IPEA, p. 173-212, 2003.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais.** 2ª edição. Editora UFV. 2008.

RIBEIRO, M. S; LISBOA, L. P. **Passivo Ambiental.** Trabalho apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Contabilidade, Goiânia – GO, 2000.

ROVIRA, A.D. Microbiology of pasture soil and some effects of microorganisms on pasture plants. In: WILSON, J.R. (ed.). **Plant relations in pastures.** Melbourne: CSIRO, p. 95-110. 1978.

SABARÁ, M.G. **Comparação ecológica entre rios de menor ordem, drenando bacias cobertas por plantios agrícolas, pastagens e plantios de *Eucalyptus grandis*, na região do médio Rio Doce (MG). Timóteo - SP.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de São Carlos - Ecologia e Recursos Naturais. 259p. 1999.

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.

SANTANA, O. A. **Evapotranspiração do estrato rasteiro em cinco fitofisionomias de cerrado.** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestal – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SANTOS H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de sistemas de produção de grãos e de pastagens sob plantio direto sobre o nível de fertilidade do solo após cinco anos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 25:645-653, 2001

SANTOS, N. S. Uma avaliação do custo de oportunidade de estocagem de produtos agroindustriais: O caso do arroz. **Custos e @gronegocio on line.** ISSN 1808-2882, v. 3, n. 2, 2007.

SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA E OBRAS - SEINFRA-DF. **Plano de gerenciamento integrado dos recursos hídricos do distrito federal.** PGIRH /DF. Relatório Temático Parcial 2. Brasília, 262p. 2006.

———. **Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do Distrito Federal.** PGIRH /DF Relatório Técnico Parcial 3 – etapa 1 Alternativas de compatibilização das disponibilidades e demandas hídricas nos aspectos quantitativos e qualitativos. Brasília, 93 p. 2006.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, CIÊNCIA E TECNOLOGIA - SEMATEC. **Inventario hidrológico e dos recursos hídricos superficiais do distrito federal.** Brasília: Sematec/DF, 1999.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO DISTRITO FEDERAL – SEMARH/DF. **Portaria nº 42 de 20 de outubro de 2005.**

SILVA, L. B. P.; KLINK, C. A.; SILVA, E. M. **Evapotranspiração em um Cerrado Denso e uma Pastagem Plantada.** EMBRAPA, edição 12.2003. .<Disponível em: <http://www.cpac.embrapa.br/publicacoes/search_pbl/1?q=Evapotranspira%C3%A7%C3%A3o> acessado em 22 de fevereiro de 2011.

SILVA JUNIOR, M. C. Fitossociologia e estrutura diamétrica na mata de galeria do Pitoco, na reserva ecológica do IBGE, DF. **Revista Cerne**, vol 11, n. 2, 2005.

SOULÉ, M. E.; WILCOX. E. B. A. Conservation biology: Its scope and its challenge. pp. 7-8. In: Conservation Biology: An Evolutionary- Ecological Perspective. Sinauer Associates. Sunderland, MA, USA. 1980.

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

THE CATSKILL CENTER. **New York City's Need for Water–The Watershed Agreement.** Disponível em: <www.catskillcenter.org/programs/csp/H20/Lesson4/lesson4.htm>, acessado em 05 de novembro de 2009.

THE PERMANENT COVER PROGRAM. **The Permanente Cover Program.** Disponível em: <<http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AC/displayafficher.do?id=1187267959357&lang=eng>> acessado em 24 de novembro de 2010.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Edit.Universidade. 1993

———. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos.** Brasília: Agencia Nacional de Águas, 2002. 150p

———. Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. In: TUCCI, C. E. M. e MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.** Brasília: MMA. 2006.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. **Clima e recursos hídricos no Brasil**. ABRH, Porto Alegre, RS, 2003, pp. 163-171. In: Tucci, C. E. M. e Braga, B. (orgs). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. ABRH, Porto Alegre, RS, 2003, pp. 1-22.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2: 135-152. 1997

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas, v.22, n.4, 1998.

UNCTAD. **Environmentally Preferable Goods and Services: Opportunities and Challenges for Caribbean Countries**. Disponível em <<http://www.unepunctad.org/cbtf/cbtf2/meetings/jamaica/conceptnote10.pdf>> , acessado em 15 de outubro de 2009.

WARBURTON, N.H. **Structure and conservation of forest avifauna in isolated rainforest remnants in tropical Australia**. In: *Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities*. Chicago: The University of Chicago Press, cap. 13, p. 190-206. 1997.

WORLD WILD FOUNDATION - WWF . **From Goodwill to Payments for Environmental Services**. In: *A Survey of Financing Options for Sustainable Natural Resource Management in Developing Countries*, p 28-39. 2003.