

MARIANA BARBOSA VILAR

**VALORAÇÃO ECONÔMICA DE SERVIÇOS AMBIENTAIS EM
PROPRIEDADES RURAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

V697v
2009

Vilar, Mariana Barbosa, 1982-

Valoração econômica de serviços ambientais em propriedades rurais / Mariana Barbosa Vilar. - Viçosa, MG, 2009.

xxii, 146f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

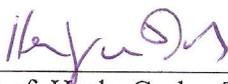
1. Florestas - Conservação.
 2. Economia ambiental.
 3. Proteção ambiental.
 4. Água.
 5. Créditos de carbono.
 6. Áreas protegidas. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

CDO adapt. CDD 634.941

VALORAÇÃO ECONÔMICA DE SERVIÇOS AMBIENTAIS EM PROPRIEDADES RURAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de julho de 2009.



Prof. Herly Carlos Teixeira Dias
(Coorientador)



Prof. Agostinho Lopes de Souza
(Coorientador)



Prof.ª Luciana Ferreira da Silva



Prof. Silvio Nolasco de Oliveira Neto



Prof. Laércio Antônio Gonçalves Jacovine
(Orientador)

*Dedico ao meu pai (in memoriam),
de quem herdei o espírito investigador e a
vontade de experimentar em busca de sabedoria.
Dedico à minha mãe, que
me ensinou a lutar pelos meus
sonhos e ideais.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por iluminar meus caminhos.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Florestal (DEF), por todo apoio, treinamento e estrutura proporcionada.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro sob a forma de concessão de bolsa de mestrado, e ao CNPq, pela concessão de auxílio financeiro para o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, pela orientação, dedicação e confiança. Ao professor Herly Carlos Teixeira Dias, por ter guiado meus trabalhos de graduação e por ter acreditado na proposta de continuar o mestrado, fazendo pesquisa e extensão. Ao professor Agostinho Lopes de Souza, pelos conselhos e ensinamentos. À professora Luciana Ferreira da Silva, pelas palavras de motivação e pela ajuda com os números e valores. Ao professor Sílvio Nolasco, por participar da banca examinadora.

À minha grande e única família. Em especial à minha mãe, meu exemplo de força e persistência. Aos meus irmãos, Aninha e Bernardo; às minhas avós, Alice e Biloca; ao meu padrinho Paulo e à tia Com, pelo incentivo; e aos meus tios, tias, primos e primas, que sempre torceram pelo meu sucesso. À d. Maria e ao sr. Israel e família, pelo apoio e carinho.

Ao Cerê, pelo amor, pelo companheirismo e pela cumplicidade. À Sofia, pela fonte de sabedoria e inspiração e pelo sorriso sutil e descontraído doado em todos os momentos.

Aos estagiários do projeto Proteção de Nascentes, Aninha, Camila e Vítor, pela companhia, pela ajuda nas medições das vazões e por acreditarem no trabalho, dando continuidade às ações iniciadas.

À Elza, pelos ensinamentos e pela oportunidade de experimentar os caminhos da extensão universitária.

Ao Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG), por ter financiado parte das ações desenvolvidas durante o projeto Proteção de Nascentes.

Ao Grupo de Estudos em Economia Ambiental – GEEA, pelas horas de discussão e pelo treinamento. À Juliana, Nathália e Daniel, pelo apoio nos trabalhos de campo. Ao Ricardo, pela ajuda no processamento dos dados florísticos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal – DEF, principalmente ao Tiãozinho, pela ajuda na identificação botânica no campo; ao Márcio, pela ajuda na delimitação das parcelas; ao Chiquinho, pelo bom humor; e aos demais funcionários, Ritinha, Rita, Jamile e Imaculada, pela boa vontade em ajudar. Aos funcionários da biblioteca do DEF, Chiquinho, Zé Mauro e Miguel, pela prontidão e colaboração.

Aos motoristas da Divisão de Transportes da UFV, pelo transporte seguro, pela paciência e pela boa vontade em enfrentar chuva e lama no período de verão!

Aos grandes amigos de Viçosa e aos colegas da pós-graduação, que fazem parte desta minha jornada.

À atenção e generosidade dos produtores rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, que participaram ativamente deste trabalho e que permitiram que acontecesse a interlocução entre o saber científico e o saber popular.

Eternamente agradecida!

BIOGRAFIA

MARIANA BARBOSA VILAR, filha de Rosana Barbosa Vilar e de Márcio José dos Santos Vilar, nasceu em 7 de outubro de 1982, em Belo Horizonte, Minas Gerais.

Em 2002, iniciou o curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo-o em agosto de 2007.

Em 2007, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais na Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua dissertação em julho de 2009.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xiii
RESUMO.....	xviii
ABSTRACT.....	xxi
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
Quantificação da biomassa e do carbono estocado em áreas no entorno de nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG.....	4
Resumo	4
Abstract.....	5
1. Introdução	6
2. Material e métodos.....	8
2.1. Descrição da área de estudo.....	8
2.2. Quantificação de biomassa e de carbono.....	10
2.2.1. Estrato arbóreo.....	10
2.2.1.1. Composição florística.....	10
2.2.1.2. Estrutura horizontal.....	11
2.2.1.3. Estrutura paramétrica.....	11
2.2.1.4. Estoques de biomassa e de carbono.....	12

	Página
2.2.2. Estrato gramináceo-herbáceo	14
2.2.2.1. Estoques de biomassa e de carbono	14
3. Resultados e discussão	15
3.1. Estrato arbóreo	15
3.1.1. Composição florística	15
3.1.2. Índices de diversidade.....	18
3.1.3. Estrutura horizontal.....	19
3.1.4. Estrutura paramétrica.....	19
3.1.5. Estoque de biomassa e de carbono	25
3.2. Estrato gramináceo-herbáceo.....	27
3.2.1. Estoques de biomassa e de carbono.....	27
4. Conclusões.....	28
5. Referências bibliográficas.....	29
Produção de água em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG	34
Resumo	34
Abstract.....	35
1. Introdução	36
2. Material e métodos.....	38
2.1. Descrição da área de estudo.....	38
2.2. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo	40
2.3. Classificação das nascentes	41
2.4. Morfometria das microbacias	42
2.4.1. Características geométricas.....	42
2.4.2. Características do relevo	44
2.4.3. Características da rede de drenagem.....	44
2.5. Métodos para medição da vazão	45
2.5.1. Método direto.....	46
2.5.2. Método indireto.....	46
2.6. Qualidade da água.....	47
2.6.1. Parâmetros físicos	48
2.6.1.1. Condutividade elétrica	48

	Página
2.6.1.1.1. Turbidez	48
2.6.2. Parâmetros químicos.....	49
2.6.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH).....	49
2.6.3. Parâmetros microbiológicos	49
2.6.3.1. Coliformes totais.....	49
2.7. Consumo de água nas microbacias	49
2.8. Produção líquida de água nas microbacias	51
3. Resultados e discussão.....	51
3.1. Classificação das nascentes	51
3.2. Morfometria	53
3.3. Vazões.....	60
3.4. Análises da qualidade da água.....	63
3.4.1. Parâmetros físicos.....	64
3.4.1.1. Condutividade elétrica	64
3.4.1.2. Turbidez.....	66
3.4.2. Parâmetros químicos.....	67
3.4.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH).....	67
3.4.3. Parâmetros microbiológicos	69
3.4.3.1. Coliformes totais.....	69
3.5. Consumo e produção líquida de água nas propriedades rurais.....	71
4. Conclusões.....	73
5. Referências bibliográficas.....	74
Valoração econômica de serviços ambientais prestados em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG	77
Resumo	77
Abstract.....	79
1. Introdução	80
2. Material e métodos.....	81
2.1. Descrição da área de estudo.....	81
2.2. Características socioeconômicas e ambientais das propriedades	82

	Página
2.3. Método de valoração.....	82
2.3.1. Variáveis tangíveis.....	83
2.3.1.1. Quantificação dos créditos de carbono	83
2.3.1.2. Quantificação da água.....	84
2.3.2. Variáveis intangíveis.....	86
3. Resultados e discussão.....	88
3.1. Características socioeconômicas e ambientais das propriedades	88
3.2. Método da valoração.....	90
3.2.1. Variáveis tangíveis.....	90
3.2.1.1. Quantificação dos créditos de carbono	90
3.2.1.2. Quantificação da água.....	91
3.2.2. Variáveis intangíveis.....	94
3.2.3. Matriz de valoração	96
4. Conclusões.....	99
5. Referências bibliográficas.....	100
Sistemas econômicos de incentivo à melhoria ambiental.....	103
Resumo	103
Abstract.....	104
1. Introdução	105
2. Revisão bibliográfica	106
2.1. Serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos	106
2.2. Tipos de serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos	107
2.3. Pagamento por Serviços Ambientais ou Ecossistêmicos (PSA ou PSE).....	108
2.4. Experiências internacionais de Pagamento por Serviços Ambientais	109
2.4.1. México	111
2.4.2. Costa Rica.....	112
2.4.3. Bolívia.....	113
2.5. Experiências nacionais de Pagamento por Serviços Ambientais.....	114
2.5.1. Espírito Santo-ES.....	114
2.5.2. Extrema-MG	115
2.5.3. Montes Claros-MG	115
2.5.4. Amazonas-AM.....	116
2.5.5. Apucarana-PR.....	116

	Página
2.5.6. Minas Gerais-MG	117
2.5.7. Guarapiranga-SP	118
3. Material e métodos.....	118
4. Resultados e discussão	121
4.1. Indicadores para a valoração de serviços ambientais	121
4.2. Matriz de valoração ponderada.....	124
4.3. Estratégias de sistema de Pagamento por Serviços Ambientais	126
4.4. Considerações gerais acerca dos sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).....	129
5. Conclusões	130
6. Referências bibliográficas.....	131
2. CONCLUSÃO GERAL.....	134
3. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	136
ANEXOS	137
ANEXO A.....	138
ANEXO B – ROTEIRO DA CONSULTA AOS ESPECIALISTAS.....	139
ANEXO C – CÁLCULOS DA ETAPA DE PONDERAÇÃO DA MATRIZ DE VALORAÇÃO	140
ANEXO D.....	143

LISTA DE FIGURAS

	Página	
1º Artigo		
1	Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG, com destaque para as dez propriedades rurais envolvidas neste estudo. Projeção: UTM, zona 23S. Datum: SAD 69.....	9
2	Famílias mais representativas para a florística das florestas amostradas em propriedades rurais pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	18
3	Distribuição do número total de indivíduos em classes diamétricas em cada propriedade rural amostrada na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	24
4	Volume por hectare e por classe diamétrica observado em três propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	25
5	Contribuição das espécies no total da biomassa estimada para as propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	26
2º Artigo		
1	Bacia Hidrográfica do Rio Doce com destaque para as bacias dos Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo e para as nascentes envolvidas na pesquisa. Projeção: UTM, zona 23S. Datum: SAD 69.....	39

	Página
2 Média anual da precipitação em Viçosa (VC) com base nas normais climatológicas do período de 1961 a 1990. Viçosa-MG.....	40
3 Mapa de localização das oito microbacias estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG. Projeção: UTM, Zona 23S. Datum: SAD, 69.....	54
4 Altimetria das microbacias estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG. Projeção UTM, Zona 23S. Datum: SAD, 69.....	56
5 Classes de declividade (%) das microbacias estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG. Projeção UTM, Zona 23S. Datum: SAD, 69.....	57
6 Vazão mensal das nascentes localizadas nas propriedades 2, 4 e 6 e distribuição mensal das precipitações acumuladas nos municípios de Viçosa (Precipitação V) e Porto Firme (Precipitação PF)-MG.....	62
7 Vazão mensal das nascentes localizadas nas propriedades 3, 8, 9 e 10 e distribuição mensal das precipitações acumuladas nos municípios de Viçosa (Precipitação V) e Porto Firme (Precipitação PF)-MG.....	63
8 Vazão mensal das nascentes localizadas nas propriedades 1, 5 e 7 e distribuição mensal das precipitações acumuladas nos municípios de Viçosa (Precipitação V) e Porto Firme (Precipitação PF)-MG.....	64
9 Contribuição em porcentagem das atividades desenvolvidas nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo para o seu consumo máximo de água. Viçosa/Porto Firme-MG.....	72

LISTA DE TABELAS

	Página
1º Artigo	
1	Fórmulas de cálculo dos parâmetros da estrutura horizontal..... 11
2	Listagem das espécies amostradas durante o inventário florestal realizado em três propriedades rurais localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG 16
3	Índice de diversidade florística para as propriedades rurais amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG..... 19
4	Parâmetros da estrutura horizontal das florestas amostradas nas três propriedades pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG 20
5	Estrutura paramétrica das florestas inventariadas nas propriedades 1, 2 e 3 da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/ Porto Firme-MG... 23
6	Estimativas totais da estrutura paramétrica das propriedades 1, 2 e 3 da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG 24
7	Estimativas de biomassa, estoque de carbono e CO ₂ equivalente por propriedade rural amostrada na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG 27
8	Estoques de biomassa (t.ha ⁻¹), de carbono (t.ha ⁻¹) e total de CO ₂ equivalente (t) encontrados dentro e fora das APPs no entorno de nascentes de propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG 28

2º Artigo

1	Estimativas do consumo humano de água (IGAM, 2009)	50
2	Estimativas do consumo de água destinada à dessedentação de animais (IGAM, 2009).....	50
3	Estimativas do consumo de água destinada à irrigação (IGAM, 2009)	50
4	Localização das propriedades rurais e classificação das nascentes amostradas quanto à origem e estado de conservação.....	52
5	Técnicas conservacionistas de água e solo implantadas em 2006 nas propriedades rurais pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	52
6	Classes de declividade de solos (adaptado de EMBRAPA, 1979).....	58
7	Morfometria das microbacias pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	59
8	Vazões mensais e médias (L/s) do período chuvoso de nascentes localizadas em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	60
9	Vazões mensais e médias (L/s) do período de estiagem de nascentes localizadas em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	61
10	Deflúvio por período e anual para as nascentes localizadas em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	61
11	Condutividade elétrica da água das nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG, 2009	65
12	Turbidez da água das nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG, 2009.....	66
13	Potencial hidrogeniônico (pH) da água das nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG, 2009 .	68
14	Coliformes totais presentes na água de dez nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG, 2009 .	70
15	Limites dos parâmetros físico-químicos (condutividade, pH e turbidez) e microbiológicos (coliformes totais) para enquadramento dos corpos d'água em classe de uso	71

16	Consumo de água estimado para as propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	71
17	Produção líquida de água e relação entre deflúvio das nascentes e consumo de água em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	73

3º Artigo

1	Valores da cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas brasileiras.....	85
2	Valores usados pela Prefeitura de Apucarana-PR, para incentivo aos produtores rurais que preservam nascentes.....	86
3	Variáveis intangíveis e quantificadores para a geração do Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental (VERB).....	87
4	Resumo das informações socioeconômicas e ambientais das dez propriedades rurais estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	89
5	Resumo dos estoques de carbono e créditos gerados nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	90
6	Valores atribuídos à produção de água nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	92
7	Consumo e valor de uso da água em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/ Porto Firme-MG	93
8	Valores dos quantificadores atribuídos aos serviços ambientais prestados nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG.....	95
9	Cenário 1: Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos por propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/ Porto Firme-MG.....	96
10	Cenário 2: Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos por propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	97
11	Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos por propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/ Porto Firme-MG. Cenários 1 e 2	99

4º Artigo

1	Fatores de redução e aumento no Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental e seus quantificadores	121
2	Porcentagens de redução e aumento no Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental	121
3	Grau de importância médio dos serviços ambientais e seus respectivos indicadores utilizados na matriz de valoração, segundo resultados de consultas à especialistas	122
4	Fatores de redução e aumento no Valor Estimado de Referência para os Benefícios Ambientais prestados em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	123
5	Fatores de ponderação e somatório ponderado das variáveis intangíveis (<i>in</i>) utilizadas para valoração econômica dos serviços ambientais prestados em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.....	124
6	Cenário 1: Novos Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	125
7	Cenário 2: Novos Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	125
8	Novos Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais por unidade de área das propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG	126

Anexo A

1A	Tarifas de cobrança por metro cúbico de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa-MG (SAAE) para abastecimento domiciliar de água tratada	138
----	---	-----

Anexo B

1B	Grau de importância dos serviços ambientais e seus respectivos indicadores utilizados na matriz de valoração	139
----	--	-----

Anexo C

1C	Valores dos quantificadores atribuídos aos serviços ambientais prestados na propriedade 1	141
----	---	-----

Anexo D

1D	Roteiro contendo princípios, critérios e indicadores para avaliação de serviços ambientais prestados em propriedades rurais.....	143
----	--	-----

RESUMO

VILAR, Mariana Barbosa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2009.
Valoração econômica de serviços ambientais em propriedades rurais. Orientador:
Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientadores: Herly Carlos Teixeira Dias e
Agostinho Lopes de Souza.

Serviços ambientais, dos mais variados tipos, relacionados à produção de água e à manutenção da biodiversidade e do clima são realizados por produtores rurais anônimos, que ainda não são reconhecidos pela sociedade. A legislação vigente não incentiva o produtor rural a manter áreas importantes para a garantia desses serviços e, pelo contrário, pune-os através da política de comando e controle, que tem se mostrado pouco efetiva. Para que os serviços ambientais sejam reconhecidos e valorizados é necessário realizar pesquisas que possam orientar os tomadores de decisões e balizar os próprios produtores rurais na determinação do valor econômico de suas propriedades. Este estudo teve como objetivo geral determinar o valor econômico dos serviços ambientais prestados em propriedades rurais pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG, como base para a implantação de sistemas de incentivo à proteção ambiental. Foram estudadas dez propriedades rurais, que se encontram em região limítrofe aos municípios de Viçosa, Porto Firme e Guaraciaba-MG. Para valoração dos serviços ambientais foi utilizada uma adaptação da matriz de valoração de danos ambientais, gerando a chamada Matriz de Valoração de Benefícios Ambientais. Para utilização desse método foram identificadas duas categorias de variáveis: quantificáveis e intangíveis. O produto do somatório dos quantificadores das variáveis intangíveis pelo

somatório dos valores das variáveis quantificáveis resulta no Valor Estimado de Referência para os Benefícios Ambientais (VERB). Dentro da categoria das variáveis quantificáveis foram estimados os estoques de carbono da vegetação arbórea e da vegetação graminácea-herbácea em Áreas de Preservação Permanente (APPs) no entorno de nascentes. A determinação da biomassa da vegetação arbórea foi realizada através de equações alométricas, visto que nessas áreas não seria viável, técnica e legalmente, a utilização do método destrutivo. A biomassa da vegetação graminácea-herbácea foi definida através do método da proporcionalidade. A conversão da biomassa em carbono se deu pela adoção de um fator 0,5 e a contabilização dos créditos de carbono foi gerada por um fator igual a 3,67. Outra variável quantificável, que também compôs a Matriz de Valoração de Benefícios Ambientais, foi a produção líquida de água das nascentes localizadas nas propriedades rurais estudadas. Essas nascentes abastecem os Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo, que são afluentes do Rio Doce, um dos principais rios do Estado de Minas Gerais. As medições das vazões das nascentes foram realizadas durante o período de setembro de 2008 a junho de 2009. Foram utilizados o método direto de medição da vazão, empregando-se balde e cronômetro, e também o método indireto, através de um micromolinetete. Foram atribuídos aos estoques de carbono existentes nas propriedades rurais os valores da comercialização dos créditos de carbono na bolsa de Chicago. Para a produção de água nas propriedades rurais foram atribuídos dois valores: valor utilizado na cobrança pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (cenário 1); e valor utilizado no sistema de pagamento por serviços ambientais empregado em Apucarana-PR (cenário 2). Os serviços ambientais relacionados à qualidade do ar, qualidade da água, conservação do solo e biodiversidade caracterizaram as variáveis intangíveis, às quais não foram atribuídos valores econômicos e sim indicadores passíveis de quantificação. Na vegetação arbórea, o estoque de carbono médio estimado foi igual a 59,72 t.ha⁻¹ nas APPs protegidas. A média do estoque de carbono encontrado nas gramíneas, que caracterizaram as APPs em processo de recuperação, foi de 3,87 t.ha⁻¹. Convertendo os estoques de carbono presentes nas APPs dessas propriedades em créditos de carbono, tem-se para a vegetação arbórea um valor médio de R\$568,06.propriedade⁻¹ e para a vegetação graminácea-herbácea a quantia de R\$12,74.propriedade⁻¹. Foram encontrados um deflúvio máximo de 333.807,00 m³.ano⁻¹ e um deflúvio mínimo de 1.591,92 m³.ano⁻¹. O consumo médio de água por propriedade rural é de 1.603,55 m³.ano⁻¹, o que significa que todas as propriedades rurais são autossuficientes

em relação à produção de água. Considerando a produção líquida de água como sendo a diferença entre o deflúvio anual das nascentes e o consumo anual nas propriedades rurais, tem-se uma média da produção líquida de água igual a $65.375,16 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$. Isto geraria um valor de $\text{R}\$653,75.\text{ano}^{-1}$ para a produção líquida de água considerando o cenário 1. No cenário 2, a produção líquida de água teve valor médio de $\text{R}\$798,00.\text{ano}^{-1}$. O produto do somatório das variáveis intangíveis pelas variáveis quantificáveis gerou valores médios de VERB iguais a $\text{R}\$16.942,21.\text{ano}^{-1}$ (cenário 1) e $\text{R}\$21.127,44.\text{ano}^{-1}$ (cenário 2). Adotando-se esses valores como referência, pode-se dizer que eles se referem à valorização dessas propriedades rurais devido à presença dos recursos naturais e ao manejo adotado pelos produtores para manutenção dos serviços ambientais. Aprimorando este método de valoração realizou-se a ponderação das variáveis intangíveis através da técnica Delphi. Foram consultados 15 especialistas da área, para que eles expressassem sua opinião sobre o grau de importância de cada indicador utilizado. A nova matriz de valoração incluiu a ponderação das variáveis intangíveis e um fator de correção dos valores conforme a caracterização socioeconômica e ambiental dos produtores rurais envolvidos na pesquisa. A nova matriz de valoração, após aprimoramento através da técnica Delphi de ponderação, indicou valores médios ponderados de VERB por área da propriedade rural iguais a $\text{R}\$402,18.(\text{ha}.\text{ano})^{-1}$, no cenário 1; e $\text{R}\$517,78.(\text{ha}.\text{ano})^{-1}$, no cenário 2. Esses novos valores atribuídos aos benefícios ambientais promovidos nas propriedades rurais estudadas servem como referência para implantação de políticas públicas que incentivem o produtor rural a manter os serviços ambientais. Os estoques de carbono e a produção de água podem ser considerados importantes parâmetros para a valoração econômica de serviços ambientais prestados em propriedades rurais. Entretanto, a simples valoração não significa o sucesso da implantação dos sistemas de incentivo ambiental. Para que isso ocorra é necessário haver engajamento político de todos os atores que serão envolvidos nesse processo, e certamente os benefícios serão notados tanto pelos produtores rurais quanto pelos consumidores de serviços ambientais. Ao efetivar um sistema de incentivo à proteção ambiental incorporam-se os recursos naturais ao sistema econômico e minimizam-se os efeitos da utilização indiscriminada desses bens e serviços fornecidos pelo meio ambiente.

ABSTRACT

VILAR, Mariana Barbosa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2009.
Economic valuation of environmental services on farms. Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-Advisers: Herly Carlos Teixeira Dias and Agostinho Lopes de Souza.

Environmental services related to water production, biodiversity maintenance and climate regulation, are being produced by anonymous farmers, who have not been recognized by the society yet. Nowadays, the environmental law doesn't encourage farmers to maintain important areas to ensure the provision of the environmental services. On the contrary, the current law punishes the farmers through the command control policy that has been proven ineffective. It is necessary to carry out researches to recognize and value the environmental services. The results of these researches can guide the decision makers and the farmers to determine the economic value of their farms. Thus, this study has aimed at determining the economic value of the environmental services provided on ten farms which belong to the Turvo Limpo River Watershed-MG. The economic valuation of environmental services is an important stage for the establishment of incentive systems for environmental protection. Ten farms were visited in a bordering area of three towns: Viçosa, Porto Firme and Guaraciaba-MG. An adaptation of the valuation matrix of environmental damages was used to generate the valuation matrix of environmental benefits. To use this method two categories of variables were identified: quantifiable and intangible variables. Multiplying the intangible variables sum times the quantifiable variables sum yields the

Reference Value for the Environmental Benefits (RVEB). The category of quantifiable variables was shown by the carbon stock of the arboreal vegetation and of the grassy-herbaceous vegetation in Permanent Preservation Areas (PPAs) around springs located on each studied farm. The biomass of the arboreal vegetation was determined through allometric models. The destructive method would not be technically and legally viable. The biomass of the grassy-herbaceous vegetation was defined through the proportionality method. Conversion of biomass into carbon stock was obtained by using a 0.5 factor, and the estimation of the generated carbon credits by a 3.67 factor. The water production of each spring located on the studied farms was another quantifiable variable that made up the valuation matrix of environmental benefits. Those springs feed the Turvo Limpo River and Turvo Sujo River. These rivers are tributaries of the Doce River, one of the main rivers of Minas Gerais state. The springs flows measurements were carried out from September 2008 until June 2009. The direct method of flow measurement was used through bucket and chronometer. The indirect method was also used through a flow probe. Values of the carbon credits from the Chicago Climate Exchange were attributed to the existent carbon stock on the farms. For the water production on the farms two values were attributed: charging of water used in the South Paraíba River Watershed (scenario 1); and the value used in the system of payment for environmental services employed in Apucarana-PR (scenario 2). The environmental services related to the air quality, water quality, soil conservation and biodiversity characterized the intangible variables. Economic values were not attributed to the intangible variables. Then, quantified indicators were attributed to the intangible variables. The arboreal vegetation presents an average carbon stock of $59.72 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ in protected PPAs. The average carbon stock found in the grassy-herbaceous vegetation, which characterized PPAs in a recovering process, was $3.87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Converting the present carbon stocks of these PPAs to carbon credits, it means for the arboreal vegetation an average value of $\text{R}\$568.06\cdot\text{farm}^{-1}$ and for the grassy-herbaceous vegetation the amount of $\text{R}\$12.74\cdot\text{farm}^{-1}$. The maximum annual flow was $333,807.00 \text{ m}^3\cdot\text{year}^{-1}$, and a minimum annual flow of $1,591.92 \text{ m}^3\cdot\text{year}^{-1}$. An average water consumption for each farm is $1,603.55\text{m}^3\cdot\text{year}^{-1}$, which means that the studied farms are self-sufficient in water production. Considering the net production of water as being the difference between the annual spring flow and the annual water consumption on the farms, an average value of the net production of water is $65,375.16 \text{ m}^3\cdot\text{year}^{-1}$. This would generate a value for the net production of water equals to $\text{R}\$653.75\cdot\text{year}^{-1}$.

considering scenario 1. At scenario 2, the net production of water had an average value of R\$798.00.year⁻¹. The multiplication of the intangible variables times the quantifiable variables yields R\$16,942.21.year⁻¹ (scenario 1) and R\$21,127.44.year⁻¹ (scenario 2), as an average RVEB value. Adopting the RVEB values as a reference, it's interesting to consider RVEB as a farm's appraisal and valuation due to the existence of natural resources and also to the management adopted by the farmers for the environmental services provision. Improving the valuation method, the intangible variables were weighed through the Delphi technique. For this, 15 specialists were consulted and asked to express their opinion about the level of importance of each indicator used. The new valuation matrix included the intangible variables after weighing and a correction factor. This factor depends on the socioeconomic and environmental features of each farm involved in the research. The new valuation matrix, after improvement through the Delphi technique, indicated weighed values for RVEB per area of R\$402.18.(ha.year)⁻¹, in scenario 1; and R\$517.78.(ha.year)⁻¹, in scenario 2. The new values attributed to the environmental benefits provided on the studied farms serve as a reference for implementation of public policies, which would encourage farmers to maintain the environmental services. The carbon stock and the water production are important parameters to be considered for economic valuation of the environmental services provided on farms. However, the valuation alone does not mean success of the establishment of the incentive systems for environmental protection. For these systems to succeed, it is necessary to have a political engagement of all involved in this process. Certainly, the benefits will be noticed by both farmers and consumers of environmental services. When an incentive system for environmental protection becomes effective, the natural resources are incorporated into the economic system. In addition, it is possible to minimize the effects of the indiscriminate use of environmental goods and services.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Serviços ambientais, dos mais variados tipos, relacionados à produção de água e à manutenção da biodiversidade e do clima estão sendo executados por produtores rurais anônimos, que ainda não são reconhecidos pela sociedade. Entretanto, a legislação vigente não incentiva o produtor rural a manter áreas importantes para a garantia desses serviços e, pelo contrário, pune-os através da política de comando e controle, que tem se mostrado pouco efetiva.

As Áreas de Preservação Permanente (APPs) estão previstas no Código Florestal para garantir a manutenção dos recursos hídricos e da biodiversidade, a estabilidade ecológica e o bem-estar das populações humanas. No entanto, estas áreas não podem ser utilizadas diretamente pelos produtores rurais e não geram renda para eles, o que torna ilegal qualquer outra forma de uso do solo nessas áreas. A legislação ambiental vigente precisa atualizar-se, e alguns instrumentos econômicos devem ser utilizados para que a política de comando e controle seja modificada. Sendo assim, acredita-se que o estabelecimento de incentivos econômicos possa motivar produtores rurais a manter preservadas áreas importantes para a manutenção dos serviços ambientais, como as Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal, visto que estas já estão previstas na legislação atual. Partindo do princípio de que a sociedade como um todo usufrui, direta ou indiretamente, dos benefícios gerados por essas áreas, uma opção seria que ela pagasse pelos benefícios proporcionados e que o valor arrecadado fosse direcionado para os produtores rurais responsáveis pela provisão desses serviços ecossistêmicos. O Princípio do Poluidor-Pagador (PPP) define que o poluidor deverá arcar com os custos

das medidas para redução da poluição, decididas pelas autoridades públicas, para assegurar que o meio ambiente se encontre em estado aceitável. Complementando esse princípio, o do Conservador-Recebedor define que aquele que conserva deve receber algum incentivo ou até mesmo remuneração para manter sua atividade conservacionista.

Os valores econômicos dos serviços ambientais devem ser obtidos adequadamente para que possam ser incorporados nas contas econômicas nacionais, balizando as decisões políticas, econômicas e ambientais. Entretanto, valorar economicamente um serviço ambiental não significa intervir em políticas para reorientação das práticas de uso racional dos recursos naturais. A intervenção deve resultar de um processo de planejamento integrado e da gestão dos recursos naturais, atendendo aos anseios dos diversos setores de desenvolvimento estabelecidas em um dado território.

Diante disso, é necessário realizar estudos que possam balizar as políticas públicas para a implementação do pagamento por serviços ambientais como instrumento econômico de incentivo à proteção ambiental. Portanto, este estudo teve como objetivo geral determinar o valor econômico dos serviços ambientais prestados em propriedades rurais pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG, como base para a implantação de sistemas de incentivo à proteção ambiental. Para melhor apresentação do trabalho, esta dissertação foi dividida em quatro artigos, conforme apresentado a seguir:

1º Artigo – “Quantificação da biomassa e do carbono estocado em áreas no entorno de nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG”. Este artigo teve por objetivo quantificar os estoques de biomassa e carbono existentes no entorno de nascentes protegidas e no entorno de nascentes em processo de recuperação da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, com o intuito de gerar dados para valoração econômica de recursos naturais em propriedades rurais.

2º Artigo – “Produção de água em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG”. O 2º artigo teve por objetivo mensurar a produção de água, considerada como um serviço ambiental, em propriedades rurais que possuem nascentes e que estão localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG.

3º Artigo – “Valoração econômica de serviços ambientais prestados em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG”. Este artigo teve por objetivo estimar um valor econômico para os serviços ambientais prestados em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG.

4^o Artigo – “Sistemas econômicos de incentivo à melhoria ambiental”. O último artigo teve como objetivo aprimorar a Matriz de Valoração Econômica de Benefícios Ambientais para obtenção de valores tangíveis ao processo de pagamento por serviços ambientais.

Quantificação da biomassa e do carbono estocado em áreas no entorno de nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG

Resumo: Os serviços ecossistêmicos das matas ciliares já são amplamente reconhecidos nos aspectos relacionados à conservação dos solos, dos recursos hídricos e da biodiversidade. Atualmente, pode-se atribuir a estas áreas mais um importante serviço ambiental: a fixação e estocagem de carbono, que contribui para a minimização do efeito estufa e das consequências do aquecimento global. Os estoques de carbono de áreas florestais podem ser considerados parâmetros mensuráveis para a atribuição de valor econômico aos serviços ambientais. Este trabalho teve por objetivo quantificar os estoques de carbono e biomassa existentes no entorno de nascentes protegidas e no entorno de nascentes em processo de recuperação da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, com o intuito de gerar dados para a valoração econômica dos serviços ambientais prestados em propriedades rurais. Foram estudadas dez propriedades rurais localizadas em região limítrofe aos municípios de Viçosa, Porto Firme e Guaraciaba-MG. Foram determinados os estoques de biomassa e carbono da vegetação arbórea de três propriedades rurais que apresentaram Área de Preservação Permanente (APP) no entorno de nascentes protegidas. A determinação da biomassa nessas áreas foi mensurada através de equações alométricas, visto que não seria viável, técnica e legalmente, a utilização do método destrutivo. Nas demais propriedades a vegetação graminácea-herbácea que iniciou o processo de recuperação das APPs foi amostrada com o auxílio de um gabarito de 1 m² e a biomassa foi obtida pelo método da proporcionalidade. A conversão da biomassa em carbono se deu pela adoção de um fator 0,5 e a contabilização dos créditos de carbono foi gerada por um fator 3,67. O estudo da vegetação arbórea indicou um total de 703 indivíduos, pertencentes a 78 espécies e 32 famílias botânicas. Na vegetação arbórea, a biomassa média estimada foi igual a 119,44 t.ha⁻¹, o que corresponde a um estoque de carbono de 59,72 t.ha⁻¹ nas APPs protegidas. Na vegetação graminácea-herbácea, predominaram as espécies de gramíneas conhecidas como capim-gordura, braquiária, braquiária-gigante, capim-navalha e capim-rabo-de-burro. A média dos estoques de biomassa e carbono encontrados nas APPs em processo de recuperação (sete propriedades) foi de 7,75 t.ha⁻¹ e 3,87 t.ha⁻¹, respectivamente. Os estoques de biomassa e carbono encontrados nos fragmentos florestais foram superiores àqueles encontrados em áreas onde houve a predominância de gramíneas. Isto indica que as áreas de florestas, além da biodiversidade, promovem o serviço ecossistêmico de fixação e estocagem de carbono de forma significativa. Nas áreas com vegetação graminácea-herbácea, os estoques de biomassa e carbono foram baixos, mas ainda superiores aos das pastagens, que podem ser tomadas como linha de base neste processo de cercamento e proteção de nascentes. Os estoques de carbono são importantes parâmetros para a valoração econômica dos serviços ambientais prestados em propriedades rurais, visto que já existe um mercado consolidado para comercialização de créditos de carbono.

Palavras-chave: Créditos de Carbono; Áreas de Preservação Permanente; Serviços Ambientais.

Biomass and carbon stocks quantification around springs of the Turvo Limpo River Watershed-MG

Abstract: Many environmental services of riparian forests are already recognized: soil and water conservation and biodiversity maintenance. Nowadays, the carbon sequestration and fixation is one more important environmental service that is also attributed to the riparian forests. This service contributes to the greenhouse effects minimization and to reduce the consequences of the global warming. The carbon stock of forest areas can be considered a measurable parameter to attribute an economic value to the environmental services. This work has aimed at quantifying the carbon and biomass stocks of Permanent Preservation Areas (PPAs) around springs from the Turvo Limpo River Watershed. The intention of this quantification is generate data for the economic valuation of environmental services provided on farms. Ten farms were visited in a bordering area of three towns: Viçosa, Porto Firme and Guaraciaba-MG. The biomass and carbon stocks of the arboreal vegetation were determined on three farms that presented a protected Permanent Preservation Area (PPA) around the spring. The biomass of the arboreal vegetation was determined through allometric models, because the destructive method would not be technically and legally viable. In the other properties the grassy-herbaceous vegetation began the recovering process of PPAs. The biomass quantification of this vegetation was obtained using material collected 5 cm above the ground through the proportionality method. Conversion of biomass into carbon was obtained by using a 0.5 factor, and the estimation of the generated carbon credits by a 3.67 factor. The arboreal vegetation study indicated a total of 703 individuals belonging to 78 species and 32 botanical families. The arboreal vegetation has an estimated biomass of 119.44 t.ha⁻¹, what corresponds to a carbon stock of 59.72 t.ha⁻¹ in protected PPAs. The species of grass that prevailed on the grassy-herbaceous vegetation are known as *Melinis minutiflora*, *Brachiaria sp.*, *Brachiaria brizantha*, *Panicum maximum* and *Andropogon sp.* An average of the biomass and carbon stocks found in PPAs in recovery process (7 farms) was 7.75 t.ha⁻¹ and 3.87 t.ha⁻¹, respectively. The biomass and carbon stocks found on the forest fragments were superior than those found in grassy areas. This indicates that the forests areas, besides the biodiversity, promote the ecosystem service of carbon sequestration and fixation significantly. The biomass and carbon stocks found in the grassy areas were lower, but still higher than pastures, which can be taken as a base line in the fencing process of springs protection. The carbon stock is an important parameter for the economic valuation of the environmental services provided on farms, because a consolidated market for carbon credits commercialization already exists.

Keywords: Carbon credits; Permanent Preservation Areas; Environmental Services.

1. Introdução

Além da conservação dos solos, dos recursos hídricos e da biodiversidade, às matas ciliares são agregados outros valiosos serviços ambientais de estocagem e sequestro de carbono. Estes serviços ecossistêmicos contribuem efetivamente para minimizar o efeito estufa e as consequências do aquecimento global.

As florestas tropicais são grandes reservatórios de carbono. As estimativas dos estoques atuais de carbono da Floresta Atlântica dependem do conhecimento da biomassa seca acima do solo.

Segundo Higuchi *et al.* (1994), os métodos para quantificação de biomassa florestal podem ser *diretos* (determinação) e *indiretos* (estimativas). O método direto consiste na derrubada e pesagem de todos os componentes das árvores que ocorrem em determinado número de parcelas, sendo feita em seguida a extrapolação da avaliação para a área total. A estimativa de biomassa aérea pelo método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal. As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (DAP, altura e volume), por dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite) ou utilizando base de dados em sistemas de informações geográfica. No método indireto, a biomassa é estimada a partir do volume da madeira, usando-se a densidade média da madeira, e, em algumas situações, fatores de correção são utilizados para melhorar as estimativas (HIGUCHI *et al.*, 2004).

Os métodos de quantificação de biomassa geram muita polêmica e produzem estimativas desencontradas, mesmo quando o mesmo banco de dados é utilizado (HIGUCHI *et al.*, 1994; 1998). As restrições impostas pelo método destrutivo dificultam a obtenção de medidas diretas de biomassa dos diferentes ecossistemas, resultando na inexistência de modelos específicos. Segundo Vieira *et al.* (2008), os métodos destrutivos, apesar de necessários, são dispendiosos, caros e difíceis de ser realizados em áreas de conservação. Por outro lado, as estimativas obtidas pelos métodos indiretos devem ser criteriosas e devem ser consideradas sempre específicas do bioma a ser mensurado (KOEHLER *et al.*, 2005).

Diante das ameaças do aquecimento global pelo efeito estufa e das consequências previstas em decorrência das mudanças climáticas, o serviço ambiental de sequestro e fixação de carbono pelas florestas passou a ser mais valorizado no mundo. O Brasil tem

uma faixa considerável do seu território composto por florestas nativas. A Mata Atlântica é um bioma que sofreu grande pressão antrópica e está reduzida a menos de 7,9% de sua extensão original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2009). O grande potencial desse bioma em termos de minimização do aquecimento global reside no estabelecimento de projetos que visem recompor suas áreas degradadas e, ao mesmo tempo, gerar créditos de carbono.

Nas últimas décadas, muitos estudos foram conduzidos na Mata Atlântica, sendo a sua maioria relacionada à diversidade de flora e fauna. Entretanto, pouca informação está disponível sobre a estrutura e o funcionamento desse ecossistema. Para conservar, manejar e restaurar esse bioma, faz-se urgentemente necessário o entendimento dos mecanismos regulatórios da biodiversidade, bem como de todos os processos que controlam a estrutura e o funcionamento dessas florestas.

Segundo Ribeiro (2007), a conservação florestal, ou seja, a manutenção de florestas protegidas, não é válida no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) para a geração de créditos de carbono. Alguns autores acreditam que a conservação de florestas tropicais é dificultada, caso não seja dada alguma compensação aos proprietários de áreas florestais, pelos serviços ambientais gerados pelas suas florestas, incluindo o estoque e sequestro de carbono (SMITH *et al.*, 2000; BORN; TALOCCHI, 2002). Segundo o IPCC (2000), a preservação de uma floresta não garante a mitigação do efeito estufa em longo prazo, devido aos riscos de incêndio e à reversibilidade por meio de atividades humanas, distúrbios ou mudanças ambientais. Entretanto, os mercados voluntários que já negociam os créditos de carbono começam a validar projetos em áreas de proteção, garantindo a comercialização destes créditos gerados pelos estoques de carbono em áreas protegidas ou em processo de regeneração.

A Lei Florestal e as leis ambientais vigentes no Brasil buscam a preservação para garantir as funções ambientais dos ecossistemas brasileiros (BRASIL, Lei nº 4.771/1965; Lei nº 6.938/1981). Entretanto, a simples existência das leis não garante sua eficiência. A política de comando e controle, atualmente vigente no País, não se mostra eficaz para a manutenção dessas funções ambientais. Por outro lado, o pagamento por serviços ambientais, no qual se incluem o sequestro e a fixação de carbono, pode ser um mecanismo importante para proteção ambiental. Assim, os estoques de carbono de áreas florestais podem ser considerados parâmetros mensuráveis para a atribuição de valor econômico aos serviços ambientais. Para que esse mecanismo seja implementado é necessário que sejam realizados estudos que forneçam estimativas

de estoques de carbono de regiões florestais diversas. Portanto, este trabalho teve por objetivo quantificar a biomassa e os estoques de carbono no entorno de nascentes protegidas e em processo de recuperação da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, com o intuito de gerar dados para a valoração econômica de serviços ambientais prestados por produtores rurais desta bacia.

2. Material e métodos

2.1. Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado em seis comunidades rurais denominadas Lage, Duas Barras, Bragança, Luiza, Leme e Varginha, localizadas às margens da rodovia BR 356, entre os municípios de Viçosa, Porto Firme e Guaraciaba-MG. Dentre as dez propriedades rurais estudadas, cinco se encontram na zona rural de Viçosa e as demais na zona rural de Porto Firme, na divisa com o município de Guaraciaba-MG.

As dez propriedades rurais amostradas para realização deste trabalho fazem parte do projeto “Proteção de Nascentes”, que é desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa desde julho de 2005.

Em todas as propriedades rurais estudadas há nascentes que variam quanto à origem e vazão. Essas nascentes abastecem os Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo, que são afluentes do Rio Piranga, um importante formador do Rio Doce. Este, por sua vez, é um dos principais rios do Estado de Minas Gerais (Figura 1) e está localizado na Região Hidrográfica Costeira do Sudeste, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2009).

A região apresenta relevo predominantemente forte-ondulado e montanhoso (Domínio de Mar de Morros), com encostas de perfil convexo-côncavo embutidos em vales de fundo chato, formados por terraços e leitos maiores, onde meandram pequenos córregos. Enquadra-se sob rochas do Complexo Cristalino e do Pré-Cambriano Indiviso, constituídas por gnaisses diversos e migmatitos. O solo da região foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Cambissolo Distrófico (FERNANDES, 1996).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo Cwa (clima de inverno seco e verão chuvoso), com temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e no mês mais quente, superior a 22°C (QUINTEIRO, 1997). Segundo

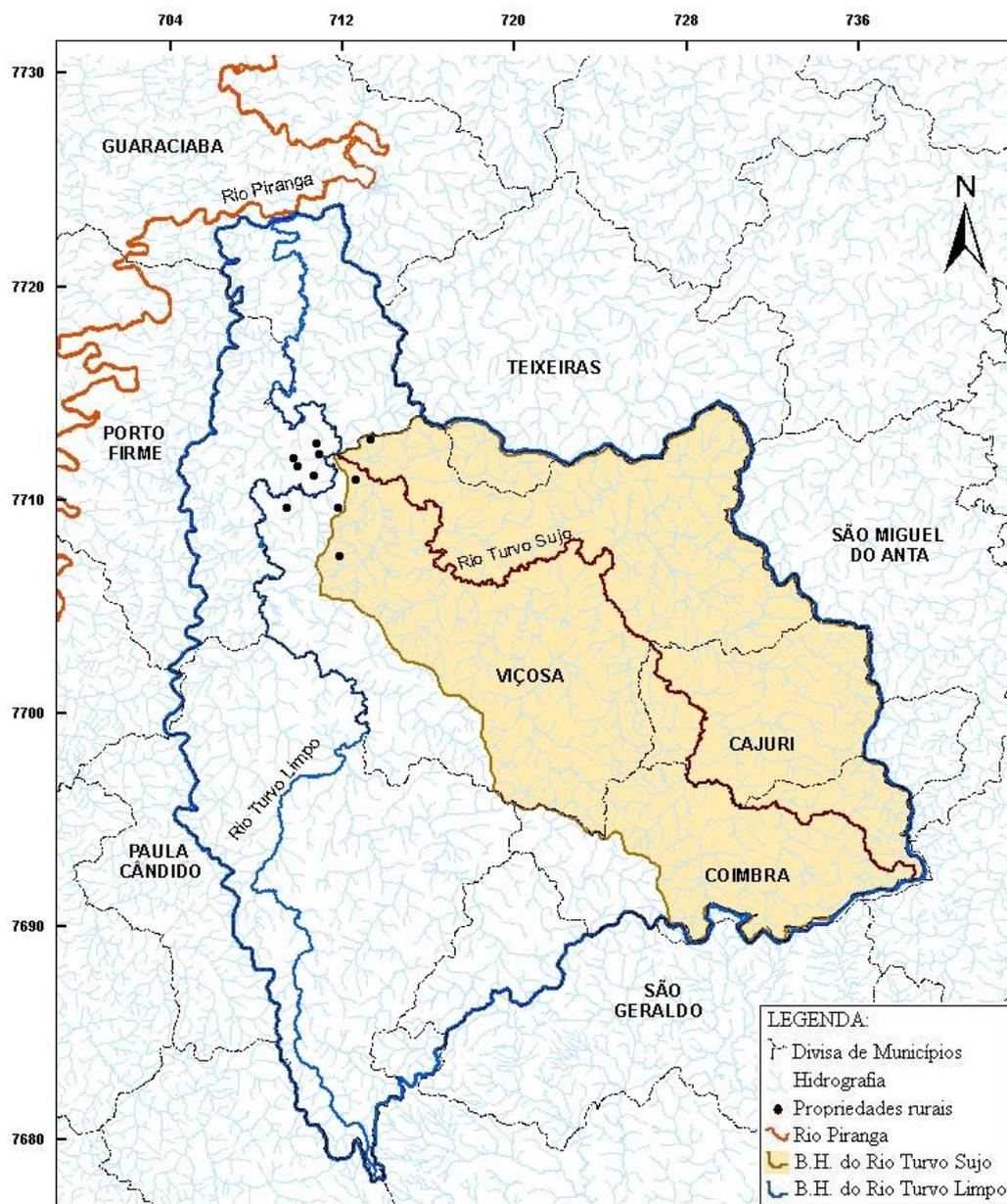


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG, com destaque para as dez propriedades rurais envolvidas neste estudo. Projeção: UTM, zona 23S. Datum: SAD 69.

Vianello e Alves (1991), a média anual pluviométrica de Viçosa é de 1.342,1 mm, com um período chuvoso de outubro a março e um período de estiagem de abril a setembro.

A região insere-se no bioma Mata Atlântica (IBGE, 2009), cujas formações florestais originais são classificadas como Florestas Estacionais Semidecíduais (VELOSO *et al.*, 1991).

2.2. Quantificação de biomassa e de carbono

2.2.1. Estrato arbóreo

Dentre as dez propriedades rurais do presente estudo, apenas três apresentaram Área de Preservação Permanente (APP) em bom estado de conservação, ou seja, constatou-se a presença de vegetação arbórea no entorno de nascentes.

Para amostragem da vegetação foram lançadas três parcelas de 400 m² (40 x 10 m) em cada uma dessas propriedades rurais. As unidades amostrais foram demarcadas com canos de PVC pintados nas extremidades. As árvores próximas aos limites das parcelas foram marcadas com fitas plásticas, para facilitar a localização. Todos os indivíduos com CAP (Circunferência à Altura do Peito) maior ou igual a 15 cm (equivalente a um Diâmetro a Altura do Peito - DAP de 4,7 cm) foram identificados e mensurados. As medidas de CAP foram realizadas com o auxílio de fita métrica e a altura foi estimada através de vara graduada. Indivíduos que apresentaram mais de um fuste (bifurcação abaixo de 1,30 m) tiveram cada fuste considerado como um indivíduo para a avaliação de parâmetros quantitativos, como volume total, biomassa e estoque de carbono. Para as análises florística e de diversidade, árvores com bifurcação abaixo de 1,30 m foram consideradas como um indivíduo apenas.

2.2.1.1. Composição florística

Os estudos relacionados com a composição florística da vegetação estudada teve início com a identificação botânica dos indivíduos amostrados. Esta etapa foi realizada em campo, com o auxílio de um mateiro.

A diversidade de espécies foi analisada pelo índice de Shannon-Weaver (H'), cuja fórmula de cálculo é (SHANNON; WEAVER, 1963):

$$H' = \left[DTA \cdot \ln(DTA) - \sum_{i=1}^S DAI \cdot \ln(DAI) \right] / DTA \quad [\text{equação 1}]$$

em que

DAi = densidade absoluta da i -ésima espécie (n_i /ha);

DTA = densidade total ou número total de árvores por hectare (N/ha); e

S = número total de espécies amostradas.

2.2.1.2. Estrutura horizontal

A análise da estrutura horizontal engloba os seguintes parâmetros: densidade ou abundância, que é o número de indivíduos de cada espécie na composição florística do povoamento; dominância, que se define como a medida da projeção do corpo da planta no solo; frequência, que mede a distribuição de cada espécie, em termos percentuais, sobre a área; índice do valor de cobertura, que é a soma das estimativas de densidade e dominância; e índice do valor de importância, que é a combinação, em uma única expressão, dos valores relativos de densidade, dominância e frequência. O formulário utilizado para estimar os parâmetros da estrutura horizontal é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Fórmulas de cálculo dos parâmetros da estrutura horizontal

Parâmetro	Fórmula	Parâmetro	Fórmula
Densidade Absoluta (DA _i)	$DA_i = \frac{n_i}{A}$	Frequência Absoluta (FA _i)	$FA_i = \frac{U_i}{U_t} * 100$
Densidade Relativa (DR _i)	$DR_i = \frac{n_i}{N} * 100$	Frequência Relativa (FR _i)	$FR_i = \frac{FA_i}{\sum FA_i} * 100$
Dominância Absoluta (DoA _i)	$DoA_i = \frac{AB_i}{A}$	Valor de Importância (VI)	$VI(\%) = \frac{DR_i + DoR_i + FR_i}{3}$
Dominância Relativa (DoR _i)	$DoR_i = \frac{AB_i}{DoT} * 100$	Valor de Cobertura (VC)	$VC(\%) = \frac{DR_i + DoR_i}{2}$

em que n_i = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie; N = número total de indivíduos amostrados; A = área amostrada, em hectare; AB_i = área basal das árvores amostradas da i -ésima espécie, em m²; DoT = dominância total, em m².ha⁻¹; U_i = número de parcelas de área fixa em que ocorre a i -ésima espécie; e U_t = número total de parcelas de área fixa.

2.2.1.3. Estrutura paramétrica

A estrutura paramétrica da vegetação florestal natural é analisada em termos das estimativas dos parâmetros: número de árvores (N) ou densidade absoluta (DA), área basal por hectare (AB) ou dominância absoluta (DoA) e volume por hectare ou volume absoluto (VoA), por classe de diâmetro.

Para analisar a estrutura paramétrica os diâmetros das árvores amostradas foram agrupados em classes de DAP, com amplitude de classe igual a 5,0 cm que é usualmente adotada para florestas secundárias em estágio inicial ou médio de regeneração.

Para obtenção dos volumes totais com casca de árvores individuais, utilizou-se a seguinte equação para mata ciliar (CETEC, 1995):

$$VTCC = 0,000066 * DAP^{2,084676} * Ht^{0,752177} \quad \text{[equação 2]}$$

em que

$VTCC$ = volume total com casca, em m^3 ;

DAP = diâmetro à altura do peito, em cm; e

Ht = altura total, em m.

As análises da composição florística, diversidade, estrutura horizontal e paramétrica foram realizadas por meio do processamento dos dados, através do *software* Mata Nativa 2.0 (CIENTEC, 2006).

2.2.1.4. Estoques de biomassa e de carbono

Utilizou-se o método não destrutivo para quantificação dos estoques de carbono e biomassa dessas áreas, visto que a Lei nº 4.771/1965 (BRASIL, 1965) proíbe a supressão das Áreas de Preservação Permanente (APPs).

Para estimar a biomassa acima do solo (AGB) foi empregada a equação alométrica (equação 3) proposta por Brown *et al.* (1989, *apud* POPPE, 2008). Essa equação é aceita para regiões tropicais úmidas, com pluviosidade menor que 1.500 mm anuais e para indivíduos que apresentem DAP variando entre 5 e 40 cm (POPPE *et al.*, 2008). A escolha dessa equação se justifica pela ausência de equações alométricas para determinação da biomassa de fragmentos florestais sob domínio de Floresta Atlântica. Além disto, a equação é aceita para elaboração de Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (POPPE *et al.*, 2008) e pela Convenção de Mudanças do Clima (IPCC, 2000).

$$AGB = 34,4703 - 8,0671 * DAP + 0,6589 * (DAP^2) \quad \text{[equação 3]}$$

em que

AGB = biomassa acima do solo, em kg; e

DAP = diâmetro à altura do peito, em cm.

Para os indivíduos que apresentaram DAP superior a 40 cm utilizou-se a equação 2 (CETEC, 1995).

Os valores da densidade básica da madeira dos indivíduos com DAP superior a 40 cm foram obtidos através de pesquisas bibliográficas (LORENZI, 2002; RIBEIRO, 2007; BOINA, 2008) e transformados para kg.m^{-3} .

De posse do volume e da densidade da madeira obteve-se a estimativa da biomassa acima do solo, multiplicando-se a densidade básica da madeira pelo volume total com casca, conforme a equação 4.

$$AGB = d * VTCC \quad \text{[equação 4]}$$

em que

AGB = biomassa acima do solo, em kg;

d = densidade básica da madeira, em kg.m^{-3} ; e

$VTCC$ = volume total com casca das árvores, em m^3 .

As estimativas do carbono fixado na biomassa arbórea foram obtidas por meio da multiplicação da biomassa quantificada pelo fator 0,5 (equação 5). A fração de carbono na matéria seca é de aproximadamente 50% de carbono, sendo esta proporção aceita em projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (COTTA *et al.*, 2008; POPPE *et al.*, 2008). Em seguida, o estoque de carbono foi extrapolado para toneladas por hectare.

$$EC = 0,5 * AGB \quad \text{[equação 5]}$$

em que:

EC = estoque de carbono, em t.ha^{-1} ;

AGB = biomassa acima do solo, em t.ha^{-1} ; e

0,5 = fator de conversão de biomassa para carbono.

Realizou-se, ainda, a conversão da média do teor de carbono encontrado em cada propriedade rural estudada para toneladas de CO_2 equivalente, que é a principal medida do serviço ambiental de sequestro e estocagem de carbono utilizada nas negociações dos mercados de créditos de carbono. Cada crédito de carbono equivale a 1 tonelada de CO_2 equivalente. Dessa forma, utilizou-se um fator de conversão igual a 3,67, que corresponde ao peso atômico do CO_2 (44) dividido pelo peso atômico do carbono (12) (IPCC, 2006).

2.2.2. Estrato gramináceo-herbáceo

Em sete propriedades rurais, as Áreas de Preservação Permanente (APPs) no entorno de nascentes foram cercadas e realizou-se o plantio de mudas de espécies florestais nativas, portanto, nessas propriedades as APPs encontram-se em processo de recuperação. Para quantificação da biomassa amostrou-se a vegetação que iniciou o processo de sucessão na área. As gramíneas prevaleceram em todas as sete propriedades.

Para amostragem da vegetação gramináceo-herbácea utilizou-se um gabarito de 1 m², que foi lançado ao acaso dentro e fora das áreas cercadas no entorno das nascentes dessas sete propriedades rurais. Todo o material vegetal incluído na área do gabarito foi cortado a, aproximadamente, 5 cm do solo. O material foi colocado em sacos plásticos, identificado com o respectivo número da parcela e levado para o laboratório. O material foi, então, pesado para se obter a massa úmida e, logo após, foram retiradas amostras de 50 g que foram colocadas em embalagens de papel e acomodadas em estufa de circulação forçada, onde foram submetidas à temperatura de 70 °C durante um período de aproximadamente 48 horas, até atingirem peso constante. As amostras foram pesadas novamente, a fim de se obter a sua massa seca.

2.2.2.1. Estoques de biomassa e de carbono

A determinação da biomassa (massa seca) das gramíneas foi obtida por meio do método da proporcionalidade entre massa seca e massa úmida (equação 6), utilizado por Soares *et al.* (1996) e Cotta *et al.* (2008).

$$MS(C) = \frac{Mu(c) * Ms(c)}{Mu(a)} \quad \text{[equação 6]}$$

em que

$MS(C)$ = massa seca total no campo, em g;

$Mu(c)$ = massa úmida total no campo, em g.

$Ms(a)$ = massa seca das amostras, em g; e

$Mu(a)$ = massa úmida das amostras, em g.

O carbono fixado foi estimado ao multiplicar a massa estimada de biomassa pelo fator 0,50, pois a biomassa seca contém, aproximadamente, 50% de carbono. Realizou-se ainda a conversão da média do teor de carbono encontrado em cada propriedade rural estudada para toneladas de CO₂ equivalente, através do fator de conversão igual a 3,67 (IPCC, 2006). O CO₂ equivalente é a medida utilizada nas transações no mercado de créditos de carbono.

As áreas de pastagens fora das Áreas de Preservação Permanente, no entorno de nascentes, foram consideradas como a linha de base para a geração de créditos de carbono. Então, a diferença entre os estoques de carbono das áreas cercadas e fora das cercas gerou o total de CO₂ equivalente para cada propriedade rural estudada.

3. Resultados e discussão

3.1. Estrato arbóreo

3.1.1. Composição florística

Foi amostrado, em três propriedades rurais que tiveram suas Áreas de Preservação Permanente no entorno de nascentes consideradas protegidas, um total de 703 indivíduos. Na primeira propriedade foram encontrados 225 indivíduos arbóreos, na segunda 243 e na terceira 235 indivíduos, nas três parcelas de 400 m². Na Tabela 2 encontra-se a lista das espécies florestais encontradas nas três propriedades rurais estudadas.

Segundo a lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção (BRASIL, Instrução Normativa nº 6/2008), *Dalbergia nigra* e *Ocotea odorifera* se encontram neste grupo. Estas espécies foram encontradas nas propriedades rurais estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, e isto justifica a necessidade de preservar essas áreas para garantir a manutenção dessas e de outras espécies vegetais. Além das referidas espécies, foram identificados em nível de gênero *Erythroxylum* sp. e *Miconia* sp., que também são gêneros apresentados na lista de espécies ameaçadas de extinção do IBAMA.

As famílias mais representativas foram Euphorbiaceae (23,9%), Myrtaceae (17,2%), Annonaceae (14,4%), Lacistemataceae (6,5%), que podem ser visualizadas na Figura 2.

Tabela 2 – Listagem das espécies amostradas durante o inventário florestal realizado em três propriedades rurais localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Família	Espécie
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.
Annonaceae	<i>Annona</i> sp. <i>Annona</i> sp. 1 <i>Guatteria</i> sp. <i>Guatteria</i> sp. 1 <i>Guatteria</i> sp. 2 <i>Indeterminada</i> <i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng. <i>Xylopia sericea</i> A. St. Hil.
Apocynaceae	<i>Aspidosperma</i> cf. <i>subincanum</i> Mart. <i>Himatanthus lanceifolius</i> (Mull. Arg.) Woodson <i>Tabernaemontana fuchsiaefolia</i> Miers.
Cecropiaceae	<i>Cecropia glaziovii</i> Snethlage <i>Cecropia hololeuca</i> Miq.
Compositae	<i>Vernonia diffusa</i> Less.
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea monosperma</i> Vell.
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum pelleterianum</i> A.St.-Hil. <i>Erythroxylum</i> sp.
Euphorbiaceae	<i>Alchornea iricurana</i> Casar. <i>Aparisthium cordatum</i> Baill.
Euphorbiaceae	<i>Hyeronima alchorneoides</i> Allemao <i>Mabea fistulifera</i> Mart. <i>Maprounea guianensis</i> Aubl. <i>Sapium glandulatum</i> (Vell.) Pax
Flacourtiaceae	<i>Casearia arborea</i> Urb. <i>Casearia</i> sp.
Guttiferae	<i>Tovomitopsis saldanhae</i> Engl. <i>Vismia brasiliensis</i> Choisy
Lacistemataceae	<i>Lacistema pubescens</i> Mart.
Lauraceae	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees <i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer <i>Ocotea</i> sp. 1 <i>Ocotea</i> sp. 2
Leguminosae Caesalpinoideae	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf. <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr. <i>Cassia ferruginea</i> (W. Schrad.) W. Schrad. Ex DC. <i>Sclerolobium</i> sp. <i>Senna macranthera</i> (DC.exCollad.) H.S. Irwin & Barneby

Continua...

Tabela 2, Cont.

Família	Espécie
Leguminosae Mimosoideae	<i>Albizia polycephala</i> (Benth.)
	<i>Anadenanthera macrocorpa</i> (Benth.) Brenan
	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J. F. Macbr.
	<i>Plathymenia foliolosa</i> Benth.
	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville
Leguminosae Papilionoideae	<i>Andira</i> sp.
	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.
	<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel
	<i>Platypodium elegans</i> Vogel
Melastomataceae	<i>Miconia</i> sp.
	<i>Tibouchina granulosa</i> (Desr.) Cogn.
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i> (Vell.) Mart.
	<i>Trichilia pallida</i> Sw.
Monimiaceae	<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.
	<i>Siparuna</i> sp.
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D. Don ex Steud.
	<i>Sororea bomplandi</i> (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer
Myrsinaceae	<i>Myrsine ferruginea</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.
Myrtaceae	<i>Eugenia</i> sp.
	<i>Myrcia fallax</i> (Rich.) DC.
	<i>Myrcia</i> sp. 1
	<i>Myrcia</i> sp. 2
	<i>Psidium guajava</i> L.
Ochnaceae	<i>Ouratea</i> sp.
Palmae	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman
Phytolaccaceae	<i>Seguiera langsdorffii</i> Moq.
Piperaceae	<i>Piper</i> sp.
Rubiaceae	<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.
	<i>Bathysa nicholsonii</i> K. Schum
	<i>Ferdinandusa</i> sp.
Rubiaceae	<i>Psychotria sessilis</i> (Vell.) Mull. Arg.
Rutaceae	<i>Dictyoloma vandellianum</i> A. Juss.
Sapindaceae	<i>Mataya elaeagnoides</i> Radlk.
Solanaceae	<i>Solanum argenteum</i> Dunal. ex Poir.
Tiliaceae	<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.
Verbenaceae	<i>Vitex montevidensis</i> Cham.

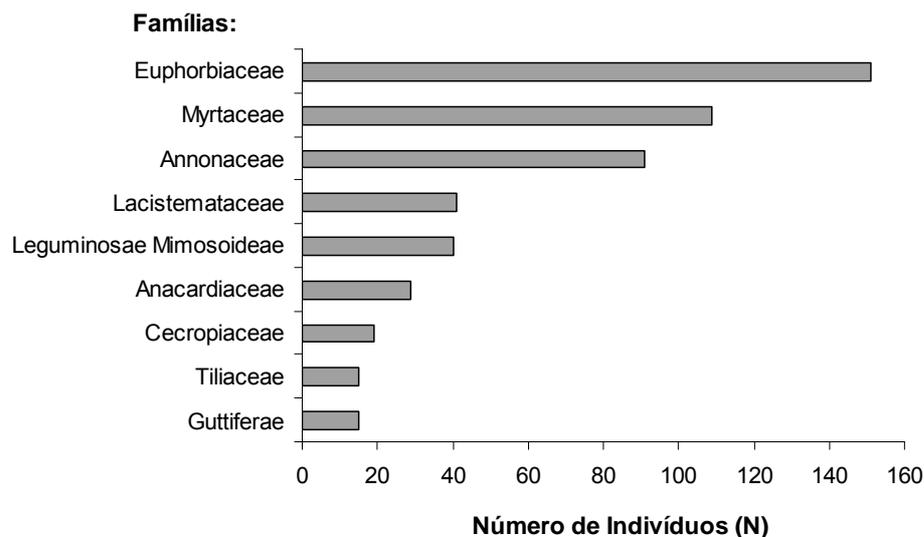


Figura 1 – Famílias mais representativas para a florística das florestas amostradas em propriedades rurais pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.

Avaliando os critérios estabelecidos na Resolução nº 392/2007 do Conama (BRASIL, 2007), as propriedades 1, 2 e 3 encontram-se em estágio médio de sucessão visto que apresentam estratificação incipiente em dois estratos (dossel e sub-bosque), dossel variando entre 5 e 12 m de altura e diâmetro médio entre 10 e 20 cm. Na propriedade 3 foram encontradas espécies indicadoras como *Apuleia leiocarpa*, *Copaifera langsdorfii*, *Cabralea canjerana*, *Dalbergia nigra* e *Nectandra oppositifolia*, que caracterizam essa área em estágio médio em transição para estágio avançado de sucessão.

3.1.2. Índices de diversidade

Além da composição florística, as análises incluíram estimativas de índices de diversidade de espécies que podem ser valorados economicamente, conforme a riqueza de espécies encontradas.

Os valores calculados para os índices Shannon-Weaver (H'), para as três propriedades, estão apresentados na Tabela 3.

As propriedades 2 e 3 apresentaram maior diversidade florística. Silva *et al.* (2004) encontraram um valor de 3,56 para uma Floresta Estacional Semidecidual em

Tabela 3 – Índice de diversidade florística para as propriedades rurais amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Índice de Diversidade	Propriedade 1	Propriedade 2	Propriedade 3
Shannon-Weaver (H')	2,03	3,00	3,04

Viçosa-MG. O índice H' geral é compatível com os valores obtidos nas Florestas Semidecíduais da região, que variam entre 3,2 e 4,2 (MEIRA-NETO; MARTINS, 2000; SEVILHA *et al.*, 2001).

Através dos índices de diversidade calculados percebe-se que nas três Áreas de Preservação Permanentes (APPs) estudadas os índices de diversidade apresentam valores medianos. Nota-se que a APP da propriedade 3 apresentou a maior diversidade florística, pois apresentou o maior valor para o índice de Shannon-Weaver (H').

Os índices de diversidade auxiliam na caracterização de comunidades vegetais, oferecendo boas indicações da diversidade específica, e servem para comparar florestas em locais distintos.

3.1.3. Estrutura horizontal

Analisando a estrutura horizontal (Tabela 3) das florestas inventariadas nas propriedades 1, 2 e 3, percebe-se que dentre as 78 espécies arbóreas encontradas *Piptadenia gonoacantha*, *Mabea fistulifera*, *Xylopia sericea* e *Myrcia fallax* foram as que apresentaram maiores valores de importância, contribuindo com 56,1% da dominância (DoR), 39,1% da densidade (DR) e 15,7% da frequência (FR).

3.1.4. Estrutura paramétrica

Na Tabela 4 encontra-se o resumo dos resultados das estimativas da estrutura paramétrica das três parcelas de 400 m² lançadas em cada propriedade rural amostrada.

A propriedade 2, apesar de apresentar o maior número de indivíduos nas três parcelas de 400 m², possui os menores valores de área basal e volume, e na propriedade 3 foram encontrados os maiores valores de volume e área basal. Este fato pode ser justificado pela maior presença de indivíduos arbóreos nas maiores classes diamétricas encontrados na Área de Preservação Permanente da propriedade 3.

Tabela 3 – Parâmetros da estrutura horizontal das florestas amostradas nas três propriedades pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Nome Científico	Ni	U	ABi	DAi	DRi	FAi	FRi	DoAi	DoRi	VC (%)	VI (%)
<i>Piptadenia gonoacantha</i>	37	6	3,2765	102,78	5,26	66,67	3,61	9,1010	36,07	20,7	15,0
<i>Mabea fistulifera</i>	118	7	0,5856	327,78	16,79	77,78	4,22	1,6270	6,45	11,6	9,2
<i>Xylopia sericea</i>	63	6	0,7063	175,00	8,96	66,67	3,61	1,9620	7,78	8,4	6,8
<i>Myrcia fallax</i>	57	7	0,5268	158,33	8,11	77,78	4,22	1,4630	5,8	7,0	6,0
<i>Schinus terebinthifolia</i>	49	4	0,4556	136,11	6,97	44,44	2,41	1,2650	5,02	6,0	4,8
<i>Psidium guajava</i>	57	1	0,4353	158,33	8,11	11,11	0,6	1,2090	4,79	6,5	4,5
<i>Lacistema pubescens</i>	41	6	0,1745	113,89	5,83	66,67	3,61	0,4850	1,92	3,9	3,8
<i>Cecropia hololeuca</i>	8	4	0,3557	22,22	1,14	44,44	2,41	0,9880	3,92	2,5	2,5
<i>Vernonia diffusa</i>	9	7	0,0838	25,00	1,28	77,78	4,22	0,2330	0,92	1,1	2,1
<i>Cecropia glaziovi</i>	11	5	0,1095	30,56	1,56	55,56	3,01	0,3040	1,21	1,4	1,9
<i>Maprounea guianensis</i>	22	2	0,0929	61,11	3,13	22,22	1,2	0,2580	1,02	2,1	1,8
<i>Annona</i> sp. 1	10	3	0,1886	27,78	1,42	33,33	1,81	0,5240	2,08	1,8	1,8
<i>Myrsine ferruginea</i>	12	2	0,2168	33,33	1,71	22,22	1,2	0,6020	2,39	2,1	1,8
<i>Luehea grandiflora</i>	15	3	0,0983	41,67	2,13	33,33	1,81	0,2730	1,08	1,6	1,7
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	7	5	0,0609	19,44	1,00	55,56	3,01	0,1690	0,67	0,8	1,6
<i>Tapirira guianensis</i>	8	2	0,1910	22,22	1,14	22,22	1,2	0,5300	2,10	1,6	1,5
<i>Vismia brasiliensis</i>	14	2	0,0501	38,89	1,99	22,22	1,2	0,1390	0,55	1,3	1,3
<i>Annona</i> sp.	9	3	0,0601	25,00	1,28	33,33	1,81	0,1670	0,66	1,0	1,3
<i>Erythroxylum pelleterianum</i>	10	3	0,0445	27,78	1,42	33,33	1,81	0,1240	0,49	1,0	1,2
<i>Guatteria</i> sp. 1	7	3	0,0298	19,44	1,00	33,33	1,81	0,0830	0,33	0,7	1,0
<i>Ocotea</i> sp. 1	6	3	0,0301	16,67	0,85	33,33	1,8	0,0840	0,33	0,6	1,0
<i>Tibouchina granulosa</i>	5	3	0,0307	13,89	0,71	33,33	1,81	0,0850	0,34	0,5	1,0
<i>Casearia arbórea</i>	6	3	0,0178	16,67	0,85	33,33	1,81	0,0490	0,20	0,5	1,0
<i>Apuleia leiocarpa</i>	4	2	0,0989	11,11	0,57	22,22	1,2	0,2750	1,09	0,8	1,0
<i>Sclerobium</i> sp.	1	1	0,1887	2,78	0,14	11,11	0,6	0,5240	2,08	1,1	0,9
<i>Mataya elaeagnoides</i>	6	2	0,0658	16,67	0,85	22,22	1,2	0,1830	0,72	0,8	0,9
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	3	2	0,1028	8,33	0,43	22,22	1,2	0,2800	1,13	0,8	0,9
<i>Myrcia</i> sp. 2	6	1	0,1139	16,67	0,85	11,11	0,6	0,3160	1,25	1,1	0,9
<i>Siparuna</i> sp.	7	2	0,0403	19,45	0,99	22,22	1,2	0,1120	0,44	0,7	0,9

Continua...

Tabela 4, Cont.

Nome Científico	Ni	U	ABi	DAi	DRi	FAi	FRi	DoAi	DoRi	VC (%)	VI (%)
<i>Siparuna guianensis</i>	4	3	0,0098	11,11	0,57	33,33	1,8	0,0270	0,11	0,3	0,8
<i>Aparisthium cordatum</i>	6	2	0,0289	16,67	0,85	22,22	1,2	0,0800	0,32	0,6	0,8
<i>Nectandra oppositifolia</i>	4	2	0,0508	11,11	0,57	22,22	1,2	0,1410	0,56	0,6	0,8
<i>Amaioua guianensis</i>	3	3	0,0106	8,33	0,43	33,33	1,8	0,0290	0,12	0,3	0,8
<i>Xylopia brasiliensis</i>	3	2	0,0512	8,33	0,43	22,22	1,2	0,1420	0,56	0,5	0,7
<i>Piper sp.</i>	9	1	0,0266	25,00	1,28	11,11	0,6	0,0740	0,29	0,8	0,7
<i>Platypodium elegans</i>	2	2	0,0549	5,56	0,28	22,22	1,2	0,1520	0,60	0,4	0,7
<i>Sapium glandulatum</i>	2	2	0,0291	5,56	0,28	22,22	1,2	0,0810	0,32	0,3	0,6
<i>Albizia polycephala</i>	3	2	0,0164	8,33	0,43	22,22	1,2	0,0460	0,18	0,3	0,6
<i>Miconia sp.</i>	3	2	0,0132	8,33	0,43	22,22	1,2	0,0370	0,15	0,3	0,6
<i>Ocotea odorifera</i>	3	2	0,0131	8,33	0,43	22,22	1,2	0,0360	0,14	0,3	0,6
<i>Eugenia sp.</i>	3	2	0,0082	8,33	0,43	22,22	1,2	0,0230	0,09	0,3	0,6
<i>Cássia ferruginea</i>	2	1	0,0693	5,56	0,28	11,11	0,6	0,1920	0,76	0,5	0,6
<i>Guatteria sp.</i>	2	2	0,0088	5,56	0,28	22,22	1,2	0,0240	0,10	0,2	0,5
<i>Andira sp.</i>	2	2	0,0092	5,56	0,28	22,22	1,2	0,0250	0,10	0,2	0,5
<i>Dictyoloma vandellianum</i>	2	2	0,0065	5,56	0,28	22,22	1,2	0,0180	0,07	0,2	0,5
<i>Ouratea sp.</i>	2	2	0,0053	5,56	0,28	22,22	1,2	0,0150	0,06	0,2	0,5
<i>Trichilia pallida</i>	2	2	0,0037	5,56	0,28	22,22	1,2	0,0100	0,04	0,2	0,5
<i>Cabrlea canjerana</i>	2	2	0,0045	5,56	0,28	22,22	1,2	0,0120	0,05	0,2	0,5
<i>Senna macranthera</i>	2	1	0,0551	5,56	0,28	11,11	0,6	0,1530	0,61	0,5	0,5
<i>Sloanea monosperma</i>	3	1	0,0323	8,33	0,43	11,11	0,6	0,0900	0,36	0,4	0,5
<i>Seguiera langsdorffii</i>	3	1	0,0189	8,33	0,43	11,11	0,6	0,0520	0,21	0,3	0,4
<i>Anadenanthera macrocorpa</i>	3	1	0,0060	8,33	0,43	11,11	0,6	0,0170	0,07	0,3	0,4
<i>Bathysa nicholsonii</i>	2	1	0,0107	5,56	0,28	11,11	0,6	0,0300	0,12	0,2	0,3
<i>Plathymenia foliolosa</i>	1	1	0,0205	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0570	0,23	0,2	0,3
<i>Guatteria sp. 2</i>	1	1	0,0079	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0220	0,09	0,1	0,3
<i>Vitex montevidensis</i>	1	1	0,0089	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0250	0,10	0,1	0,3
<i>Alchornea iricurana</i>	1	1	0,0082	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0230	0,09	0,1	0,3
<i>Tabernaemontana fuchsiaefolia</i>	1	1	0,0096	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0270	0,11	0,1	0,3
<i>Maclura tinctoria</i>	1	1	0,0050	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0140	0,05	0,1	0,3
<i>Solanum argenteum</i>	1	1	0,0056	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0160	0,06	0,1	0,3

Continua...

Tabela 4, Cont.

Nome Científico	Ni	U	ABi	DAi	DRi	FAi	FRi	DoAi	DoRi	VC (%)	VI (%)
<i>Sororea bomplandi</i>	1	1	0,0048	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0130	0,05	0,1	0,3
<i>Ficus insípida</i>	1	1	0,0026	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0070	0,03	0,1	0,3
<i>Machaerium brasiliense</i>	1	1	0,0022	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0060	0,02	0,1	0,3
<i>Myrcia</i> sp. 1	1	1	0,0022	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0060	0,02	0,1	0,3
<i>Ferdinandusa</i> sp.	1	1	0,0032	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0090	0,04	0,1	0,3
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	1	1	0,0032	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0090	0,04	0,1	0,3
<i>Himatanthus lanceifolius</i>	1	1	0,0020	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0060	0,02	0,1	0,3
<i>Tovomitopsis saldanhae</i>	1	1	0,0027	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0070	0,03	0,1	0,3
<i>Erythroxylum</i> sp.	1	1	0,0029	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0080	0,03	0,1	0,3
<i>Casearia</i> sp.	1	1	0,0019	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0050	0,02	0,1	0,3
<i>Ocotea</i> sp. 2	1	1	0,0020	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0060	0,02	0,1	0,3
<i>Dalbergia nigra</i>	1	1	0,0024	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0070	0,03	0,1	0,3
<i>Psychotria sessilis</i>	1	1	0,0037	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0100	0,04	0,1	0,3
<i>Copaifera langsdorffii</i>	1	1	0,0031	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0090	0,03	0,1	0,3
<i>Indeterminada</i>	1	1	0,0022	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0060	0,02	0,1	0,3
<i>Aspidosperma</i> cf. <i>subincanum</i>	1	1	0,0020	2,78	0,14	11,11	0,6	0,0060	0,02	0,1	0,3
Total	703	9	9,0835	1.952,78	100,00	1844,44	100,00	25,2320	100,00	100,00	100,00

em que Ni = número de indivíduos amostrados da i-ésima espécie; U = número de parcelas de área fixa em que ocorre a i-ésima espécie; AB = área basal da i-ésima espécie, em m²; DAi = densidade absoluta da i-ésima espécie (n_i/ha); DRi(%) = densidade relativa da i-ésima espécie; FAi = frequência absoluta da i-ésima espécie; FRi(%) = frequência relativa da i-ésima espécie; DoAi = dominância absoluta da i-ésima espécie, em m².ha⁻¹; DoRi(%) = dominância relativa da i-ésima espécie; VC(%) = índice de valor de cobertura em porcentagem; e VI(%) = índice de valor de importância em porcentagem.

Tabela 4 – Estrutura paramétrica das florestas inventariadas nas propriedades 1, 2 e 3 da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/ Porto Firme-MG

Centro Classe DAP	Propriedade 1			Propriedade 2			Propriedade 3		
	N	B	V	N	B	V	N	B	V
7	78	0,3002	1,2958	183	0,6003	2,5297	129	0,4645	2,0099
12	70	0,5847	3,3080	40	0,3811	2,1529	59	0,6198	4,1127
17	28	0,3708	2,3253	12	0,1968	1,2989	16	0,3695	2,8507
22	14	0,2148	1,4377	0	0	0	13	0,4924	3,8562
27	14	0,3463	2,4922	2	0,0962	0,7692	3	0,1726	1,7150
32	14	0,4332	3,487	4	0,2344	1,7613	3	0,2428	2,3794
37	4	0,4429	4,1973	0	0	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	0	3	0,1421	1,2659
47	2	0,1847	2,0176	0	0	0	2	0,3469	3,3510
52	0	0	0	0	0	0	3	0,44305	5,17105
57	1	0,2665	2,4220	2	0,5157	4,2031	3	0,2365	1,0442
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
≥ 69,5	0	0	0	0	0	0	1	0,3852	4,4140
Total	225	3,1439	22,9829	243	2,0246	12,7151	235	3,9151	32,1701
Média	20,4	0,2858	2,0894	22,1	0,184	1,1559	16,8	0,2797	2,2979
Desvio- Padrão	27,9	0,1805	1,3417	54,7	0,224	1,3923	35,8	0,2117	1,8985

em que N = número de indivíduos amostrados; B = área basal, em m²; e V = volume total, em m³.

As estimativas do número total de árvores amostradas (N), área basal total amostrada (B em m².ha⁻¹) e volume total por hectare (V em m³.ha⁻¹) por classe de diâmetro estão na Tabela 5.

A distribuição diamétrica de cada área de estudo seguiu o padrão característico das florestas nativas inequianes, isto é, seguiu a distribuição de “J-invertido” (Figura 3), em que a maior frequência de indivíduos se encontra nas menores classes de diâmetros (SOUZA *et al.*, 2006; De LIOCOURT, *apud* ALVES JÚNIOR, 2009).

A dominância absoluta dos indivíduos amostrados nas três propriedades rurais foi de 25,2331 m².ha⁻¹, valor próximo àquele encontrado por Gaspar (2008), que estudou o crescimento em área basal e volumétrico de Reservas Legais ocupadas por Mata Atlântica em Coronel Fabriciano-MG, e encontrou, em 2007, uma dominância absoluta de 23,2410 m².ha⁻¹. O autor encontrou nessas áreas um volume médio igual a 221,8148 m³.ha⁻¹, valor superior àquele encontrado nas três propriedades da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG. A Figura 4 apresenta a distribuição do volume total (m³.ha⁻¹) e por classe de DAP em cada propriedade rural estudada.

Tabela 5 – Estimativas totais da estrutura paramétrica das propriedades 1, 2 e 3 da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Limites de DAP	Centro de Classe DAP	Parâmetros Totais Estimados para as Três Propriedades					
		N	B	V	DA	DoA	VT/ha
4,5 – 9,5	7	390	1,3650	5,8354	1.083,33	3,7917	16,2094
9,5 – 14,5	12	169	1,5856	9,5736	469,44	4,4044	26,5933
14,5 – 19,5	17	56	0,9371	6,4749	155,56	2,6031	17,9858
19,5 – 24,5	22	27	0,7072	5,2939	75,00	1,9644	14,7053
24,5 – 29,5	27	19	0,6151	4,9764	52,78	1,7086	13,8233
29,5 – 34,5	32	21	0,9104	7,6277	58,33	2,5289	21,1881
34,5 – 39,5	37	4	0,4429	4,1973	11,11	1,2303	11,6592
39,5 – 44,5	42	3	0,1421	1,2659	8,33	0,3947	3,5164
44,5 – 49,5	47	4	0,5316	5,3686	11,11	1,4767	14,9128
49,5 – 54,5	52	3	0,4430	5,1710	8,33	1,2307	14,3640
54,5 – 59,5	57	6	1,0187	7,6693	16,67	2,8297	21,3036
59,5 – 64,5	62	0	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000
64,5 – 69,5	67	0	0,0000	0,0000	0,00	0,0000	0,0000
≥ 69,5	≥ 69,5	1	0,3851	4,4140	2,78	1,0699	12,2612
Total		703	9,0838	67,868	1.952,77	25,2331	188,5224
Média		50,21	0,64884	4,84771	139,484	1,8024	13,4659
Desvio-Padrão		107,45	0,47637	2,81041	298,494	1,3232	7,8067

em que N = número de indivíduos amostrados; B = área basal, em m²; V = volume total, em m³; DA = densidade absoluta dos indivíduos amostrados, em N.ha⁻¹; DoA = dominância absoluta dos indivíduos amostrados, em m².ha⁻¹; e VT/ha = volume total, em m³.ha⁻¹.

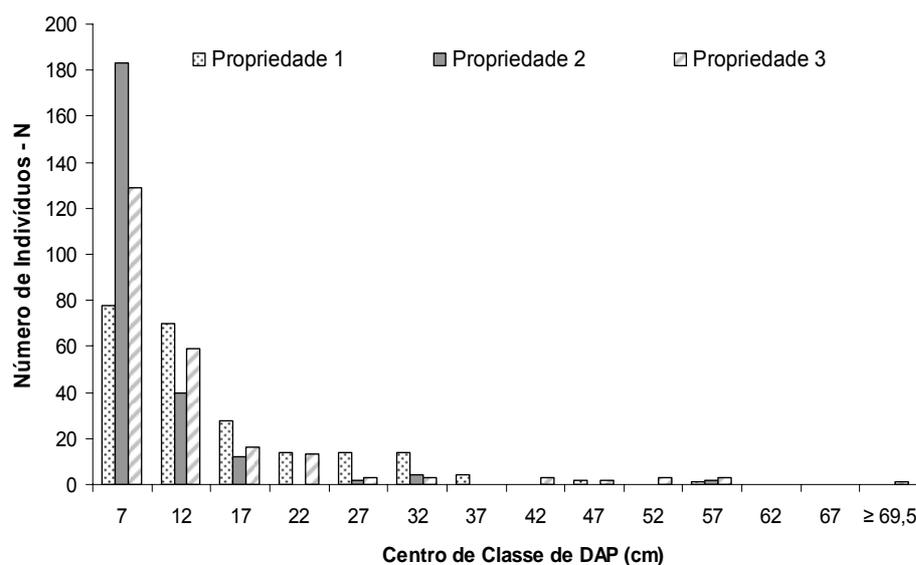


Figura 3 – Distribuição do número total de indivíduos em classes diamétricas em cada propriedade rural amostrada na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.

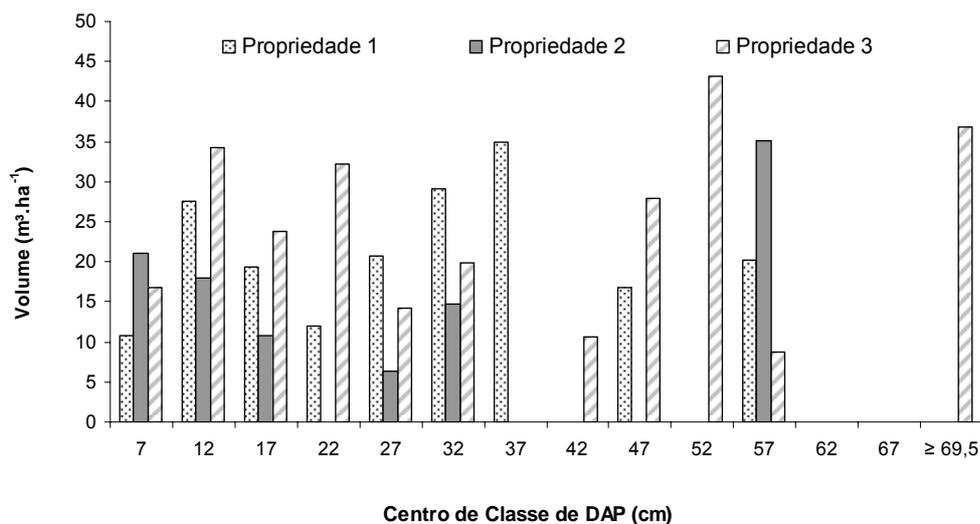


Figura 4 – Volume por hectare e por classe diamétrica observado em três propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.

Os maiores volumes, 43,0921 m³.ha⁻¹ e 36,7837 m³.ha⁻¹, foram observados na propriedade 3, nas classes diamétricas cujos centros são iguais a 52,0 e ≥ 69,5 cm, respectivamente.

3.1.5. Estoques de biomassa e de carbono

Dentre os 703 indivíduos amostrados, apenas dez tiveram DAP superior a 40 cm, portanto para estimar o estoque de carbono e biomassa desses indivíduos foram utilizados dados bibliográficos das densidades dessas espécies. Entre os indivíduos com DAP superior a 40 cm, as espécies encontradas foram: *Piptadenia gonoacantha* (80%), *Xylopia sericea* (10%) e *Sclerolobium sp.* (10%).

A estimativa média da biomassa para as três propriedades amostradas foi de 119,44 t.ha⁻¹, valor próximo àquele encontrado por Ribeiro (2007), que estimou estoque de biomassa de 166,67 t.ha⁻¹ para um trecho de mata primária em Viçosa-MG. Delitti e Burger (2008) estimaram a biomassa em várias áreas de Floresta Atlântica, testando 25 modelos desenvolvidos para florestas tropicais e usando dados de levantamentos fitossociológicos. Com base nesses estudos, os autores concluíram que a acumulação máxima de biomassa em florestas secundárias sob domínio do bioma Mata Atlântica é de 350 t.ha⁻¹. Florestas secundárias e perturbadas apresentam estoques de biomassa inferior a 200 t.ha⁻¹, e em casos mais extremos de perturbação as

florestas acumulam menos que 100 t.ha⁻¹. Portanto, os valores encontrados para as florestas das propriedades estudadas são superiores àqueles de florestas com alto grau de perturbação, o que leva a crer que essas áreas já sofreram algum tipo de pressão antrópica. Segundo Lima *et al.* (2007), as estimativas de biomassa encontradas pelo método indireto em uma área de floresta primária na Amazônia foram de 339,7 t.ha⁻¹ ± 66,7 (IC 95%), valores estes superiores aos encontrados em áreas de Mata Atlântica em diversos estudos.

As espécies que mais contribuíram para o valor total da biomassa foram *Piptadenia gonoacantha* (50,5%), *Xylopia sericea* (5,0%), *Myrcia fallax* (4,6%), *Cecropia hololeuca* (4,1%) e *Mabea fistulifera* (4,0%). As demais espécies representam 28,3% do valor total de biomassa encontrado, conforme apresentado na Figura 5. As espécies que mais contribuíram para o valor total de biomassa estão entre aquelas que apresentaram os maiores valores de IVI.

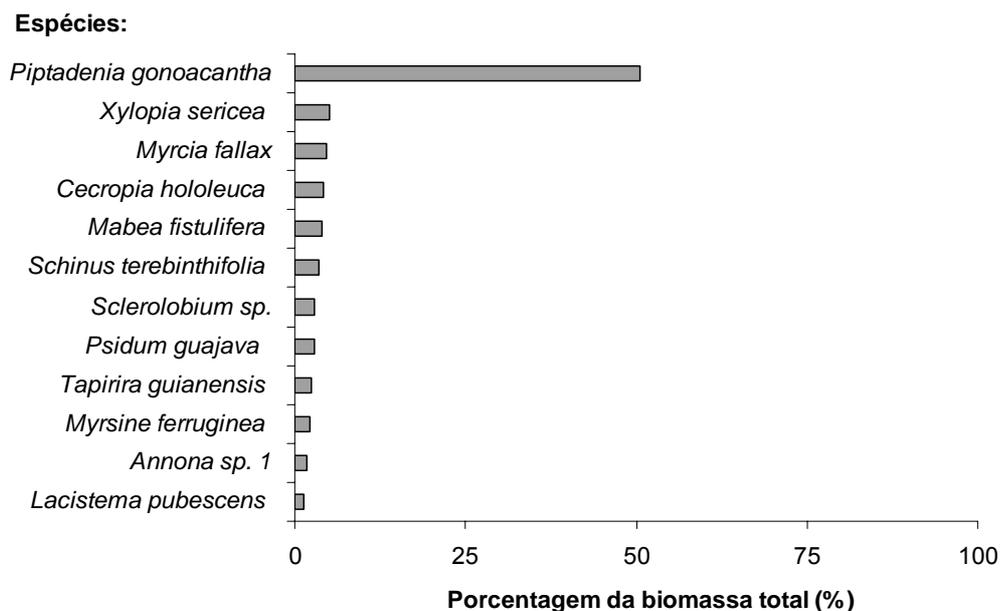


Figura 5 – Contribuição das espécies no total da biomassa estimada para as propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG.

Percebe-se que a propriedade 3 apresentou o maior estoque de biomassa em decorrência do estágio sucessional da área (Tabela 7). À medida que evolui o estágio sucessional, aumentam os estoques de biomassa e carbono (WATZLAWICK *et al.*, 2002, *apud* BOINA, 2008).

Tabela 7 – Estimativas de biomassa, estoque de carbono e CO₂ equivalente por propriedade rural amostrada na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Biomassa (t.ha ⁻¹)	Carbono (t. ha ⁻¹)	CO ₂ (eq)(t.ha ⁻¹)
1	118,10	59,05	170,21
2	71,98	35,99	103,74
3	168,23	84,12	242,47
Média	119,44	59,72	172,14

3.2. Estrato gramináceo-herbáceo

A quantificação dos estoques de biomassa e de carbono de Áreas de Preservação Permanente de sete propriedades rurais se fundamentou na amostragem das gramíneas que predominaram no estrato gramináceo-herbáceo.

As espécies de gramíneas mais encontradas foram: capim-gordura (*Melinis minutiflora*), braquiária (*Brachiaria sp.*), braquiária gigante (*Brachiaria brizantha*), capim-navalha (*Panicum maximum*) e capim-rabo-de-burro (*Andropogon sp.*). Segundo Moreira *et al.* (1982), estudos sobre a composição botânica de pastagens naturais na região de Viçosa-MG, revelaram que as espécies mais encontradas foram o capim-gordura (*Melinis minutiflora*), capim-gordo (*Paspalum conjugatum*), capim-sapé (*Imperata brasiliensis*), grama-batatais (*Paspalum notatum*), capim-flexa (*Trichachne insularis*), capim-rabo-de-burro (*Andropogon sp.*), capim-capivara (*Panicum laxum*).

3.2.1. Estoques de biomassa e de carbono

A média dos estoques de carbono encontrada no entorno das sete nascentes em processo de recuperação foi de 3,87 t.ha⁻¹ (Tabela 8). Fora da área cercada das nascentes encontrou-se uma média de 0,98 t.ha⁻¹. Isto demonstra que no interior das áreas que foram protegidas existe um potencial maior de acúmulo de carbono nos vegetais, uma vez que não há mais pastoreio nessas áreas. Isto significa que as áreas amostradas, mesmo em processo de recuperação, já prestam os serviços ambientais de estocagem e fixação de carbono.

Tabela 8 – Estoques de biomassa ($t \cdot ha^{-1}$), de carbono ($t \cdot ha^{-1}$) e total de CO_2 equivalente (t) encontrados dentro e fora das APPs no entorno de nascentes de propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Área (ha)	Dentro da Cerca			Fora da Cerca			Total ($\Delta CO_{2(eq)}$ (t))
		Biomassa ($t \cdot ha^{-1}$)	Carbono ($t \cdot ha^{-1}$)	Total ($CO_{2(eq)}$ (t))	Biomassa ($t \cdot ha^{-1}$)	Carbono ($t \cdot ha^{-1}$)	Total ($CO_{2(eq)}$ (t))	
4	0,17	7,48	3,74	2,33	≈ 0,00	≈ 0,00	≈ 0,00	2,33
5	0,20	5,25	2,63	1,93	0,69	0,35	0,26	1,67
6	0,71	7,17	3,59	9,30	3,28	1,64	4,27	5,03
7	0,58	8,07	4,03	8,59	3,24	1,62	3,45	5,14
8	0,07	6,88	3,44	0,93	≈ 0,00	≈ 0,00	≈ 0,00	0,93
9	0,10	9,80	4,90	1,80	0,95	0,48	0,18	1,62
10	0,12	9,56	4,78	2,14	1,64	0,82	0,36	1,78
Média	0,28	7,74	3,87	3,86	1,96	0,98	1,70	2,64

Segundo Moreira *et al.* (1982), as maiores produtividades de biomassa encontradas na região de Viçosa, foram para o capim-rabo-de-burro ($1,18 t \cdot ha^{-1}$), capim-gordura ($1,13 t \cdot ha^{-1}$), capim-sapé ($0,49 t \cdot ha^{-1}$) e por último o capim-gordo ($0,328 t \cdot ha^{-1}$). Essas produtividades foram determinadas em áreas de pastagens e se aproximam dos valores estimados para as áreas quantificadas fora das áreas cercadas (APP do entorno das nascentes) que sofrem influência do pastoreio de bovinos.

4. Conclusões

Os estoques médios de biomassa e de carbono encontrados nos fragmentos florestais em Áreas de Preservação Permanente foram de $119,44$ e $59,72 t \cdot ha^{-1}$, respectivamente. Esses valores foram superiores àqueles encontrados em áreas ocupadas por gramíneas. Nestas áreas, os estoques médios de biomassa e de carbono foram de $7,74$ e $3,87 t \cdot ha^{-1}$, respectivamente. Isto indica que as áreas de floresta, além da biodiversidade apresentada, promovem o serviço ecossistêmico de fixação e estocagem de carbono com maior intensidade, beneficiando a sociedade como um todo.

Nas áreas com presença de gramíneas, os estoques de biomassa e carbono foram considerados baixos, mas ainda superiores aos das pastagens, que podem ser tomadas como linha de base nesse processo de cercamento e proteção de nascentes. É possível que, após estabelecido o processo de sucessão secundária, exista um acúmulo

ainda maior de carbono na parte aérea pela vegetação arbórea que deverá se estabelecer caso o processo de recuperação não seja interrompido.

As Áreas de Preservação Permanente estudadas possuem a capacidade de estocar e sequestrar carbono da atmosfera e, portanto, contribuem para minimização do aquecimento global. Os proprietários rurais, donos das propriedades visitadas, são responsáveis pela proteção das Áreas de Preservação Permanente, onde são prestados serviços ambientais importantes que poderão ser contabilizados e monitorados para o pagamento por serviços ambientais.

Os dados florísticos indicaram que as áreas estudadas devem ser valorizadas, visto que apresentam grande diversidade de espécies arbóreas, dentre as quais se destacaram *Dalbergia nigra* e *Ocotea odorifera*, espécies que se encontram na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção.

Os estoques de carbono encontrados podem ser considerados importantes parâmetros para a valoração econômica dos serviços ambientais prestados em propriedades rurais, visto que já existe um mercado para comercialização de créditos de carbono florestal.

5. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Divisão Hidrográfica Nacional. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaI.asp>>. Acesso em: 20 Jan. 2009.

ALVES JÚNIOR, F. T.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. da; MARANGON, L. C.; COSTA JUNIOR, R. F. Estrutura diamétrica de um fragmento de Floresta Atlântica em matriz de cana-de-açúcar, Catende, Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 328-333, 2009.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce, Minas Gerais**. 2008. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2009.

BORN, R. H.; TALOCCHI, S. **Proteção do capital social e ecológico por meio de Compensações por Serviços Ambientais (CSA)**. São Paulo: Vitae Civilis, 2002. 150 p.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 6**, de 23 de setembro de 2008. Lista de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2008.

BRASIL. **Lei nº 4.771/1965**, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 1965.

BRASIL. **Lei nº 6.938/1981**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 1981.

BRASIL. **Resolução Conama nº 392**, de 25 de junho de 2007. Definição de vegetação primária e secundária de regeneração de Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2007.

BURGER, D. M.; DELITTI, W. B. C. Allometric models for estimating the phytomass of a secondary Atlantic Forest area of southeastern Brazil. **Biota Neotropica**, Campinas-SP, v. 8, n. 4, Oct./Dec. 2008. p. 131-136.

CETEC – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. **Determinação de equações volumétricas aplicáveis ao manejo sustentado de florestas nativas no estado de Minas Gerais e outras regiões do país**. Belo Horizonte-MG: SAT/CETEC, 1995. 295 p.

CIENTEC. **Mata Nativa versão 2.0**: sistema para análise fitossociológica e elaboração de inventários e planos de manejo de florestas nativas. Viçosa-MG: Cientec – Consultoria e Desenvolvimento de Sistemas Ltda., 2006.

COTTA, M. K.; JACOVINE, L. A. G.; PAIVA, H. N. de; SOARES, C. P. B.; VIRGENS FILHO, A. de C.; VALVERDE, S. R. Quantificação de biomassa e geração de certificados de emissões reduzidas no consórcio seringueira-cacau. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 6, p. 969-978, 2008.

FERNANDES, M. M. **Caracterização de solos e uso atual empregando aerofotos não-convencionais nas sub-bacias Marengo, Palmital e Silibar – Rio Turvo Sujo, MG**. 1996. 98 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. São Paulo-SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Fundação SOS Mata Atlântica, 2009. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em: 3 Jul. 2009.

GASPAR, R. O. **Dinâmica e crescimento do estrato arbóreo em áreas de Mata Atlântica, na região do Vale do rio Doce, MG**. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2008.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO₂

– UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus-AM, v. 28, p. 153-165, 1998.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 34, n. 3, p. 295-304, set./dez., 2004.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banco de dados. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> >. Acesso em: 20 Jan. 2009.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2000. **Land use, land use change and forestry**. Special Report. Inglaterra: Cambridge University Press, 2000. 375 p.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2006. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, forestry and other land use**. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006. v. 4.

KOEHLER, H. S.; WATZLAWICK, L. F.; KIRCHNER, F. F.; VALÉRIO, A. F. Fontes de erros nas estimativas de biomassa e carbono fixado na Floresta Ombrófila Mista. **Biomassa & Energia**, Viçosa-MG, v. 2, n. 1, p. 69-77, 2005.

LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; SANTOS, J. dos; HIGUCHI, N. Análise da estrutura e do estoque de fitomassa de uma floresta secundária da região de Manaus, AM, dez anos após corte raso seguido de fogo. **Acta Amazônica**, Manaus-AM, v. 37, n. 1, p. 49 – 54, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas no Brasil**. Vols. 1 e 2. 4. ed. Nova Odessa-SP: Instituto Plantarum, 2002. 384 p.

MEIRA-NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R. Estrutura da Mata da Silvicultura, uma floresta estacional semidecidual montana no município de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, n. 2, p. 151-160, 2000.

MOREIRA, J. O.; NASCIMENTO Jr., D.; RESENDE, M.; CÂNDIDO, J.F.; LUDWIG, A. Avaliação da eficiência de métodos de amostragem em pastagens naturais das unidades de pedopaisagens côncava e convexa no Município de Viçosa-G. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v. 11, n. 3, p. 488-500, 1982.

POPPE, M. K.; MEIRA FILHO, L. G.; FRANGETTO, F. W.; MOZZER, G. B.; MAGALHÃES, D. A.; SHELLARD, S. N.; ROCHA, M. T.; ESPARTA, A. R. J.; DELPUPO, C. H.; MARTINS, O. S.; BRANCO, M. B. C.; MASSARO, F. C. **Manual de capacitação: mudanças do clima e projetos de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**. Brasília-DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2008. 276 p.

QUINTEIRO, F. Q. L. **Levantamento do uso da terra e caracterização de ambiente da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo com a utilização de aerofotos não-convencionais**. 1997. 91 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1997.

RIBEIRO, S. C. **Quantificação do estoque de biomassa e análise econômica da implementação de projetos visando à geração de créditos de carbono em pastagem, capoeira e floresta primária**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2007.

SEVILHA, A. C.; PAULA, A.; LOPES, W. P.; SILVA, A. F. Fitossociologia do estrato arbóreo de um trecho de floresta estacional no Jardim Botânico da Universidade Federal de Viçosa (face sudoeste), Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 25, n. 4, p. 431- 443, 2001.

SHANNON, C. E.; WEAVER, W. **The mathematical theory of communication**. Urbana: University of Illinois Press, 173 p. 1963.

SILVA, N. R. S.; MARTINS, S. V.; MEIRA NETO, J. A. A.; SOUZA, A. L. de. Composição florística e estrutura de uma floresta estacional semidecidual montana em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 3, p. 397 - 405, 2004.

SMITH, J. et al. Harnessing carbon markets for tropical forest conservation: towards a more realistic assessment. **Environmental conservation**, Reino Unido, v. 27, n. 3, p. 300-311, Sept. 2000.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de ; SOUZA, A. L. de ; LEITE, H. G. Modelos para estimar a biomassa da parte aérea em um povoamento de *Eucalyptus grandis* na região de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 2, p. 179 - 189, 1996.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G.; YARED, J. A. G. Análise estrutural em Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme não explorada, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 75 - 87, 2006.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro-RJ: IBGE, 1991. 123 p.

VIEIRA, S. A.; ALVES, L. F.; AIDAR, M. P. M.; ARAÚJO, L. S.; BAKER, T.; BATISTA, J. L. F.; CAMPOS, M. C. R.; CAMARGO, P. B.; CHAVE, J.; DELITTI,

W. B.; HIGUCHI, N.; HONÓRIO, E.; JOLY, C. A.; KELLER, M.; MARTINELLI, L. A.; DE MATTOS, E. A.; METZKER, T.; PHILLIPS, O.; SANTOS, F. A. M.; SHIMABUKURO, M. T.; SILVEIRA, M.; TRUMBORE, S. E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v. 8, n. 2, p. 0-0, Jun. 2008.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa-MG: UFV, 1991. 448 p.

Produção de água em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG

Resumo: A redução na oferta de água potável e o desmatamento das encostas e das matas ciliares alertam os órgãos governamentais e outras instituições para a necessidade de proteger os recursos hídricos. A proteção desses recursos depende do manejo adequado dos ecossistemas para que haja garantia da provisão de serviços ambientais que são indispensáveis à sobrevivência humana. Esses serviços precisam ser mensurados para que sejam estabelecidas políticas públicas de incentivo à proteção ambiental. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi mensurar a produção de água, considerada como um serviço ambiental, em dez propriedades rurais que possuem nascentes e que estão localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG. As nascentes estudadas abastecem os Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo, que são afluentes do Rio Doce, um dos principais rios do Estado de Minas Gerais. As medições das vazões foram realizadas durante o período de setembro de 2008 a junho de 2009. Diante da diversidade das características das nascentes estudadas foram utilizados dois métodos de medição de vazão: método direto, empregando-se balde e cronômetro; e método indireto, através de um micromolinetete. No período chuvoso, entre outubro de 2008 e março de 2009, foram realizadas medições mensais, totalizando 67 medições. Para caracterização do período de estiagem foram coletados dados de vazão referentes aos meses de setembro de 2008 e abril, maio e junho de 2009, totalizando 32 medições. O deflúvio anual dessas nascentes foi considerado como o somatório dos deflúvios dos períodos de chuva e de estiagem. O maior valor de deflúvio foi igual a $333.807,00 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$, e o menor, igual a $1.591,04 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$. O consumo médio de água por propriedade rural é de $1.603,55 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$. Considerando a produção líquida de água como sendo a diferença entre o deflúvio anual das nascentes e o consumo anual nas propriedades rurais, tem-se uma média de produção líquida de água igual a $65.529,48 \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$. Portanto, as propriedades rurais estudadas são autossuficientes no que diz respeito à produção de água e se apresentam como grandes produtoras de água para a Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo e, conseqüentemente, para a Bacia Hidrográfica do Rio Doce-MG/ES. Essas propriedades rurais são consideradas prestadoras de serviços ambientais, e os produtores, além de arcarem com custos de proteção dos mananciais, deixam de auferir receitas através do uso alternativo do solo nessas áreas. Portanto, os produtores que manejam suas propriedades de forma sustentável e garantem a provisão de serviços ambientais deveriam ser compensados por gerarem esse benefício para a sociedade. A produção líquida de água em propriedades rurais pode ser considerada um importante parâmetro para a valoração econômica de serviços ambientais, visto que alguns valores já são atribuídos a esse recurso em função da implantação do princípio do Poluidor-Pagador através da cobrança pelo uso da água.

Palavras-chave: Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas; Proteção de Nascentes; Serviços Ambientais.

Water production on farms of the Turvo Limpo River Watershed-MG

Abstract: Nowadays, the water offer reduction, the deforestation of riparian zones and sloping areas bring the water resources to the attention of the government organs and other institutions. The water resources protection depends on the appropriate management of the ecosystems to ensure the provision of environmental services which are indispensable to the human survival. These services need to be measured for the establishment of public policies of incentive for the environmental protection. Thus, this study has aimed at measuring the water production, which is considered as an environmental service. Ten springs from the Turvo Limpo River Watershed-MG were visited on ten different farms. The studied springs feed the Turvo Limpo River and Turvo Sujo River. These rivers are tributaries of the Doce River, one of the main rivers of Minas Gerais state. The springs flows measurements were carried out from September 2008 until June 2009. Two different methods of flow measurements were employed due to the diversity of characteristics presented by the studied springs. The direct method of flow measurement was used through bucket and chronometer. The indirect method was also used through a flow probe. Monthly flow measurements were carried out, totalling 67 measurements, during the rainy season, from October 2008 until March 2009. At the dry season, flow data were collected on September 2008; April, May and June 2009, totalling 32 measurements. The annual flow of those springs was considered as the sum of the monthly flows at the rainy and dry seasons. The maximum annual flow was $333,807.00 \text{ m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$, and a minimum annual flow of $1,591.92 \text{ m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$. An average water consumption for each farm is $1,603.55 \text{ m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$, which means that the studied farms are self-sufficient in water production. In addition, these farms are important water producers for the Turvo Limpo River Watershed and, consequently, for the Doce River Watershed-MG/ES. Considering the net production of water as being the difference between the annual spring flow and the annual water consumption on the farms, an average value of the net production of water is $65,375.16 \text{ m}^3 \cdot \text{year}^{-1}$. These farms are considered as environmental services providers, and the farmers, besides paying for the springs protection costs, do not get incomes through the alternative soil uses in the Permanent Preservation Areas. Therefore, farmers that adopt a sustainable management and ensure the provision of environmental services should be compensated for this benefit generated for the society. The net production of water is an important parameter to be considered for economic valuation of the environmental services provided on farms. Some values are already attributed to the water resources due to the implantation of the Polluter Payer's principle through the charging of water used.

Keywords: Integrated Management of Watershed; Springs Protection; Environmental Services.

1. Introdução

A conservação dos recursos hídricos, em termos da hidrologia das microbacias, da quantidade e da qualidade da água e do ecossistema aquático, depende do manejo dos ecossistemas. As mudanças de uso da terra podem alterar os serviços ambientais prestados pelos ecossistemas de inúmeras formas: desmatamento, expansão de fronteiras agrícolas, construção de estradas, urbanização e vários outros processos antrópicos de alteração da paisagem, que podem afetar os ciclos naturais da água e dos solos. Além disso, o manejo da terra, como o preparo do solo, o plantio, a adubação e a colheita, pode afetar negativamente as propriedades hidrológicas dos solos, que, em médio e longo prazos, pode contribuir para a degradação das microbacias hidrográficas, afetando diretamente os usuários ou consumidores de água.

As relações de causa e efeito entre as práticas de uso da terra e conservação dos recursos hídricos tornam-se objeto de estudo para mudanças fundamentais no foco do manejo sustentável dos recursos naturais. Essa consideração necessita, portanto, da recuperação desses serviços ambientais ao longo da paisagem, bem como da implementação e da melhoria contínua das práticas de manejo baseadas em monitoramento de indicadores hidrológicos apropriados (LIMA, 2006). A utilização racional dos recursos naturais e a manutenção dos serviços ambientais são práticas integrantes do Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas. Esse manejo é uma proposta educativa e técnica que visa recuperar o ambiente deteriorado através de atividades de proteção da natureza que possibilitam o uso sustentável dos recursos hídricos.

O Brasil tem avançado na direção de uma gestão mais racional e democrática dos recursos hídricos. As metodologias participativas selam a união entre diversos atores socioeconômicos e ambientais que buscam um sistema de gestão mais eficiente, visando benefícios à sociedade brasileira. Exemplos de incentivo às práticas adequadas de manejo de bacias hidrográficas já podem ser vistos em alguns municípios brasileiros, onde foram implantados sistemas de pagamento por serviços ambientais.

A bacia hidrográfica deve ser assumida como unidade básica de planejamento para o manejo sustentável dos recursos hídricos. Dentro dessa unidade de trabalho devem-se incluir as demandas locais e a necessidade de se reconhecer e incentivar produtores rurais anônimos que manejam adequadamente suas propriedades rurais, contribuindo, portanto, para a sustentabilidade das bacias hidrográficas e para manutenção dos serviços ambientais.

Segundo o conceito de microbacia hidrográfica, as alterações em termos de vazão e qualidade da água são respostas a eventos de chuva ou ao uso do solo. De acordo com Lima (1996), *apud* CÂMARA *et al.* (2006), do ponto de vista hidrológico as bacias hidrográficas são classificadas em grandes ou pequenas, não com base em sua superfície total, mas nos efeitos de certos fatores dominantes na geração de deflúvio. Define-se microbacia como aquela na qual a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e a diferenças de uso do solo não é suprimida pelas características da rede de drenagem (CÂMARA *et al.*, 2006).

Entende-se por vazão o deflúvio na unidade de tempo e por deflúvio o volume total de água que passa, em determinado período, pela seção transversal de um curso d'água. O deflúvio anual define, desta forma, a expressão “produção de água” de uma bacia hidrográfica em um ano hidrológico. O deflúvio reflete a integração de todos os fatores hidrológicos em uma bacia hidrográfica, incluindo características topográficas, clima, solo, geologia e uso do solo. Segundo Lima (2006), vários fatores afetam o deflúvio de uma bacia hidrográfica, sendo três grandes grupos de fatores: clima (influencia a precipitação em sua intensidade, duração, distribuição temporal/espacial; e evapotranspiração); fisiografia (influencia a formação do deflúvio devido à declividade, altitude, densidade de drenagem e características geométricas da bacia); uso do solo (a cobertura vegetal, pela sua influência sobre processos hidrológicos como interceptação, transpiração, infiltração e percolação, constitui-se em um dos fatores mais importantes que afetam a produção de água em microbacias).

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi mensurar a produção de água em dez nascentes pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG. Pretendeu-se, ainda, realizar a caracterização morfométrica das microbacias onde se inserem as nascentes estudadas; avaliar a qualidade da água produzida por essas nascentes; estimar o consumo de água em cada propriedade rural onde estão localizadas as dez nascentes objeto deste estudo; bem como calcular a produção líquida de água por propriedade, com o intuito de fornecer dados para a valoração econômica dos serviços ambientais prestados por produtores rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG.

2. Material e métodos

2.1. Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado em seis comunidades rurais denominadas Lage, Duas Barras, Bragança, Luiza, Leme e Varginha. Estas comunidades estão localizadas a aproximadamente 40 km de Viçosa-MG, às margens da rodovia BR 356. Dentre as dez propriedades rurais estudadas, cinco se encontram na zona rural de Viçosa e as demais estão na zona rural de Porto Firme, em região limítrofe desses municípios com Guaraciaba-MG.

As dez propriedades rurais amostradas para realização deste trabalho fazem parte do projeto “Proteção de Nascentes”, que é desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa desde julho de 2005.

Em todas as propriedades rurais estudadas estão presentes nascentes que variam quanto à origem e vazão. Essas nascentes abastecem os Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo (Figura 1), que são afluentes do Rio Doce, um dos principais rios do Estado de Minas Gerais. De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2009), a Bacia do Rio Doce está localizada na Região Hidrográfica Costeira do Sudeste. A Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo é uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, e esta, por sua vez, é uma sub-bacia do Rio Piranga, um importante formador do Rio Doce.

A região apresenta relevo predominantemente forte-ondulado e montanhoso (Domínio de Mar de Morros), com encostas de perfil convexo-côncavo embutidos em vales de fundo chato, formados por terraços e leitos maiores, onde meandram pequenos córregos. Enquadra-se sob rochas do Complexo Cristalino e do Pré-Cambriano Indiviso, constituídas por gnaisses diversos e migmatitos. O solo da região foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Cambissolo Distrófico (FERNANDES, 1996).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo Cwa (clima de inverno seco e verão chuvoso), descrito a seguir:

“C” = clima temperado quente: temperatura média do mês mais frio está entre -3° e 18° C;

“W” = a época mais seca coincide com o inverno no hemisfério correspondente e comporta pelo menos um mês com precipitação inferior a 60 mm; e

“a” = a temperatura média do mês mais quente é superior a 22° C.

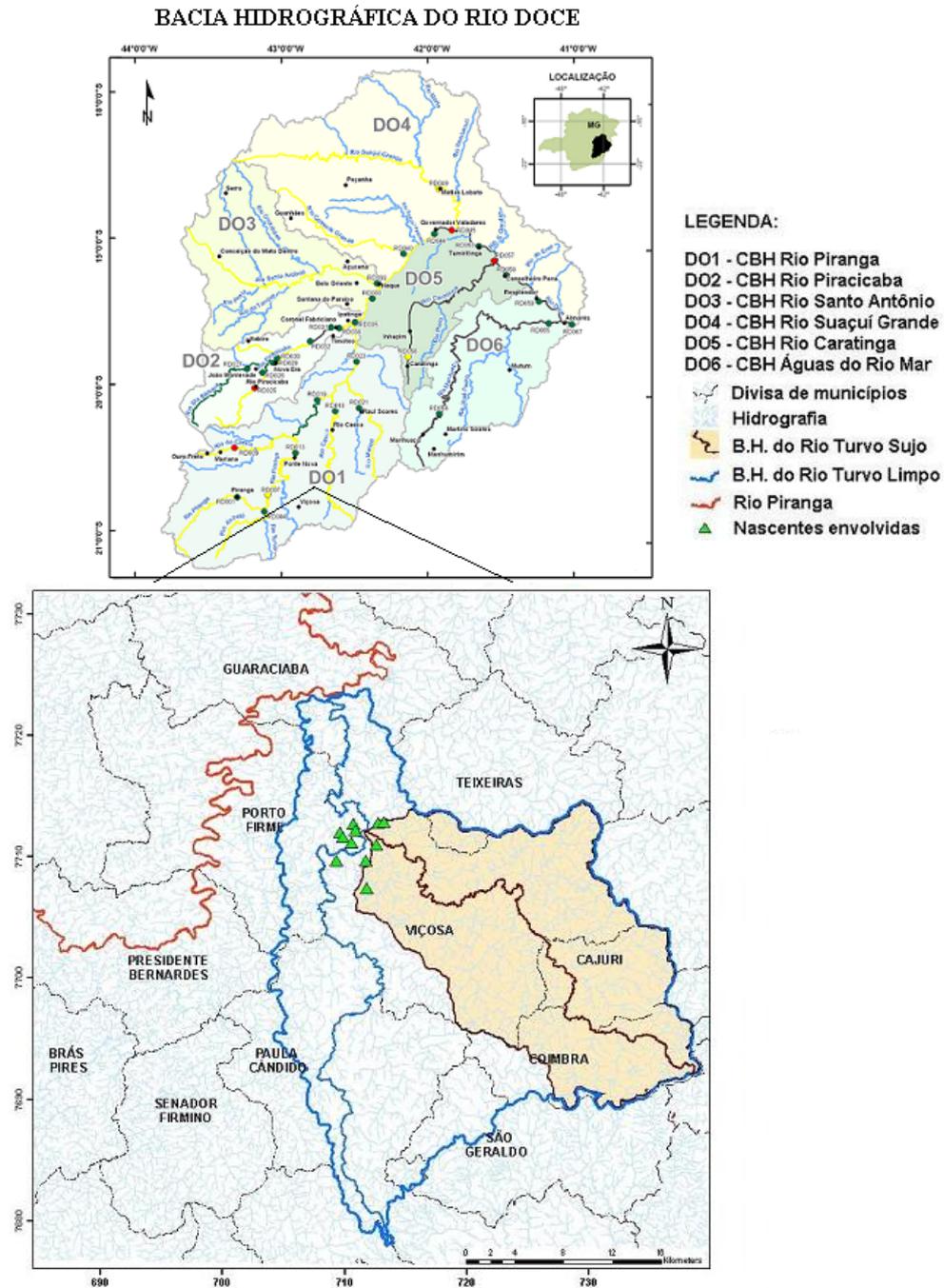
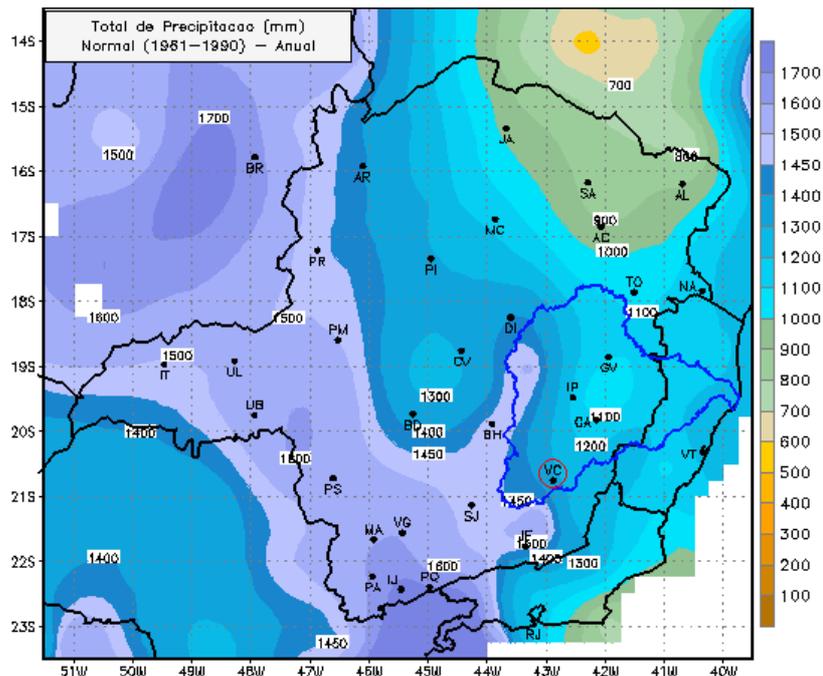


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Doce com destaque para as bacias dos Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo e para as nascentes envolvidas na pesquisa. Projeção: UTM, zona 23S. Datum: SAD 69.

Dados históricos apresentados pelo sistema de meteorologia e recursos hídricos de Minas Gerais (SIMGE, 2009) mostram que a média anual para a cidade de Viçosa varia entre 1.200 e 1.300 mm (Figura 2). Entretanto, segundo Vianello e Alves (1991) a média anual pluviométrica de Viçosa é de 1.342,1 mm, com um período chuvoso de outubro a março e um período de estiagem de abril a setembro.



Fonte: SIMGE/IGAM (2009).

Figura 2 – Média anual da precipitação em Viçosa (VC) com base nas normais climatológicas do período de 1961 a 1990. Viçosa-MG.

2.2. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo

A Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo pertence à bacia de cabeceira do Rio Doce. O Rio Turvo Limpo abastece o Rio Piranga, que é um dos principais formadores do Rio Doce. A Bacia do Rio Doce é dividida em Alto, Médio e Baixo Rio Doce. Na região do Alto Rio Doce, onde está localizado o Rio Turvo Limpo, as principais atividades desenvolvidas pela população estão relacionadas à agropecuária e suinocultura (IGAM, 2008).

Os usos preponderantes da água na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo e na Bacia do Rio Doce são: abastecimento público, consumo humano e agroindustrial, dessedentação de animais, irrigação e geração de energia elétrica (IGAM, 2008).

Para o monitoramento da qualidade das águas no Estado de Minas Gerais foi definido um conjunto de parâmetros considerados importantes para caracterização da qualidade das águas: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. O Índice de Qualidade da Água (IQA) indica o grau de contaminação das águas

em função dos materiais orgânicos e fecais, dos nutrientes e dos sólidos, que normalmente são indicadores de poluição devido ao despejo de esgotos sanitários (IGAM, 2008).

Em um levantamento realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2008) para verificação da qualidade geral da água na Bacia Hidrográfica do Rio Doce foram detectados alguns problemas, que estão descritos a seguir. A média anual do Índice de Qualidade das Águas – IQA no Rio Piranga, em 2007, apresentou-se no nível médio em toda sua extensão. No ponto localizado no município de Porto Firme, o Rio Piranga passou de IQA bom em 2006 para IQA médio em 2007. Os parâmetros que mais influenciaram essa condição foram os coliformes termotolerantes e a turbidez. No município de Porto Firme a poluição difusa, através da pecuária, foi mais evidente. A contagem de coliformes foi mais representativa a jusante de Ponte Nova, estação que recebe a influência dos esgotos domésticos dos seguintes municípios: Porto Firme, Paula Cândido, Coimbra, Viçosa, Guaraciaba, Teixeiras e Ponte Nova.

2.3. Classificação das nascentes

Em 2005 realizou-se um diagnóstico visual das propriedades rurais através da técnica denominada caminharmento transversal, que consiste em percorrer a propriedade rural junto com o proprietário, que deve descrever o histórico de uso das áreas e suas ocupações atuais. As nascentes amostradas foram classificadas de acordo com o tipo de reservatório a que estão associadas, ou seja, como os lençóis freáticos as originam, sendo consideradas pontuais ou difusas. Como nascentes pontuais foram classificadas todas aquelas que apresentaram a ocorrência do fluxo d'água em um único ponto do terreno, localizadas, geralmente, em grotas e no alto das serras. As nascentes foram consideradas difusas quando não havia um único ponto de vazão definido no terreno, ou seja, apresentavam vários olhos d' água (PINTO *et al.*, 2004).

O estado de conservação das nascentes foi avaliado conforme proposto por Dias *et al.* (2006):

- Conservada: apresentam pelo menos 50 m de vegetação natural no seu entorno em estágio sucessional médio ou avançado; protegida contra o pisoteio de animais; protegida contra a contaminação por dejetos animais e humanos e contra a poluição por outros resíduos; ausência de áreas degradadas ou erodidas; solo sem compactação.

- Perturbada: apresentam menos de 50 m de vegetação nativa no seu entorno; presença de culturas com manejo de baixo impacto; poucas áreas com solo exposto; presença de indicadores de regeneração natural.

- Degradada: ausência de vegetação; alto grau de perturbação; presença de animais pisoteando e contaminando a área; áreas erodidas ou compactadas.

A quantidade e a qualidade da água das nascentes de uma bacia hidrográfica podem ser alteradas por diversos fatores, destacando-se a declividade, o tipo de solo e o uso da terra, principalmente das áreas de recarga, pois influenciam o armazenamento da água subterrânea e o regime da nascente e dos cursos d'água. Assim, torna-se necessário estudar as interações dos recursos naturais e das ações antrópicas na bacia hidrográfica, uma vez que a conservação dos recursos hídricos não pode ser alcançada independentemente da conservação dos outros recursos naturais.

Deste modo, foi realizada a caracterização do meio físico nas microbacias hidrográficas estudadas, destacando, em especial, as técnicas conservacionistas utilizadas e o nível de tecnologia empregado no manejo das propriedades.

2.4. Morfometria das microbacias

A bacia hidrográfica deve ser considerada como unidade de planejamento para o manejo dos recursos naturais e deve orientar o uso e a ocupação dos solos. Para efetuar o manejo de uma bacia hidrográfica é importante conhecer suas características morfométricas, físicas, biológicas e sociais.

Os dados para elaboração da morfometria das microbacias onde se inserem as nascentes estudadas foram obtidos na base de dados planialtimétricos do IBGE, nas cartas planialtimétricas digitais de Teixeiras e Viçosa-MG. Os dados de hipsometria e hidrografia disponíveis no site encontravam-se na escala de 1:50.000 e foram processados através do software ArcGis versão 9.3, onde gerou-se o modelo digital de elevação para as microbacias estudadas. Os parâmetros morfométricos calculados para as microbacias estudadas estão descritos a seguir.

2.4.1. Características geométricas

- *Área de drenagem (A)* = área drenada pelo conjunto do sistema fluvial inclusa entre seus divisores topográficos, projetada em plano horizontal.

- **Perímetro da bacia (P)** = comprimento da linha imaginária ao longo do divisor de águas da bacia.

- **Índice de compactidade (CC)** = indica o quanto compactada ou circular é a bacia hidrográfica. Relaciona a forma da bacia com um círculo (equação 1).

$$CC = \frac{0,2821 \times P}{A} \quad \text{[equação 1]}$$

em que

P = perímetro da bacia, em km; e

A = área da bacia, em km².

- **Fator de forma (F)** = relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, é a razão entre a largura média e o comprimento do eixo da bacia (equação 2).

$$F = \frac{A}{L^2} \quad \text{[equação 2]}$$

em que

A = área da bacia, em km²; e

L = comprimento do eixo da bacia, em km.

- **Índice de Circularidade (IC)** = verifica o grau de circularidade de uma bacia. Quanto mais próximo de um, mais circular é a bacia (equação 3).

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad \text{[equação 3]}$$

em que

A = área da bacia, em km²; e

P = perímetro da bacia, em km.

- **Razão de alongação (RE)** = verifica a tendência de alongamento da bacia (Equação 4).

$$RE = \frac{1,128 \times A^{0,5}}{L} \quad \text{[equação 4]}$$

em que

A = área da bacia, em km²; e

L = comprimento do eixo da bacia, em km.

2.4.2. Características do relevo

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial e consequentemente, o tempo de concentração são determinados pela declividade do terreno. Além disso, a temperatura, a precipitação, a evaporação e outros fenômenos são funções da altitude da bacia. Portanto, é importante determinar as curvas características de uma bacia hidrográfica (TONELLO, 2005). Neste aspecto foram calculadas a altitude média e os seguintes parâmetros:

- **Declividade média (%)** = é expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. O modelo digital de elevação gerado pelo software ArcGis 9.3 foi utilizado como base para geração do mapa de declividade.

- **Declividade Geral da bacia (SB)** = é expressa pela diferença de altitude com o comprimento da bacia, e está relacionada com o curso d'água principal.

$$SB = \frac{H}{L} \quad \text{[equação 5]}$$

em que

H = amplitude altimétrica, em m; e

L = comprimento do eixo da bacia, em m.

- **Orientação** = definida como sendo o azimute em graus para o qual se encontra orientado o plano de máxima declividade nesse ponto.

2.4.3. Características da rede de drenagem

- **Comprimento total dos cursos d'água (Cc)** = somatório do comprimento dos arcos de toda a hidrografia dentro da microbacia.

- **Ordem da bacia** = representa o grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia (TUCCI, 2001). A ordem das microbacias foi determinada pelo método de Strahler no qual para cursos d'água sem tributários é adotada a primeira ordem. Cursos d'água de segunda ordem são aqueles que recebem somente tributários de primeira ordem, independentemente do número de tributários. Cursos d'água de terceira ordem são aqueles que recebem dois ou mais tributários de segunda ordem, podendo receber tributários de primeira ordem, e assim sucessivamente.

- **Densidade de drenagem (DD)** = o sistema de drenagem é constituído pelo rio principal e seus tributários e seu estudo indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica, ou seja, a eficiência de drenagem da bacia. De acordo com Lima (1982), esse índice reflete a influência da geologia, da topografia, do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, e está relacionado com o tempo gasto para a saída do escoamento superficial da bacia. A densidade de drenagem é definida como a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica e a área por ela ocupada (equação 6).

$$DD = \frac{Cc}{A} \quad \text{[equação 6]}$$

em que

Cc = comprimento total dos cursos d'água, em km; e

A = área da bacia, em km².

2.5. Métodos para medição da vazão

As medições de vazão foram realizadas em pontos de captação de água das nascentes, durante o período de setembro de 2008 a junho de 2009. As vazões que caracterizaram o período chuvoso abrangeram o período compreendido entre os meses de outubro de 2008 e março de 2009. Para caracterização do período de estiagem foram coletados dados de vazão referentes aos meses de setembro de 2008 e abril, maio e junho de 2009.

Foram utilizados o método direto de medição da vazão, empregando-se balde e cronômetro, e o método indireto, através do micromolinete Flow Probe FP101.

2.5.1. Método direto

O método direto foi utilizado para medição de pequenas vazões, e o curso d'água foi desviado para canos de PVC, através de barragens de barro.

O processo direto de obtenção da vazão consistiu em três medições diretas do tempo gasto para a coleta de um volume conhecido de água, com auxílio de cronômetro digital e balde graduado. As vazões das nascentes das propriedades 2, 3, 4, 6, 8, 9 e 10 foram avaliadas pelo método direto e foram obtidas através da equação 7.

$$Q_m = \frac{\sum \left(\frac{Vol}{t} \right)}{3} \quad \text{[equação 7]}$$

em que

Q_m = vazão média da nascente, em $L.s^{-1}$;

Vol = volume de água, em litros (L); e

t = tempo, em segundos (s).

2.5.2. Método indireto

O método do micromolinete baseia-se no fato de que a vazão pode ser calculada através do produto (equação 8) da área de uma seção do curso d'água pela velocidade do fluxo nessa seção:

$$Q = V \times A \quad \text{[equação 8]}$$

em que

Q = vazão, em $m^3.s^{-1}$;

A = área da seção, em m^2 ; e

V = velocidade do fluxo, em $m.s^{-1}$.

Para medição da vazão das nascentes das propriedades 1, 5 e 7 foi utilizado o micromolinete Flow Probe FP101, que determina a velocidade média do fluxo da água. O método de medição adotado, descrito no manual do aparelho (GLOBAL WATER, 2004) e recomendado pela USGS (U.S. Geological Survey), consiste em colocar o

micromolinete no centro da seção a uma profundidade de um terço da profundidade total. Assume-se que a um terço da profundidade total encontra-se o ponto de velocidade comum para o perfil vertical.

A área média da seção foi estimada através de medições com auxílio de trena e régua. A vazão foi estimada conforme fórmula descrita equação 8.

Após coletadas as vazões de todas as nascentes, realizou-se a análise dos dados, utilizando o cálculo das médias mensais para cada ponto amostrado, a fim de gerar as vazões médias para os períodos de estiagem e de chuva. O deflúvio anual dessas nascentes foi calculado ao somar os deflúvios dos períodos de chuva e de estiagem. As coletas foram realizadas de setembro de 2008 a junho de 2009. Para os meses de julho e agosto os deflúvios mensais foram estimados, considerando-se que as vazões desses meses foram iguais às vazões do mês de junho.

2.6. Qualidade da água

As nascentes estudadas foram classificadas segundo alguns padrões de qualidade das águas determinados na Resolução nº 357/2005 do Conama (BRASIL, 2005). Esses padrões estabelecem limites individuais para os parâmetros avaliados em cada classe.

Foram avaliados apenas quatro parâmetros de qualidade da água que contribuem para o monitoramento do manejo de bacias hidrográficas, servindo para avaliar as práticas de uso e ocupação do solo. Entretanto, existem inúmeros outros parâmetros orgânicos e inorgânicos que servem para determinar o índice de qualidade da água. Segundo a Resolução nº 357/2005 do Conama (BRASIL, 2005), as águas-doces podem ser enquadradas nas seguintes classes:

1) Classe especial = águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; e à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

2) Classe 1 = águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

3) Classe 2 = águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de

contato primário; à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e à atividade de pesca.

4) *Classe 3* = águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.

5) *Classe 4* = águas que podem ser destinadas à navegação; e à harmonia paisagística.

2.6.1. Parâmetros físicos

2.6.1.1. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica da água é determinada pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions. As principais fontes dos sais de origem antropogênica naturalmente contidos nas águas são: descargas industriais de sais, consumo de sal em residências e no comércio, excreções de sais pelo homem e por animais.

A condutividade elétrica da água das dez nascentes foi medida através de um condutivímetro portátil de campo e laboratório, modelo DM-3P. A água de cada nascente foi coletada em frascos plásticos limpos e encaminhada para o laboratório, onde foram realizadas as análises com auxílio do aparelho. Foram realizadas coletas mensais em março, maio e junho de 2009.

2.6.1.1.1. Turbidez

A turbidez representa o grau de interferência da passagem da luz através da água, conferindo a ela uma aparência turva. A turbidez tem como origem natural a presença de matéria em suspensão, como partículas de rocha, argila, silte, algas e outros micro-organismos, e como fonte antropogênica os despejos domésticos, industriais e a erosão.

A turbidez da água das dez nascentes estudadas foi medida através de um turbidímetro portátil de campo e laboratório, modelo DMTU. As amostras de água de

cada nascente foram coletadas em frascos plásticos limpos. Em seguida, realizou-se a análise da turbidez em laboratório, com o auxílio do aparelho. Foram realizadas coletas em março, maio e junho de 2009.

2.6.2. Parâmetros químicos

2.6.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH define o caráter ácido, básico ou neutro de uma solução aquosa. Sua origem natural está associada à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese, enquanto sua origem antropogênica está relacionada aos despejos domésticos e industriais.

O pH da água das dez nascentes estudadas foi medido através de um pHmetro portátil de campo e laboratório, modelo DM-2P. As amostras de água das nascentes foram coletadas em frascos plásticos limpos e encaminhadas para laboratório, onde o pH foi medido com o auxílio do aparelho. Foram realizadas coletas mensais em março, maio e junho de 2009.

2.6.3. Parâmetros microbiológicos

2.6.3.1. Coliformes totais

As análises dos coliformes totais foram feitas no Laboratório de Microbiologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa. As coletas das amostras de água foram realizadas nos mesmos locais onde foram medidas as vazões das nascentes, entretanto foram feitas apenas uma coleta de água por nascente. A amostra foi acondicionada em vidros esterilizados e transportada em caixa térmica com gelo reciclável, para posterior análise em laboratório.

2.7. Consumo de água nas microbacias

O consumo de água nas microbacias estudadas foi estimado com base no formulário de registro do uso da água usado pelo IGAM, durante a campanha de regularização do uso dos recursos hídricos em Minas Gerais. A campanha teve como

objetivo conhecer o uso da água no Estado de Minas Gerais, para assegurar a todos o direito de acesso à água de qualidade (IGAM, 2009). Segundo esse formulário, a vazão máxima de água consumida se refere ao somatório das vazões consumidas para cada finalidade: consumo humano (Tabela 1); dessedentação de animais (Tabela 2) e irrigação (Tabela 3).

Tabela 1 – Estimativas do consumo humano de água (IGAM, 2009)

Porte da Comunidade	Faixa da População (Número de Habitantes)	Consumo <i>per capita</i> (L/hab*dia)
Povoado rural	< 5.000	90 – 140
Vila	5.000 – 10.000	100 – 160
Pequena comunidade	10.000 – 50.000	110 – 180
Cidade média	50.000 – 250.000	120 – 200
Cidade grande	> 250.000	150 – 300

Tabela 2 – Estimativas do consumo de água destinada à dessedentação de animais (IGAM, 2009)

Dessedentação Animal	Consumo <i>per capita</i> (L/cabeça*dia)
Bovinos, equinos, muares	60 – 80
Suínos	30 – 40
Aves	0,2 - 0,4

Tabela 3 – Estimativas do consumo de água destinada à irrigação (IGAM, 2009)

Método de Irrigação*	Tipos	Consumo por Hectare (L/s * ha)
Superfície	Sulcos ou faixa de infiltração/inundação	1,5 a 4,0
Aspersão	Pivô central/autopropelido/convencional	1,0 a 1,4
Localizada	Gotejamento/ Microaspersão/Xique-xique	0,5 a 0,8

* O consumo de água para molhação de horta é considerado insignificante, caso a área seja inferior a 1,0 ha.

O consumo de água para piscicultura é estimado de acordo com a área inundada. A vazão ideal para a atividade é de 10 L.s⁻¹ por hectare de área inundada. Este valor é o suficiente para o enchimento, as renovações e as compensações por perdas provocadas pela evaporação e infiltração. A vazão registrada para piscicultura refere-se apenas às

perdas por evaporação e infiltração, que pode ser estimada em 1 L.s⁻¹ por hectare de área inundada (IGAM, 2009).

Os dados referentes ao consumo de água nas propriedades rurais amostradas foram coletados por meio de pesquisa interativa e preenchimento do formulário da campanha de regularização do uso dos recursos hídricos em Minas Gerais (IGAM, 2009), junto aos produtores rurais.

2.8. Produção líquida de água nas microbacias

A produção líquida de água nas microbacias estudadas foi obtida através dos cálculos dos deflúvios diários das nascentes e dos consumos diários de água nas propriedades rurais (equação 9).

$$D_{\text{produzido}} = D_{\text{nascentes}} - D_{\text{consumido}} \quad [\text{equação 9}]$$

em que

$D_{\text{produzido}}$ = produção líquida de água para a bacia, em m³.ano⁻¹;

$D_{\text{nascentes}}$ = deflúvio das nascentes, em m³.ano⁻¹; e

$D_{\text{consumido}}$ = água consumida nas propriedades rurais, em m³.ano⁻¹.

3. Resultados e discussão

3.1. Classificação das nascentes

A Tabela 4 apresenta a classificação das nascentes visitadas em cada propriedade rural, quanto à origem e estados de conservação nos anos de 2005 e 2008, bem como o município onde estas estão localizadas.

Em 2005, durante o diagnóstico visual das nascentes, percebeu-se que apenas três nascentes se encontraram conservadas, apresentando pelo menos 50 m de raio de vegetação natural no seu entorno e protegidas contra o pisoteio de animais. A grande maioria, quatro nascentes, foi classificada como perturbada visto que apresentavam alguma vegetação ciliar ou indícios de regeneração natural, e poucas áreas com exposição do solo. As nascentes restantes sofreram alto grau de perturbação (ausência de vegetação, presença de animais pisoteando e contaminando a área, áreas erodidas ou compactadas) e, portanto, foram consideradas degradadas.

Tabela 4 – Localização das propriedades rurais e classificação das nascentes amostradas quanto à origem e estado de conservação

Propriedade	Município	Origem	Estado de Conservação 2005	Estado de Conservação 2008
1	Viçosa	Difusa	Conservada	Conservada
2	Porto Firme	Pontual	Conservada	Conservada
3	Porto Firme	Difusa	Conservada	Conservada
4	Porto Firme	Difusa	Perturbada	Conservada
5	Porto Firme	Difusa	Degradada	Perturbada
6	Viçosa	Difusa	Perturbada	Conservada
7	Viçosa	Difusa	Degradada	Perturbada
8	Porto Firme	Difusa	Degradada	Perturbada
9	Viçosa	Difusa	Degradada	Perturbada
10	Viçosa	Pontual	Perturbada	Perturbada

Essas nascentes participam do projeto Proteção de Nascentes, desde 2005, e durante esse período foram implantadas algumas técnicas conservacionistas de água e solo a fim de garantir água em quantidade e qualidade adequadas aos seus diversos usos. A Tabela 5 representa as técnicas que foram implantadas em cada propriedade rural no ano de 2006/2007.

Tabela 5 – Técnicas conservacionistas de água e solo implantadas em 2006 nas propriedades rurais pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Cerca	Curva de Nível	Cordão de Contorno	Bacia de Contenção	Plantio
1	X				X
2			Sem intervenção		
3			Sem intervenção		
4	X				X
5	X				X
6	X			X	X
7	X	X	X	X	X
8	X	X			X
9	X				X
10	X	X		X	X

As propriedades 2 e 3 apresentaram suas nascentes em bom estado de conservação, portanto não sofreram nenhuma intervenção. A propriedade 1, apesar de ter sido considerada conservada em 2005, foi cercada, uma vez que o produtor

constatou essa demanda para evitar o pisoteio por animais no entorno da nascente. As demais propriedades estudadas foram cercadas em 2006, com o intuito de impedir a entrada de animais e favorecer, desta forma, a qualidade da água. O plantio de recuperação também foi uma técnica de grande aceitação por parte dos produtores rurais. As espécies arbóreas plantadas foram selecionadas após estudo técnico da vegetação local e foram priorizadas espécies nativas com potencial frutífero, melífero ou medicinal. Essa formação ciliar deve exercer a filtragem de sedimentos, impedindo que estes alcancem os corpos d' água e favorecendo a qualidade das águas das nascentes.

Nas áreas de contribuição das nascentes localizadas nas propriedades 6, 7, 8 e 10, além do cercamento e plantio, foram implantadas bacias de contenção, cordões de contorno e curvas de nível, que são técnicas conservacionistas que têm como objetivo aumentar a infiltração de água no solo e diminuir o escoamento superficial da água da chuva.

Após a implantação dessas técnicas e através do processo de conscientização ambiental, os produtores rurais, proprietários dessas nascentes, modificaram algumas atitudes e promoveram melhorias nas suas respectivas propriedades. Essas mudanças resultaram na alteração do estado de conservação das nascentes, o que pode ser visualizado na Tabela 4.

3.2. Morfometria

Os parâmetros morfométricos, juntamente com as características do uso e ocupação do solo, da cobertura vegetal existente e da geologia local, influenciam os processos hidrológicos nas bacias hidrográficas e, por isso, são importantes para caracterização dessas áreas nos aspectos de produção e manutenção dos recursos hídricos locais. Realizou-se a análise morfométrica das microbacias onde se inserem as nascentes localizadas nas dez propriedades rurais estudadas.

As microbacias estudadas pertencem à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo e podem ser visualizadas na Figura 3. Na microbacia 2 estão localizadas três nascentes, que se encontram em três propriedades rurais distintas (propriedades 2, 3 e 5). A microbacia 5 apresenta duas nascentes, que pertencem à mesma propriedade rural (propriedade 7).

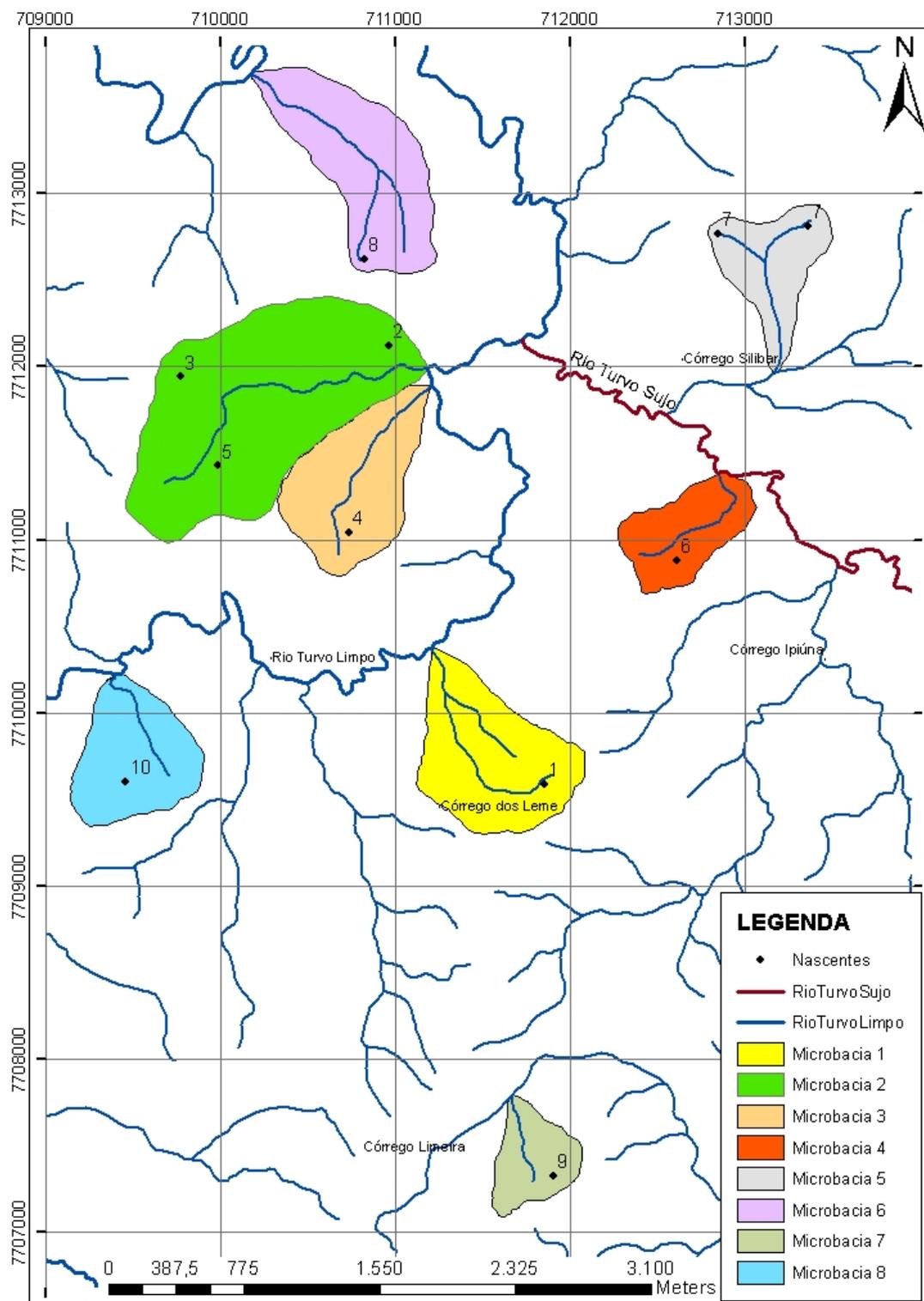


Figura 3 – Mapa de localização das oito microbacias estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG. Projeção: UTM, Zona 23S. Datum: SAD, 69.

A altitude média de uma bacia hidrográfica influencia a quantidade de radiação que ela recebe e, conseqüentemente, a evapotranspiração, a temperatura e a precipitação. Grandes variações na altitude ocasionam diferenças significativas na temperatura, e esta por sua vez influencia a evapotranspiração (TONELLO, 2005). As microbacias estudadas apresentaram altitude máxima de 862,97 m e mínima de 573,25 m (Figura 4). A altitude média das bacias estudadas foi de 684,86 m, que é inferior ao valor de 730,94 m encontrado por Santos (2001) para a Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo.

A Figura 5 ilustra as características da declividade das microbacias hidrográficas estudadas.

A declividade média encontrada foi de 32%, o que indica que o relevo é forte-ondulado e vai de encontro com a afirmação de Fernandes (1996), que constatou que a região da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo apresenta a mesma característica de relevo. A declividade média da bacia hidrográfica tem importante papel na distribuição da água entre o escoamento superficial e subterrâneo, além de influenciar outras fases do ciclo hidrológico (TONELLO, 2005). A declividade, dentre outros fatores, é fundamental para o planejamento, para o cumprimento da legislação e para garantir a eficiência das intervenções do homem no meio (ROMANOVISKI, 2001). As classes de declividade geradas pelo modelo digital de elevação foram reclassificadas em seis intervalos distintos, sugeridos pela Embrapa (1979), como apresentado na Tabela 6.

Todas as microbacias estudadas apresentam área reduzida, sendo a média das áreas de drenagem igual a 57 hectares. Portanto, são consideradas pequenas unidades territoriais ou microbacias hidrográficas, pois apresentam baixas dimensões de área e perímetro, podendo ser monitoradas para fins de manejo de recursos hídricos e edáficos.

A forma da bacia é determinada por índices que a relacionam com formas geométricas conhecidas, como fator de forma (F), índice de compacidade (CC) e índice de circularidade (IC). A forma superficial de uma bacia hidrográfica é importante na determinação do tempo de concentração, ou seja, o tempo necessário para que toda a bacia contribua para a sua saída após um evento de precipitação.

A razão de alongação das bacias estudadas indicou que elas são ligeiramente alongadas. O índice de compacidade, ao se aproximar da unidade, indica que o formato da bacia é circular. A microbacia 8 apresentou índice de compacidade com valor mais próximo da unidade, sendo, portanto, considerada a bacia com formato mais circular.

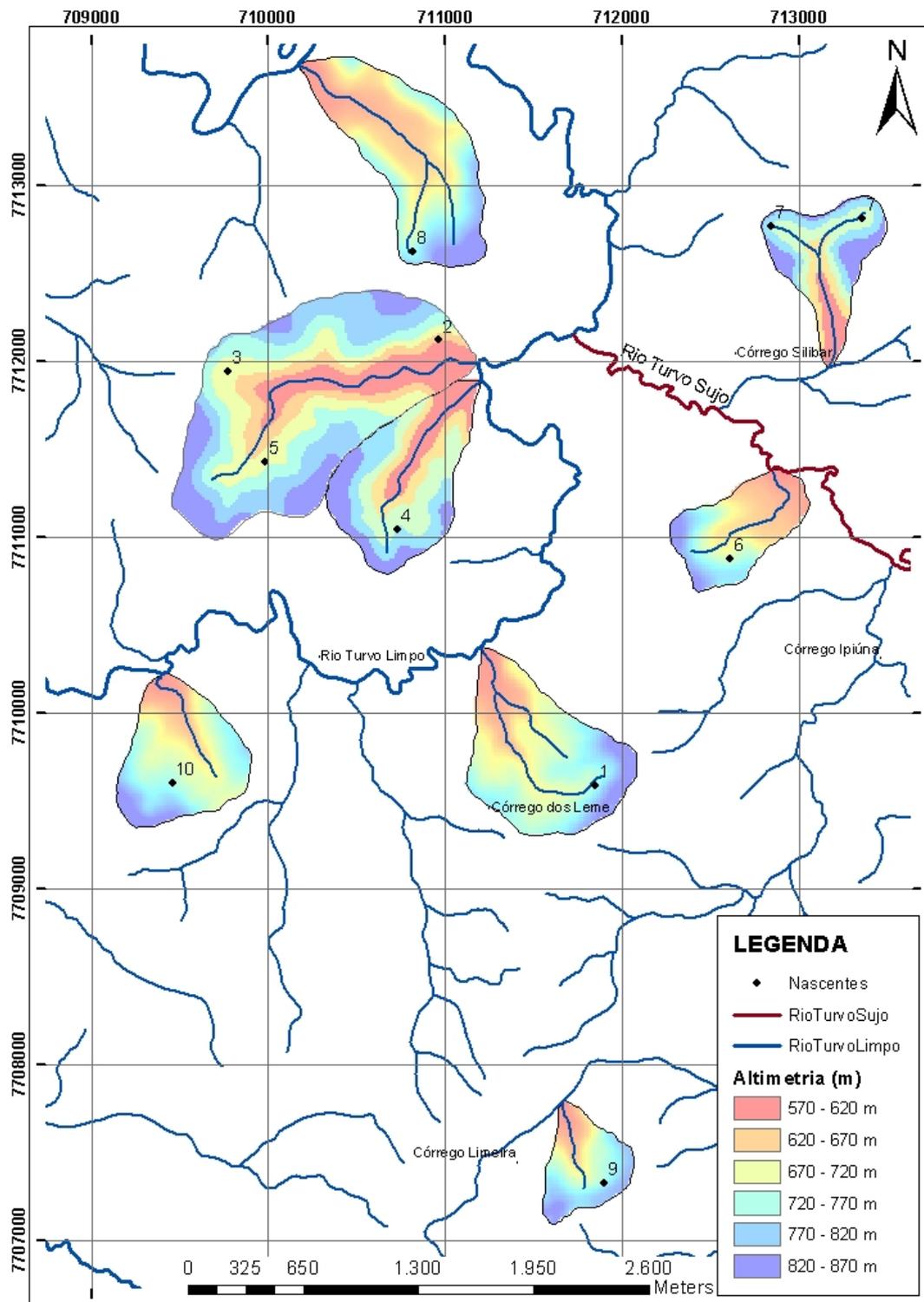


Figura 4 – Altimetria das microbacias estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG. Projeção UTM, Zona 23S. Datum: SAD, 69.

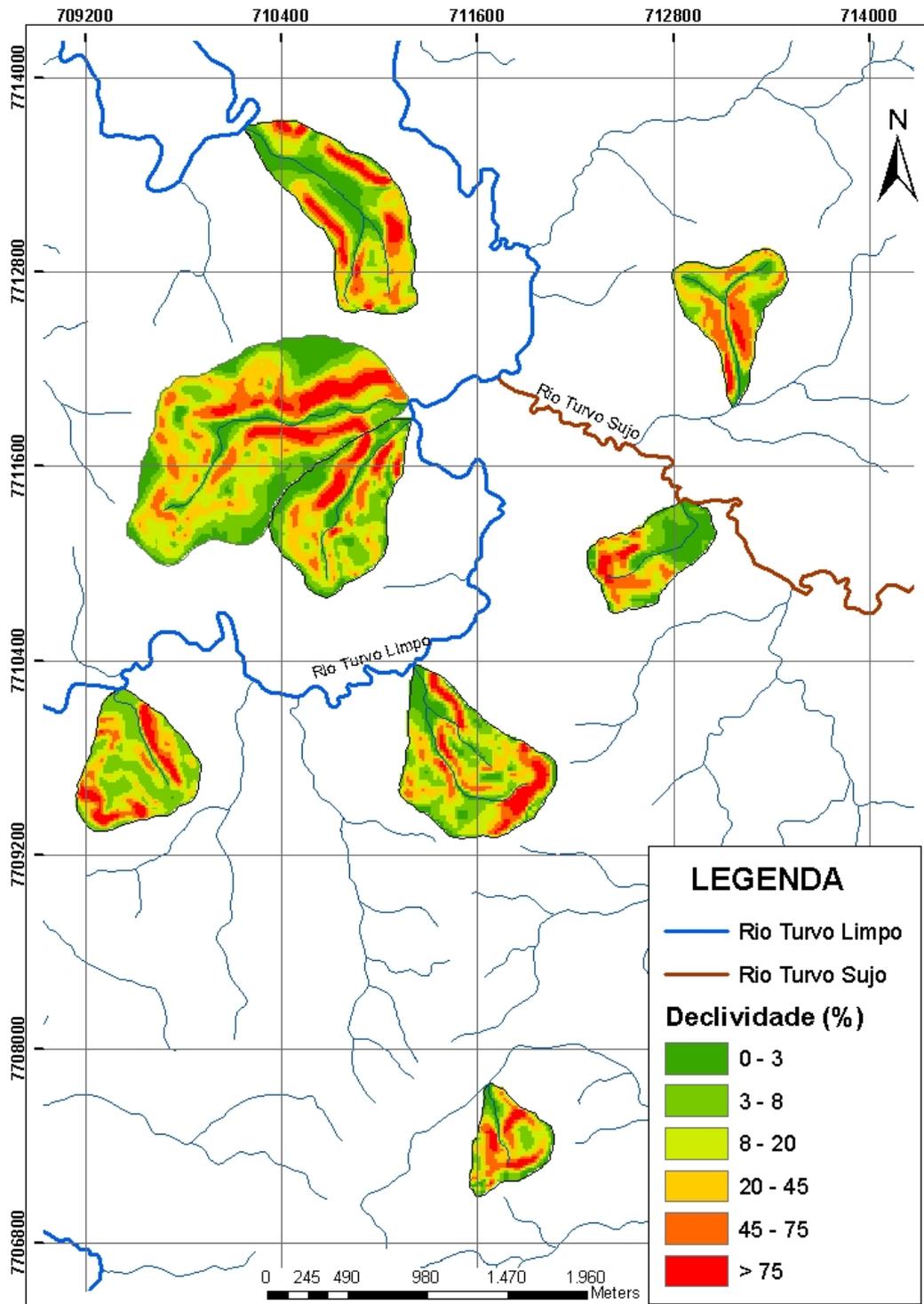


Figura 5 – Classes de declividade (%) das microbacias estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG. Projeção UTM, Zona 23S. Datum: SAD, 69.

Tabela 6 – Classes de declividade de solos (adaptado de EMBRAPA, 1979)

Declividade (%)	Declividade (graus)	Discriminação
0 – 3	0° - 1,72°	Relevo Plano
3 – 8	1,72° - 4,58°	Relevo Suave Ondulado
8 – 20	4,58° - 11,31°	Relevo Ondulado
20 – 45	11,31° - 24,23°	Relevo Forte Ondulado
45 – 75	24,22° - 36,87°	Relevo Montanhoso
> 75	> 36,87°	Relevo Forte Montanhoso

Isto também pôde ser verificado pelo valor do índice de circularidade, que é o maior entre as microbacias estudadas e indica que esta apresenta formato circular. Comparando os índices de compacidade das bacias estudadas com o valor de 1,957 encontrado por Santos (2001), para a Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, percebe-se que esta última tem formato mais alongado que aquelas objeto deste estudo.

As oito microbacias estudadas apresentaram baixo fator de forma, com valor mínimo igual a 0,29 e máximo igual a 0,69. Esses valores indicam que as bacias apresentam baixo tempo de concentração e, portanto, baixo risco de sofrer enchentes. Santos (2001) encontrou um fator de forma equivalente a 0,019 para a Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo. Segundo Romanovski (2001), quando bacias de mesma área são comparadas, de modo geral, observa-se que aquelas que apresentam valores de fator de forma menores possuem menor tempo de concentração e, portanto, menor tendência a enchentes.

As microbacias estudadas são de primeira ou segunda ordem e apresentam baixa densidade de drenagem, sendo a média desse parâmetro igual a 2,57 km/km². A microbacia 5 apresentou o maior valor de Densidade de Drenagem, sendo este igual a 4,08 km/km², e a microbacia 2 apresentou o menor valor, igual a 1,37 km/km². Segundo Santos (2001), a bacia hidrográfica do Rio Turvo Sujo apresenta densidade de drenagem igual a 4,63 km/km², valor superior às densidades de drenagem encontradas para as microbacias estudadas.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros morfométricos estimados para as microbacias estudadas.

Tabela 7 – Morfometria das microbacias pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Parâmetros Morfométricos	Microbacias							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Nascentes abrangidas	1	2, 3 e 5	4	6	7	8	9	10
Características Geométricas								
Área de drenagem (ha)	62,95	140,33	55,44	31,57	33,70	65,21	22,44	45,12
Perímetro (km)	3,26	4,96	3,11	2,32	2,76	3,68	1,97	2,59
Índice de compacidade (CC)	1,16	1,18	1,18	1,17	1,34	1,29	1,17	1,09
Fator de forma (F)	0,44	0,40	0,41	0,54	0,44	0,29	0,56	0,69
Índice de circularidade (IC)	0,74	0,72	0,72	0,74	0,56	0,61	0,73	0,84
Razão de alongação (RE)	0,75	0,71	0,72	0,83	0,75	0,60	0,84	0,94
Características do Relevo								
Declividade geral (SB)	18%	10%	14%	18%	14%	14%	23%	26%
Declividade média	31%	29%	34%	24%	38%	30%	33%	36%
Orientação	Noroeste	Leste	Nordeste	Nordeste	Sul	Noroeste	Norte	Noroeste
Altitude média (m)	701,69	679,45	667,66	655,33	672,29	637,73	795,96	668,78
Características da Rede de Drenagem								
Comprimento total dos cursos d'água (km)	1,89	1,93	1,21	0,88	1,37	2,02	0,53	0,73
Ordem da bacia	2 ^a	1 ^a	1 ^a	1 ^a	2 ^a	2 ^a	1 ^a	1 ^a
Densidade de drenagem (km/km ²)	3,00	1,37	2,19	2,79	4,08	3,11	2,38	1,63

3.3. Vazões

Durante o período chuvoso foram realizadas, em média, duas medições mensais por nascente, totalizando 67 medições. No período de janeiro e fevereiro as medições foram dificultadas pelo contingente pluviométrico e pelo difícil acesso às propriedades rurais, por isso não foi possível acessar todas as nascentes nesse período. Para o período de estiagem foram realizadas ao todo 32 medições. As vazões médias para o período chuvoso e para o período de estiagem, por propriedade, estão apresentadas nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

A relação existente entre a precipitação é complexa e envolve diversos fatores, além da influência hidrológica. Estes fatores podem ser as características geológicas, biológicas, dentre outros que compõem as relações ambientais. A água da precipitação distribui-se de maneira irregular no tempo e no espaço e, por isso, a vazão média de uma bacia hidrográfica sofre variações sazonais significativas (OLIVEIRA, 1999, *apud* PACHECHENIK; SOUZA, 2005).

O ano hidrológico considerado foi atípico para a região, visto que no mês de abril foram registradas chuvas significativas para os municípios de Viçosa e Porto Firme-MG. O deflúvio calculado por período para cada nascente está apresentado na Tabela 10.

Tabela 8 – Vazões mensais e médias (L/s) do período chuvoso de nascentes localizadas em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Ano 2008			Ano 2009			Vazão Média (L/s)
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	
1	-	1,77	4,89	10,19	9,74	9,26	7,17
2	0,02	0,03	0,05	0,12	0,07	0,05	0,06
3	-	0,15	0,17	0,56	0,60	0,25	0,35
4	-	8,18	0,14	0,14	0,12	0,17	1,75
5	4,74	5,02	5,52	12,43	17,49	18,54	10,62
6	0,12	0,12	0,11	0,12	0,11	0,11	0,12
7	-	2,67	2,20	-	6,61	3,4	3,72
8	0,57	0,74	0,87	-	1,73	1,38	1,06
9	0,22	0,27	0,30	0,73	0,90	0,60	0,50
10	-	0,16	0,12	0,25	0,15	0,24	0,18
Precipitação Viçosa (mm)	67,50	245,20	685,10	287,90	126,80	256,40	278,15
Precipitação Porto Firme (mm)	67,50	271,90	420,50	284,10	162,30	198,90	234,20

Tabela 9 – Vazões mensais e médias (L/s) do período de estiagem de nascentes localizadas em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Ano 2008		Ano 2009		Vazão Média (L/s)
	Set.	Abr.	Mai.	Jun.	
1	-	9,33	4,34	3,82	5,83
2	0,016	0,05	0,06	0,05	0,04
3	-	0,37	0,16	0,17	0,23
4	-	0,22	0,22	0,15	0,19
5	-	19,44	18,83	8,46	15,58
6	-	0,11	0,11	0,11	0,11
7	-	4,68	2,87	1,43	2,99
8	0,65	1,63	1,12	0,90	1,08
9	-	0,64	0,46	0,36	0,49
10	-	0,16	0,18	0,17	0,17
Precipitação Viçosa (mm)	100,00	110,30	14,20	62,60	71,78
Precipitação Porto Firme (mm)	80,00	106,40	19,50	56,70	65,65

Tabela 10 – Deflúvio por período e anual para as nascentes localizadas em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Período Chuvoso (m³)	Período Estiagem (m³)	Deflúvio Anual (m³/ano)
1	93.343,10	66.136,84	159.479,94
2	892,51	699,41	1.591,92
3	4.465,15	2.722,35	7.187,50
4	22.698,14	2.325,36	25.023,50
5	165.754,08	168.052,92	333.807,00
6	1.809,22	1.456,97	3.266,18
7	55.614,82	31.173,35	86.788,17
8	18.290,02	16.084,06	34.374,08
9	7.832,16	5.790,55	13.622,71
10	2.411,42	2.234,67	4.646,09
Precipitação Viçosa (mm)	1.668,90	287,10	-
Precipitação Porto Firme (mm)	1.405,20	262,60	-

Percebe-se que em 90% das nascentes estudadas a produção de água no período chuvoso foi maior que no período de estiagem, com exceção da propriedade 5. Nesse caso, o elevado contingente pluviométrico do mês de abril pode explicar o fato de a produção de água no período de estiagem ter superado o período de chuva.

Em janeiro, as vazões das nascentes localizadas nas propriedades 7 e 8 não foram medidas devido ao difícil acesso decorrente das condições das estradas vicinais durante o período de chuva. Diante disso, considerou-se, para fins de cálculo do deflúvio do período chuvoso, que as vazões de janeiro dessas nascentes foram no mínimo iguais às vazões do mês de fevereiro.

O maior valor encontrado para o deflúvio anual se refere à nascente localizada na propriedade 5, que produziu 333.807,00 m³ de água ao longo do ano hidrológico estudado. O menor deflúvio, produzido pela nascente da propriedade 2, foi igual a 1.591,92 m³.ano⁻¹.

As nascentes apresentam grande diversidade de produção de água devido às características morfométricas das bacias onde se inserem e, também, em função do uso e ocupação dos solos nas suas áreas de contribuição.

As nascentes 2, 4 e 6 apresentaram vazões mais baixas, variando entre 0,01 e 0,2 L/s. No entanto, o comportamento da vazão das nascentes em relação às precipitações mensais se mostrou mais estável e, em alguns casos, pode-se dizer que a vazão permaneceu constante ao longo do ano (Figura 6).

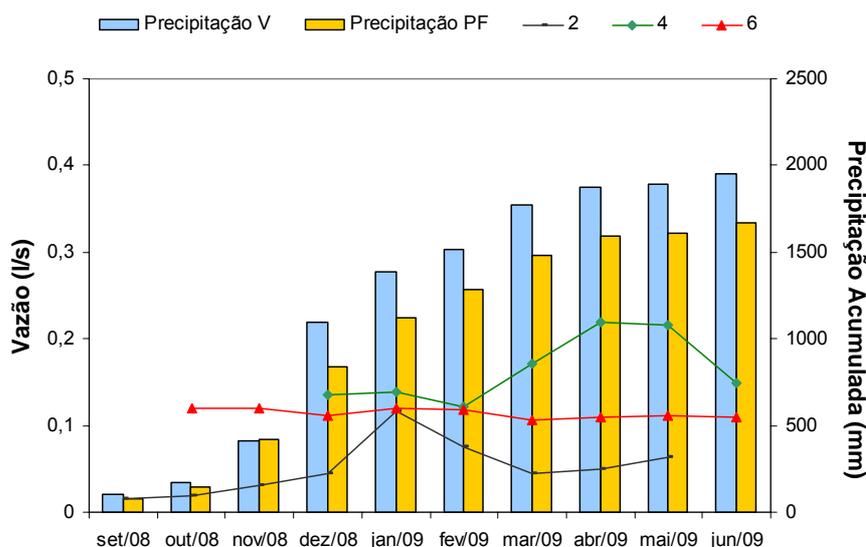


Figura 6 – Vazão mensal das nascentes localizadas nas propriedades 2, 4 e 6 e distribuição mensal das precipitações acumuladas nos municípios de Viçosa (Precipitação V) e Porto Firme (Precipitação PF)-MG.

As nascentes 3, 8, 9 e 10 apresentaram vazões intermediárias, com médias variando entre 0,2 e 2,0 L/s. Percebe-se que essas nascentes apresentaram picos de vazão nos meses de janeiro e fevereiro, que correspondem ao período de maior precipitação (Figura 7).

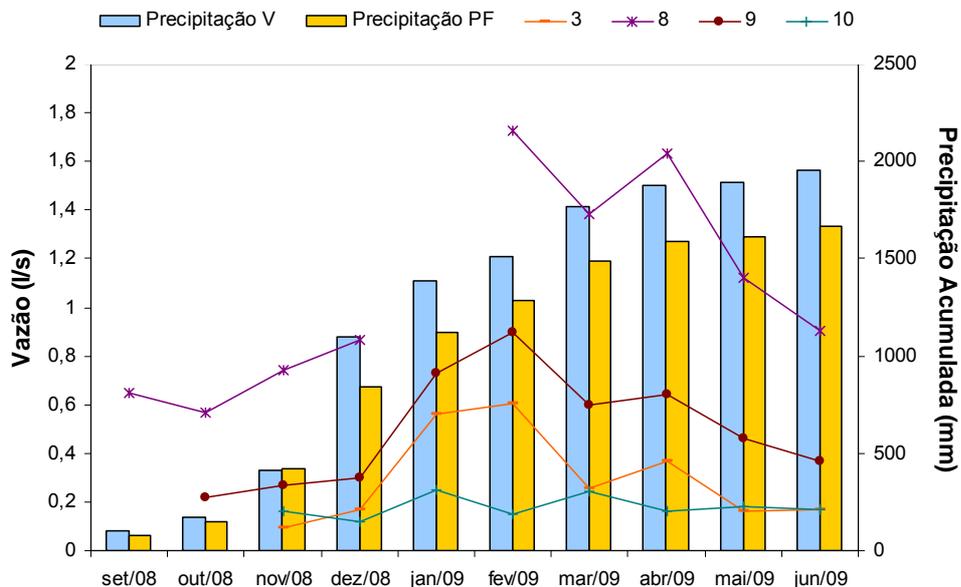


Figura 7 – Vazão mensal das nascentes localizadas nas propriedades 3, 8, 9 e 10 e distribuição mensal das precipitações acumuladas nos municípios de Viçosa (Precipitação V) e Porto Firme (Precipitação PF)-MG.

As nascentes localizadas nas propriedades 1, 5 e 7 apresentaram as maiores vazões, que variaram entre 2,0 e 20 L/s. As médias mensais das vazões das nascentes localizadas nas propriedades 1, 5 e 7 foram de 6,7, 12,3 e 3,4 L/s, respectivamente (Figura 8). Percebe-se que a vazão da nascente 5 é muito influenciada pelas precipitações, o que pode ser explicado pelas características morfométricas da microbacia onde ela se encontra.

3.4. Análises da qualidade da água

A qualidade da água de uma microbacia pode ser influenciada por diversos fatores, dentre eles o clima, a cobertura vegetal, a topografia, a geologia, bem como o tipo, o uso e o manejo do solo na bacia hidrográfica. Nas bacias com cobertura florestal, a vegetação promove a proteção contra a erosão do solo, a sedimentação e a

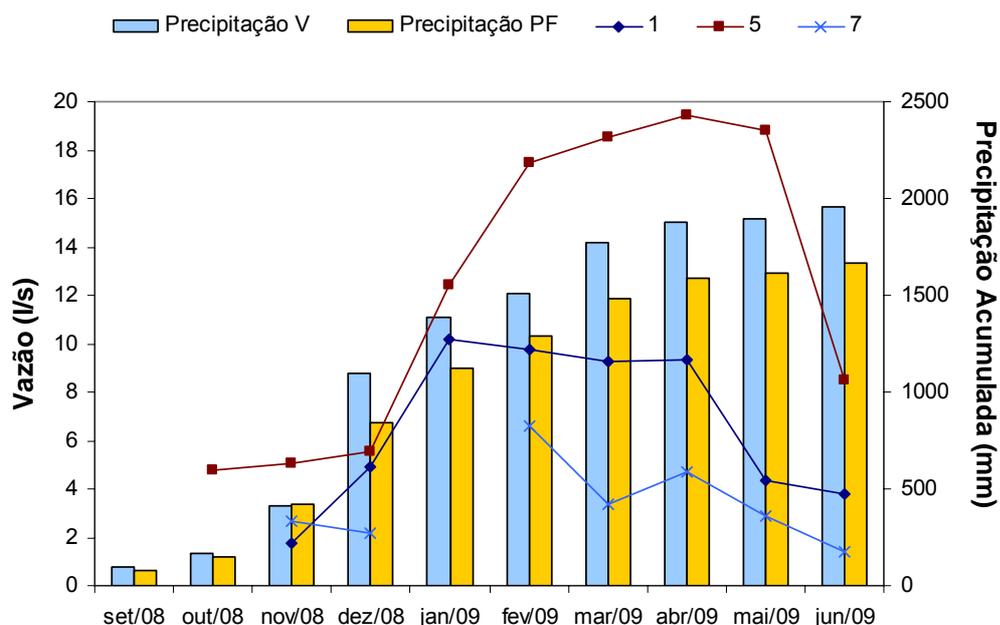


Figura 8 – Vazão mensal das nascentes localizadas nas propriedades 1, 5 e 7 e distribuição mensal das precipitações acumuladas nos municípios de Viçosa (Precipitação V) e Porto Firme (Precipitação PF)-MG.

lixiviação excessiva de nutrientes, sendo essas áreas muito importantes para manter o abastecimento de água de boa qualidade (DONADIO *et al.*, 2005). Segundo o Código Florestal e a Resolução nº 303/2002 do Conama (BRASIL, Lei 4.771/1965; BRASIL, 2002), em nascentes e olhos d'água deve-se preservar um raio de 50 m com vegetação ciliar para que essas áreas, consideradas de preservação permanente (APP), possam realizar suas funções ambientais.

3.4.1. Parâmetros físicos

3.4.1.1. Condutividade elétrica

Os valores resultantes da avaliação da condutividade elétrica da água das nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo podem ser visualizados na Tabela 11. Este parâmetro fornece uma boa indicação das modificações na composição de uma água, especialmente na sua concentração mineral, mas não fornece nenhuma indicação das quantidades relativas dos vários componentes. À medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade da água aumenta. Altos valores podem indicar características corrosivas da água (IGAM, 2008).

Tabela 11 – Condutividade elétrica da água das nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG, 2009

Propriedade	Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)			
	Março	Maio	Junho	Média
1	28,6	24,6	27,7	27,0
2	11,4	22,9	64,7	33,0
3	74,8	11,7	27,3	37,9
4	12,7	68	11,9	30,9
5	18,3	47,7	49,4	38,5
6	110,3	93,2	27,3	76,9
7	47,4	11,7	12,0	23,7
8	40,6	56,8	35,7	44,4
9	28,8	44,9	54,1	42,6
10	54,4	57,8	27,2	46,5
Precipitação Viçosa (mm)	<i>256,4</i>	<i>14,2</i>	<i>62,6</i>	<i>111,1</i>
Precipitação Porto Firme (mm)	<i>198,9</i>	<i>19,5</i>	<i>56,7</i>	<i>91,7</i>

Percebe-se que existe variação entre os dados de condutividade coletados no final do período chuvoso e durante o período de estiagem. A precipitação pode carrear maior quantidade de íons aos cursos d'água, o que influencia diretamente a condutividade elétrica da água. Nota-se que no mês de junho, devido aos eventos pluviométricos, foi constatado aumento nos valores de condutividade em 60% das nascentes estudadas.

Vieira *et al.* (2006) avaliaram a condutividade elétrica da água de duas nascentes no Parque Água Branca-SP, e encontraram valores iguais a 165,0 e 177,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esses valores são superiores àqueles encontrados para a condutividade elétrica das nascentes localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, visto que o maior valor de condutividade nessas áreas foi de 110,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para a propriedade 6, amostrada em março de 2009.

Segundo IGAM (2008), a condutividade elétrica média do Rio Piranga, na estação de amostragem da qualidade da água em Porto Firme (latitude: $-20^\circ 40' 19''$; longitude: $-43^\circ 05' 31''$), foi igual a 33,07, com medições realizadas nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2007. Portanto, as nascentes amostradas apresentaram valores de condutividade elétrica próximos àqueles atribuídos ao Rio Piranga, que tem o Rio Turvo Limpo como um de seus principais formadores.

A atual legislação brasileira não estabelece valores de referência de condutividade elétrica para classificação dos recursos hídricos do País. Segundo o Decreto-Lei nº 236/98 (PORTUGAL, 1998), o valor máximo de referência para a condutividade elétrica é igual a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°, para a água destinada ao consumo humano em Portugal. Adotando-se como referência o padrão português, todas as nascentes amostradas estariam dentro dos limites permitidos para condutividade elétrica de água destinada ao consumo humano.

3.4.1.2. Turbidez

Os valores encontrados para a turbidez das nascentes estudadas (Tabela 12) não foram superiores a 40 UNT, com exceção da propriedade 10, que apresentou valor de 66,4 UNT em março de 2009.

Tabela 12 – Turbidez da água das nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG, 2009

Propriedade	Turbidez (UNT)			
	Março	Maio	Junho	Média
1	20,4	18,3	18,0	18,9
2	2,8	2,5	4,1	3,1
3	7,7	25,6	35,3	22,9
4	0,4	0,5	0,6	0,5
5	13,3	7,9	10,8	10,7
6	0,7	1,7	35,3	12,6
7	2,9	25,6	4,7	11,1
8	6,5	9,7	23,5	13,2
9	1,0	1,7	2,1	1,6
10	66,4	33,1	14,5	38,0
Precipitação Viçosa (mm)	<i>256,4</i>	<i>14,2</i>	<i>62,6</i>	<i>111,1</i>
Precipitação Porto Firme (mm)	<i>198,9</i>	<i>19,5</i>	<i>56,7</i>	<i>91,7</i>

A precipitação no mês de junho foi atípica para Viçosa e Porto Firme, o que pode ter influenciado o aumento nos valores de turbidez observados para 70% das nascentes estudadas no período considerado como estiagem (maio e junho).

Avaliando apenas o parâmetro de turbidez, constatou-se que 90% das nascentes estudadas estariam enquadradas na classe 1, conforme a Resolução nº 357/2005 do

Conama (BRASIL, 2005), podendo ser destinadas ao consumo humano após tratamento simplificado. Seguindo o enquadramento dos corpos d'água previsto nessa resolução, a nascente localizada na propriedade 10 seria enquadrada na classe 2.

A presença de partículas em suspensão determina o grau de turbidez da água. Esses sedimentos podem ter origem orgânica ou inorgânica, estando mais comumente associados à presença de algas e argilas na água. Esgotos domésticos e efluentes industriais também conferem turbidez à água. Para água potável recomenda-se um valor máximo permissível de 5 UNT (BRASIL, Portaria nº 518/2004). Analisando o padrão de potabilidade, as nascentes localizadas nas propriedades 2, 4 e 9 seriam consideradas potáveis quando avaliado apenas o parâmetro de turbidez.

Os valores médios de turbidez das nascentes estudadas, 13,3 UNT, estão próximos daqueles encontrados por Donadio *et al.* (2005), que estudaram quatro nascentes com diferentes usos do solo e que apresentaram turbidez média igual a 11,8 UNT. Segundo os autores, nas nascentes que apresentaram vegetação natural remanescente no entorno a qualidade da água foi considerada melhor que naquelas nascentes com uso agrícola, devendo ser ressaltado que as variáveis que mais explicaram essa diferença foram: cor, turbidez, alcalinidade e nitrogênio total.

Segundo IGAM (2008), o monitoramento da qualidade da água do Rio Piranga em uma estação de amostragem em Porto Firme (latitude: -20° 40'19''; longitude: -43° 05' 31'') indicou turbidez média de 169,67 UNT para dados coletados nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2007. Portanto, as nascentes amostradas apresentaram valores de turbidez inferiores a esse, o que indica menor quantidade de sólidos dissolvidos (matéria em suspensão, argila, silte, algas e outros microrganismos) nesta água.

3.4.2. Parâmetros químicos

3.4.2.1. Potencial hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH obtidos nos diferentes pontos de amostragem variaram entre 5,6 e 9,9 (Tabela 13).

Percebe-se um aumento no potencial hidrogeniônico de 90% das nascentes estudadas, quando comparados aos valores observados nos meses de maio e junho. Este fato pode ser explicado pelo elevado contingente pluviométrico que ocorreu atipicamente nos municípios de Viçosa e Porto Firme durante o mês de junho.

Tabela 13 – Potencial hidrogeniônico (pH) da água das nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG, 2009

Propriedade	Potencial Hidrogeniônico (pH)			
	Março	Maiο	Junho	Média
1	9,4	7,8	9,6	9,0
2	8,0	7,7	9,0	8,2
3	6,5	7,2	9,1	7,6
4	5,6	6,6	6,5	6,2
5	5,8	7,2	8,5	7,2
6	7,1	6,4	9,1	7,5
7	8,1	7,5	9,9	8,5
8	8,4	6,9	8,9	8,1
9	9,9	7,5	9,0	8,8
10	8,1	7,5	9,2	8,3
Precipitação Viçosa (mm)	<i>256,4</i>	<i>14,2</i>	<i>62,6</i>	<i>111,1</i>
Precipitação Porto Firme (mm)	<i>198,9</i>	<i>19,5</i>	<i>56,7</i>	<i>91,7</i>

Para água potável recomenda-se um pH na faixa de 6,0 a 9,5 (BRASIL, Portaria nº 518/2004). Os valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água e contribuir para corrosão do sistema de distribuição de água, ocorrendo, assim, uma possível extração do ferro, cobre, chumbo, zinco e cádmio, o que pode dificultar a descontaminação das águas (IGAM, 2008).

Observou-se que as nascentes localizadas nas propriedades 4 e 5 se apresentaram mais ácidas que o recomendado para o padrão de potabilidade (BRASIL, Portaria nº 518/2004) e para enquadramento nas classes, conforme usos preponderantes previstos na Resolução nº 357/2005 do Conama (BRASIL, 2005). Por outro lado, a nascente localizada na propriedade 9 apresentou valores de pH superiores a 9,5, caracterizando uma água mais básica. Esse valor também não seria aceito pelo padrão de potabilidade previsto pelo Ministério da Saúde (BRASIL, Portaria nº 518/2004).

Percebe-se que as análises do pH da água coletada em maio de 2009 tiveram menor variação, logo todas as nascentes estariam enquadradas na faixa entre 6 e 9,5 como recomendado pelo Ministério da Saúde (BRASIL, Portaria nº 518/2004). A maior variação dos valores de pH para os meses de março e junho pode ser explicada pelo volume de chuvas que atingiram a região e que certamente provocaram maior deposição de sedimentos nos cursos d'água, levando à alteração do pH da água.

Segundo o IGAM (2008), o monitoramento da qualidade da água do Rio Piranga em uma estação de amostragem em Porto Firme (latitude: -20° 40'19''; longitude: -43° 05' 31'') indicou pH médio igual a 6,45 para dados coletados nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2007. Portanto, as nascentes amostradas apresentaram valores de pH próximos a esse, sendo a média encontrada para o pH das nascentes igual a 7,9. Este valor é próximo àquele encontrado por Donadio *et al.* (2005), que estudaram quatro nascentes com diferentes usos do solo na região de Ribeirão Preto-SP, e que obtiveram pH médio de 6,4.

3.4.3. Parâmetros microbiológicos

3.4.3.1. Coliformes totais

O grupo de coliformes totais constitui-se em um grande grupo de bactérias que têm sido isoladas de amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como em fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente (IGAM, 2008).

Conforme o laudo apresentado pelo Laboratório de Microbiologia de Alimentos, as análises das águas coletadas nas dez nascentes amostradas indicaram que estas se encontram em desacordo com o padrão microbiológico previsto na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004). A portaria prevê a ausência de coliformes totais em 100 mL da amostra, como padrão de água a ser utilizada para o consumo humano (Tabela 14).

Segundo o IGAM (2008), no período de 1997 a 2007 foram monitoradas 32 estações de amostragem da bacia do Rio Doce, avaliando-se diversos parâmetros com relação ao percentual de amostras cujos valores ultrapassaram, em mais de 20%, os limites legais da Deliberação Normativa nº 10/1986 do Copam e da Resolução Conama nº 357/2005 (MINAS GERAIS, 1986; BRASIL, 2005). O parâmetro coliformes totais foi um dos constituintes mais críticos na bacia, visto que apresentou 53,7% de violações, indicando que mais da metade das amostras avaliadas estava fora dos limites estabelecidos para coliformes totais pela legislação. Isto indica que existe lançamento de esgoto sanitário sem tratamento nos corpos de água da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, gerando graves problemas de poluição.

Tabela 14 – Coliformes totais presentes na água de dez nascentes amostradas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG, 2009

Propriedade	Coliformes Totais (NMP* em 100 mL)
1	5,4 x 10 ²
2	1,6 x 10 ³
3	1,6 x 10 ³
4	4,0
5	> 1,6 x 10 ³
6	6,2 x 10 ²
7	2,4 x 10 ²
8	49,0
9	1,6 x 10 ³
10	5,4 x 10 ²

Segundo o IGAM (2008), o monitoramento da qualidade da água do Rio Piranga em uma estação de amostragem em Porto Firme (latitude: -20° 40' 19''; longitude: -43° 05' 31''), realizado em 2007, indicou o número mais provável (NMP) de 8.175 coliformes totais em 100 mL. Portanto, as nascentes amostradas apresentam valores de coliformes totais inferiores àqueles obtidos para o Rio Piranga, que tem como importante tributário o Rio Turvo Limpo. Mesmo inferiores, os valores de coliformes totais encontrados nas nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo devem ser motivo de preocupação dos proprietários rurais e dos órgãos governamentais.

Segundo Mehaffey *et al.* (2005), os coliformes totais estão positivamente relacionados com o porcentual de erosão dos solos, o desenvolvimento urbano e agricultura dentro de áreas de drenagem delimitadas.

Os parâmetros físico-químicos apresentados anteriormente indicaram que as nascentes avaliadas poderiam ser classificadas na classe especial, classe 1 ou 2 (BRASIL, Resolução do Conama nº 357/2005). Considerando o parâmetro coliformes totais, 60% das nascentes amostradas estariam enquadradas na classe 1, podendo ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, conforme previsto na Resolução do CONAMA nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Analisando ainda esse parâmetro, 40% das nascentes amostradas estariam enquadradas na classe 2, podendo ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional (Tabela 15).

Tabela 15 – Limites dos parâmetros físico-químicos (condutividade, pH e turbidez) e microbiológicos (coliformes totais) para enquadramento dos corpos de água em classes de usos

Parâmetros	Classe Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Turbidez (UNT)	-	< 40 UNT	< 100 UNT	< 100 UNT	-
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	-	-	-	-	-
Coliformes Totais (NMP* em 100 mL)	-	1.000	5.000	20.000	-

Fonte: Resolução do Conama nº 357/05, Deliberação Normativa do Copam nº 10/86.

3.5. Consumo e produção líquida de água nas propriedades rurais

O consumo de água nas microbacias estudadas foi estimado com base no formulário de registro do uso da água usado pelo IGAM, durante a campanha de regularização do uso da água (IGAM, 2009), e foi informado pelos produtores rurais. Conforme registrado na Tabela 16, a propriedade 7 apresentou o maior consumo de água, devido às atividades de piscicultura. Nenhuma propriedade estudada apresenta gastos significantes com irrigação, pois a prática agrícola local indicou o cultivo de milho e feijão, principalmente no período chuvoso, o que dispensa a irrigação.

Tabela 16 – Consumo de água estimado para as propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Consumo (Litros.dia ⁻¹)			
	Consumo Humano	Dessedentação de Animais	Piscicultura	Consumo Máximo
1	360	3.784		4.144
2	630	2		632
3	450	303		753
4	180	1.830		2.010
5	270	846		1.116
6	450	6.009		6.459
7	-	3.900	15.552	19.452
8	180	660		840
9	1.080	4.800		5.880
10	360	2.766		3.126
Total	3.960	24.901	15.552	44.413
Média	396	2.490	15.552	4.441

O gasto de água com a dessedentação de animais (bovinos, suínos, equinos e aves) contribui com, aproximadamente, 66% do consumo total de água nas propriedades rurais estudadas, devendo ser ressaltado que a dessedentação de bovinos e equinos equivale a 65,8% desse consumo (Figura 9).

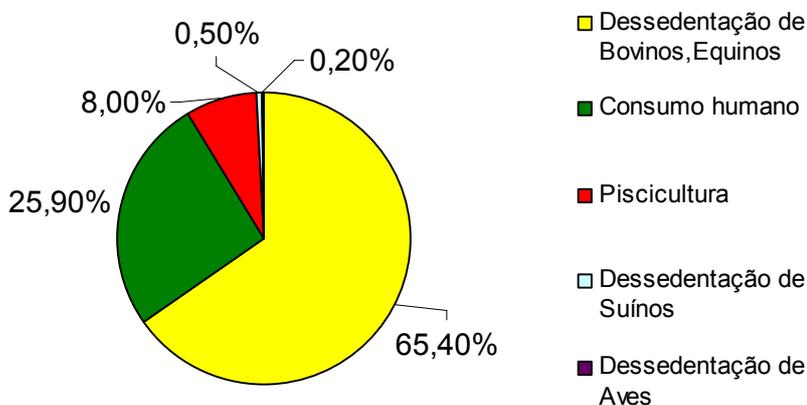


Figura 9 – Contribuição em porcentagem das atividades desenvolvidas nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo para o seu consumo máximo de água. Viçosa/Porto Firme-MG.

Comparando o deflúvio anual das nascentes com o consumo anual de água em cada propriedade, percebe-se que a maioria das propriedades rurais estudadas (60%) consome menos que 10% da água produzida pela nascente. Apenas a propriedade rural de número 6 consome mais que a metade da água produzida pela nascente, com consumo de 72% da produção líquida de água no local (Tabela 17).

A maioria das propriedades estudadas possui as nascentes como fonte exclusiva de água para utilização nas propriedades rurais. Entretanto, as propriedades 1, 5 e 8 possuem poços artesianos para consumo humano.

As nascentes estudadas estão produzindo água em quantidade suficiente para o consumo nas propriedades rurais e, ainda, geram um excedente, que é a contribuição direta das microbacias estudadas para os Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo.

Considerando uma cidade de porte médio, com população variando entre 50.000 e 250.000, o consumo mínimo individual de água por habitante é igual a $0,120 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$ (IGAM, 2009). O somatório da produção líquida de água das dez nascentes estudadas é igual a $653.751,55 \text{ m}^3.\text{ano}^{-1}$, o que seria suficiente para abastecer uma cidade de aproximadamente 14.925 habitantes durante um ano. Considerando o consumo máximo de água por indivíduo igual a $0,200 \text{ m}^3.\text{dia}^{-1}$, a produção líquida de água das nascentes estudadas abasteceria uma cidade de 8.955 habitantes.

Tabela 17 – Produção líquida de água e relação entre deflúvio das nascentes e consumo de água em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Deflúvio (m ³ .ano ⁻¹)	Consumo (m ³ .ano ⁻¹)	% do Deflúvio Anual Consumido	Produção Líquida de Água (m ³ .ano ⁻¹)
1	159.479,94	1.512,56	0,9	157.967,38
2	1.591,92	230,83	14,5	1.361,09
3	7.187,50	274,92	3,8	6.912,58
4	25.023,50	733,65	2,9	24.289,85
5	333.807,00	407,34	0,1	333.399,66
6	3.266,18	2.357,54	72,2	908,64
7	86.788,17	7.245,31	8,0	79.863,26
8	34.374,08	306,60	0,9	34.067,48
9	13.622,71	2.146,20	15,8	11.476,51
10	4.646,09	1.140,99	24,6	3.505,10
Total	669.787,11	16.035,54	-	653.751,57
Média	66.978,71	1.603,55	-	65.375,16
Desvio-padrão	106.255,17	2.025,43	-	106.297,85

4. Conclusões

As nascentes localizadas nas dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo produzem, em média, 65.375,16 m³.ano⁻¹ de água e consomem em média 1.603,55 m³.ano⁻¹. Portanto, pode-se dizer que essas propriedades são autossuficientes no que diz respeito à produção de água, e se apresentam como grandes produtoras de água para a Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo e, conseqüentemente para a Bacia Hidrográfica do Rio Doce-MG/ES. Entretanto, o uso e a ocupação do solo nas microbacias estudadas influenciam diretamente os processos hidrológicos e podem afetar a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos locais. Mesmo com a implantação de técnicas conservacionistas de água e solo nas áreas de contribuição das nascentes estudadas, percebe-se que a qualidade da água está comprometida pela presença de coliformes totais. Acredita-se que o processo de recuperação seja lento e que, com o passar dos anos, através do manejo adequado dessas bacias, exista uma tendência das nascentes estudadas apresentarem parâmetros microbiológicos mais satisfatórios.

Portanto, as dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo são prestadoras de serviços ambientais. Os serviços ambientais de produção e proteção

de recursos hídricos são importantes parâmetros para a valoração econômica dos recursos naturais. Os produtores rurais, prestadores de serviços ambientais, além de arcarem com custos de proteção, deixam de auferir receitas através do uso alternativo do solo. Portanto, os produtores que manejam adequadamente suas propriedades e garantem esses serviços deveriam ser compensados, por gerarem esse benefício para a sociedade.

5. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Divisão Hidrográfica Nacional**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaI.asp>>. Acesso em: 20 Jan. 2009.

BRASIL. **Lei nº 4.771/1965**, 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília. 1965.

BRASIL. **Resolução Conama nº 303**, 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2002.

BRASIL. **Portaria nº 518**, 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília- DF: Ministério da Saúde. 2004.

BRASIL. **Resolução Conama nº 357**, 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente/ Conselho Nacional de Meio Ambiente. 2005.

CÂMARA, C. D.; LIMA, W. P.; ZÁKIA, M. J. B. Critérios e Indicadores Hidrológicos em Microbacias. In: LIMA, W. P.; ZÁKIA, M. J. B. **As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RiMa, 2006. p. 107-155.

DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; TONELLO, K. C.; CARDOSO, C. A.; ALVES, M. R.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. C. de. **Proteção de nascentes**. Brasília-DF: SENAR, 2006. 80 p.

DONADIO, N. M. M.; GALBIATTI, J. A.; PAULA, R. C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v. 25, n. 1, p.115-125, 2005.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro-RJ. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 1979. 247 p.

FERNANDES, M.M. **Caracterização de Solos e Uso Atual Empregando Aerofotos Não-Convencionais nas Sub-Bacias Marengo, Palmital e Silibar – Rio Turvo Sujo, MG**. 1996. 98 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

GLOBAL WATER. **FP101-FP201 Global flow probe: user's manual**. Gold River, USA, 2004. 15 p. Disponível em: <<http://www.globalw.com>>. Acesso em: 6 Fev. 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 20 Jan. 2009.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais na Bacia do Rio Doce em 2007**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, dezembro, 2008. 171 p. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 30 Jan. 2009.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Campanha de regularização do uso dos recursos hídricos em Minas Gerais – água: faça o uso legal. 2008/2009**. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 30 Set. 2008.

LIMA, W. P. Efeitos hidrológicos do manejo de florestas plantadas. In: LIMA, W. P.; ZÁKIA, M. J. B. **As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RiMa, 2006. p. 9-28.

LIMA, W. P. Produção de água: geração do deflúvio em microbacias florestais. Cap. 5, p. 70-92. In: _____. **Manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, 1982. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lcf/lab/lhf/arquivos.pdf>>. Acesso em: 4 Mar. 2009.

MEHAFFEY, M. H.; NASH, M. S.; WADE, T. G.; EBERT, D. W.; JONES, K. B.; RAGER, A. Linking land cover and water quality in New York city's water supply watersheds. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 107, p. 29-44, 2005.

MINAS GERAIS. COPAM. **Deliberação Normativa Copam nº 10**, 16 de dezembro 1986. Estabelece normas e padrões para qualidade das águas, lançamento de efluentes nas coleções de água e dá outras providências. Belo Horizonte-MG: COPAM, 1987.

PACHECHENIK, P. E.; SOUZA, J. L. M. de. Estudo do processo chuva-vazão na bacia do rio das Pedras, Guarapuava, Estado do Paraná, com o modelo HYCYMODEL. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 4, p. 677-686, Oct./Dec., 2005. Disponível em: <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/viewFile/1689/1118>>. Acesso em: 14 Maio 2009.

PINTO, L. V.A.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras-MG. **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 197-206, jun. 2004.

PORTUGAL. **Decreto-Lei nº 236**, 1º de agosto de 1998. Estabelece normas, critérios e objetivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos. Disponível em: <<http://www.povt.qren.pt/tempfiles/20080213150349moptc.pdf>>. Acesso em: 18 Mar. 2009.

ROMANOVSKI, Z. **Morfologia e aspectos hidrológicos da microbacia Rua Nova, Viçosa-MG, para fins de manejo**. 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.

SANTOS, A. R. **Caracterização morfológica, hidrológica e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo, micro-região de Viçosa, MG**. 2001. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.

SIMGE – SISTEMA DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS DE MINAS GERAIS/IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Mapas Climáticos. Disponível em: <<http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/normais.html>>. Acesso em: 20 Jan. 2009.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 2001. 495 p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa-MG: UFV, 1991. 448 p.

VIEIRA, M. S.; MOURA, M. A. M.; GIL, F. G. Qualidade da água de lagos e nascentes do parque Dr. “Fernando Costa” (Água Branca), São Paulo, SP. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 73, n. 4, p. 475-483, out./dez. 2006. Disponível em: <http://www.biologico.sp.gov.br/docs/arq/v73_4/vieira.pdf>. Acesso em: 2 Jul. 2009.

Valoração econômica de serviços ambientais prestados em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG

Resumo: A teoria econômica tradicional não reconhece os bens e serviços ambientais como componentes do sistema econômico. Entretanto, diante do agravamento da degradação ambiental surge a economia ambiental, que reconhece o meio ambiente com um valor diferente de zero. Assim, para emprego dessa nova teoria é necessário que os bens e serviços ambientais sejam valorados economicamente. Diante do exposto, este estudo teve por objetivo estimar um valor econômico para os serviços ambientais prestados em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG. O método de valoração utilizado neste trabalho é uma adaptação da matriz de valoração de danos ambientais que possibilitou a criação da matriz de valoração de benefícios ambientais e a determinação do Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental (VERB). Foram identificadas duas categorias de variáveis: quantificáveis (q) e intangíveis (i). As variáveis quantificáveis foram: estoque de carbono da vegetação presente nas Áreas de Preservação Permanente (APPs), cujo valor econômico já é definido pelos mercados de créditos de carbono; e produção de água. Para a produção de água nas propriedades rurais foram atribuídos dois valores: valor utilizado na cobrança pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (cenário 1); e valor utilizado no sistema de pagamento por serviços ambientais empregado em Apucarana-PR (cenário 2). As variáveis economicamente intangíveis foram aqueles serviços ambientais aos quais não são atribuídos valores econômicos, e sim indicadores passíveis de quantificação. Dentre eles destacam-se a qualidade da água, a conservação do solo, a biodiversidade e a qualidade do ar. Cada variável intangível (i) foi representada por um quantificador. O valor total de i (in) foi representado pela soma dos quantificadores de cada variável intangível identificada e foi multiplicado pela soma total dos valores das variáveis quantificáveis (qn). O resultado desse produto gera o VERB promovido em cada propriedade rural estudada. Convertendo os estoques de carbono presentes nas APPs do entorno de nascentes localizadas nas dez propriedades rurais em créditos de carbono, obteve-se um valor médio de R\$179,34, que se refere ao estoque médio de 14,82 t de carbono presentes nas APPs em 2008. A produção líquida de água média das dez propriedades rurais foi igual a 65.375,16 m³.ano⁻¹. Esta variável quantificável gerou um valor de R\$653,75.ano⁻¹ considerando o cenário 1; e R\$798,00.ano⁻¹ no cenário 2. O produto do somatório das variáveis intangíveis pelas variáveis quantificáveis gerou valores médios de VERB iguais a R\$16.942,21.ano⁻¹ (cenário 1) e R\$21.127,44.ano⁻¹ (cenário 2). Adotando-se esses valores como referência, pode-se dizer que eles se referem à valorização dessas propriedades rurais devido à presença dos recursos naturais e do manejo adotado pelos produtores para manutenção dos serviços ambientais. Logo, o método da matriz de danos ambientais pode ser adaptado para estimativa de valores de referência para os serviços ambientais. Entretanto, este é apenas um ponto de partida, visto que existe a necessidade em se incorporar à teoria econômica os valores dos bens e serviços ambientais para assegurar

um futuro com qualidade e a sobrevivência da humanidade. Os valores atribuídos aos serviços ambientais prestados nas propriedades da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo não são estáticos, nem tampouco precisos, servirão apenas como referência para adoção de políticas públicas de conservação ambiental que devem garantir a qualidade do meio ambiente.

Palavras-chave: Economia Ambiental; Créditos de Carbono; Produção de Água; Áreas de Preservação Permanente.

Economic valuation of environmental services provided on farms of the Turvo Limpo River Watershed-MG

Abstract: The traditional economic theory does not recognize the goods and environmental services as components of the economic system. However, as the environmental degradation is aggravating, the environmental economy appears to recognize the environment with a value different from zero. Then, to use this new theory it is necessary to attribute economic value to environmental goods and services. Thus, this study has aimed at estimating an economic value to environmental services provided on ten farms from the Turvo Limpo River Watershed-MG. The valuation method used in this study was an adaptation of the valuation matrix of environmental damages. After this adaptation it was possible to generate the valuation matrix of environmental benefits, which results on the Reference Value for the Environmental Benefits (RVEB). To use this method two categories of variables were identified: quantifiable (*q*) and intangible (*i*) variables. The category of quantifiable variables was shown by the carbon stock of the vegetation presents on the Permanent Preservation Areas (PPAs). The economic value of the carbon stock is already defined by the carbon credits markets. The water production of each spring located on the studied farms was another quantifiable variable that made up the valuation matrix of environmental benefits. For the water production on the farms two values were attributed: charging of water used in the South Paraíba River Watershed (scenario 1); and the value used in the system of payment for environmental services employed in Apucarana-PR (scenario 2). The environmental services related to the air quality, water quality, soil conservation and biodiversity characterized the intangible variables. Economic values were not attributed to the intangible variables. Then, quantified indicators were attributed to the intangible variables (*i*). The total value of *i* (*in*) was represented by the sum of the quantified indicators of each intangible variable. This sum was multiplied times the quantifiable variables sum (*qn*) which yields the RVEB of each studied farm. Converting the present carbon stock of the PPAs, around the springs located at the studied farms, to carbon credits, an average value obtained was R\$179.34. This value corresponds to an average carbon stock of 14.82 t present in the PPAs in 2008. The net production of water on the studied farms has an average value of 65,375.16 m³.year⁻¹. This would generate a value for the net production of water equals to R\$653.75.year⁻¹ at the scenario 1; and R\$798.00.year⁻¹ at the scenario 2. The multiplication of the intangible variables times the quantifiable variables yields R\$16,942.21.year⁻¹ (scenario 1) and R\$21,127.44.year⁻¹ (scenario 2), as an average value for RVEB. Adopting RVEB values as reference, it is interesting to consider it as a farm's appraisal and valuation due to the existence of natural resources and also to the management adopted by the farmers for the environmental services provision. Therefore, the matrix of environmental damages method can be adapted for the estimation of reference values for the environmental services. However, this is just a starting point, since it is necessary to incorporate to the economic theory the values of goods and environmental services to ensure a future with quality and the humanity survival. The values attributed to the environmental services provided on farms of the Turvo Limpo River Watershed are not either static or precise. These values will serve as reference for the implementation of public policies of environmental conservation which should ensure the environmental quality.

Keywords: Environmental economy; Carbon credits; Water production; Permanent Preservation Areas.

1. Introdução

A utilização dos recursos ambientais no processo produtivo interfere nas relações econômicas de duas maneiras. Em primeiro lugar, a utilização desses recursos pode ser entendida como um serviço prestado pelo meio ambiente. Nesse sentido, o não pagamento desse serviço representa um subsídio à produção, que deveria ser considerado no cálculo do produto agregado. Em segundo lugar, a utilização dos recursos ambientais implica danos ao meio ambiente, seja pela exaustão dos recursos ou pela degradação da natureza, o que resulta em custos, tanto para as atuais quanto para as futuras gerações. Apesar da dificuldade de se considerar a sustentabilidade do meio ambiente no sistema de contas nacionais, existem algumas propostas para contornar o problema através da valoração econômica dos recursos naturais.

Os bens e serviços ambientais não são transacionados no mercado econômico tradicional, pois não possuem valor de mercado. A economia ambiental surgiu em meados da década de 1970, visando incorporar à teoria econômica assuntos relacionados ao manejo e à proteção dos recursos naturais. Esse ramo da ciência econômica se apresenta como um campo teórico inovador que incorpora novos enfoques aos objetivos da internalização de externalidades ambientais através dos mecanismos de mercado. A economia ambiental/ecológica lança um olhar crítico sobre a degradação ambiental resultante dos processos de produção e consumo, tentando integrar os sistemas econômicos às condições da natureza (LEFF, 2001). Surgiram, então, técnicas experimentais de valoração econômica dos recursos naturais com o objetivo de estimar o valor monetário dos bens e serviços ambientais. Valorar economicamente um recurso ambiental significa determinar quanto melhor, ou pior, ficará o bem-estar das pessoas em função da mudança na quantidade ou qualidade dos bens ou serviços. O valor econômico de um recurso natural assume papel importante como medida protecionista do uso dos recursos naturais, como mecanismo de mensuração das externalidades, como método de indenizações judiciais e como forma de proteção ambiental.

Dos métodos indiretos de valoração obtém-se uma estimativa do valor econômico do recurso ambiental, baseando-se no preço de mercado de produtos afetados pelas alterações ambientais. Os métodos diretos de valoração simulam mercados hipotéticos para captar diretamente a disposição das pessoas de pagar por um bem ou serviço ambiental. Os resultados dos métodos de valoração econômica dos

recursos naturais são expressos em valores monetários, por ser a medida-padrão da economia.

Diante do exposto, constata-se a necessidade de desenvolver estudos para balizar as tomadas de decisões e formulação de políticas públicas que reconheçam os produtores rurais como produtores de serviços ambientais, incentivando-os a manter os recursos naturais protegidos, garantindo assim a sustentabilidade dos ecossistemas. Nesse sentido, este estudo teve por objetivo estimar um valor econômico de referência para os serviços ambientais prestados em dez propriedades rurais localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG.

2. Material e métodos

2.1. Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado em seis comunidades rurais denominadas Lage, Duas Barras, Bragança, Luiza, Leme e Varginha. Essas comunidades estão localizadas a aproximadamente 40 km de Viçosa, às margens da rodovia BR 356, entre os municípios de Viçosa, Porto Firme e Guaraciaba-MG.

As dez propriedades rurais amostradas para realização deste trabalho fazem parte do projeto “Proteção de Nascentes”, que é desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa. Em todas as propriedades estudadas foram encontradas nascentes que abastecem os Rios Turvo Sujo e Turvo Limpo. Estes deságuam no Rio Piranga, que é um importante afluente do Rio Doce. Este último é um dos principais rios do Estado de Minas Gerais e está localizado na Região Hidrográfica Costeira do Sudeste, de acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2009).

A região apresenta relevo predominantemente forte-ondulado e montanhoso (Mar de Morros) e o solo da região foi classificado como Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico e Cambissolo Distrófico (FERNANDES, 1996).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região enquadra-se no tipo Cwa (clima de inverno seco e verão chuvoso), com temperatura no mês mais frio inferior a 18°C e a do mês mais quente, superior a 22°C (QUINTEIRO, 1997).

2.2. Características socioeconômicas e ambientais das propriedades

Em 2005 foram realizados diagnósticos socioeconômicos e ambientais nas dez propriedades rurais que participaram deste estudo, como parte do projeto Proteção de Nascentes. Nesse processo utilizou-se a técnica de diagnóstico rápido participativo, denominada caminhar transversal, que consiste em percorrer a propriedade rural junto ao proprietário, buscando principalmente informações sobre o ambiente, seu histórico e utilização. Foram aplicados questionários socioeconômicos e ambientais para conhecimento da realidade dos produtores rurais amostrados.

2.3. Método de valoração

O método de valoração utilizado neste trabalho é uma adaptação daquele proposto por Cardoso (2003), que apresentou uma alternativa simplificada para a quantificação econômica de danos ambientais.

Através da adaptação da metodologia proposta determinou-se o Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental (VERB) promovido pelas propriedades rurais estudadas. A valoração econômica dos serviços ambientais prestados nestas propriedades pode ser vista a partir de duas categorias de variáveis: quantificáveis (q) e intangíveis (i).

Foram consideradas quantificáveis (q) todas aquelas variáveis que são economicamente mensuráveis e que estão associadas a transações econômicas de recursos naturais. A exemplo disso destacam-se os estoques de carbono, que são transacionados nos mercados de créditos de carbono, e a água, que é precificada em algumas bacias hidrográficas que já cobram pelo seu uso.

As variáveis economicamente intangíveis (i) são aqueles serviços ambientais aos quais não são atribuídos valores econômicos. Dentre eles destacam-se a qualidade da água, a conservação do solo, a biodiversidade e a qualidade do ar.

Sendo assim, as variáveis q totalizam qn , que representará o somatório de todas as variáveis quantificáveis, e, analogamente, i com total in , que representa a soma de cada valor intangível identificado.

Cada valor de i foi representado por um quantificador que variou de 0 a 4, em função da intensidade e da característica do serviço ambiental identificado. O valor total

de i (in) é representado pela soma dos quantificadores de cada variável intangível identificada e é multiplicado pela soma total dos valores de q (qn).

Assim, a equação 1 representa matematicamente o Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental (VERB).

$$VERB = \sum_{n=1}^{\alpha} qn * \sum_{n=1}^{\alpha} in \quad \text{[equação 1]}$$

em que

q = variáveis quantificáveis;

i = variáveis intangíveis;

n = total de atributos de cada variável; e

α = total de variáveis quantificáveis e intangíveis.

2.3.1. Variáveis tangíveis

2.3.1.1. Quantificação dos créditos de carbono

Este trabalho foi elaborado com base nos dados de estoque de carbono resultantes do estudo “Quantificação da biomassa e do carbono estocado em áreas no entorno de nascentes da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG”, realizado em dez propriedades rurais localizadas em uma região limítrofe aos municípios de Viçosa, Porto Firme e Guaraciaba-MG (1º artigo).

Para quantificação dos créditos de carbono gerados fez-se a conversão do teor de carbono estimado nas Áreas de Preservação Permanente localizadas no entorno das nascentes de cada propriedade rural para toneladas de CO₂ equivalente, pois as negociações no mercado de créditos de carbono são feitas em CO₂ equivalente. Cada crédito de carbono corresponde a 1 tonelada de CO₂ equivalente.

Dessa forma, utilizou-se um fator de conversão igual a 3,67, que corresponde ao peso atômico do CO₂ (44) dividido pelo peso atômico do carbono (12) (IPCC, 2006). Logo, 1 tonelada de carbono corresponde a 3,67 toneladas de CO₂ equivalente (equação 2).

$$CO_{2\text{ eq}} = 3,67 * EC \quad \text{[equação 2]}$$

em que

$CO_{2\text{ eq}}$ = dióxido de carbono equivalente, $t.ha^{-1}$;

3,67 = fator de conversão de carbono para dióxido de carbono equivalente; e

EC = estoque de carbono, em $t.ha^{-1}$.

Para efeito deste estudo, considerou-se não haver restrições no mercado de créditos de carbono e que toda quantidade de carbono estocado pudesse ser convertida em créditos de carbono. Considerou-se ainda que a linha de base do projeto seja o solo exposto, sem estoque de carbono. Não foi considerada a validade ou temporalidade dos créditos de carbono provenientes de florestas.

Como essa modalidade de projeto não é válida no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), adotou-se um valor de $US\$1,50.tCO_{2(eq)}^{-1}$, valor compatível com mercados paralelos ao Protocolo de Quioto (BOLSA DO CLIMA DE CHICAGO – CCX, 2009). Assumiu-se a cotação de 1 dólar igual a R\$ 2,201, valor referente ao mês de abril de 2009.

2.3.1.2. Quantificação da água

Este trabalho foi elaborado com base nos deflúvios anuais das nascentes envolvidas no estudo, intitulado “Produção de água em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG”, realizado em dez propriedades rurais localizadas em região limítrofe aos municípios de Viçosa, Porto Firme e Guaraciaba-MG (2º artigo).

Após a medição da vazão das nascentes localizadas em cada uma das dez propriedades rurais, calculou-se o deflúvio anual médio de cada propriedade. Através de um questionário foi possível estimar a quantidade de água consumida diariamente em cada propriedade rural. A este consumo de água atribuiu-se um valor econômico, a fim de determinar o valor de uso da água para os produtores rurais. A produção líquida de água estimada para cada propriedade foi calculada ao subtrair a quantidade de água consumida anualmente do deflúvio anual.

A Lei das Águas (BRASIL, Lei nº 9.433/1997), que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, prevê a cobrança pelo uso da água como um dos instrumentos de controle e gestão das águas. Esse instrumento tem como objetivo incentivar o uso racional e sustentável dos recursos hídricos, bem como financiar a implementação dos programas previstos para gestão desses recursos. Todavia, essa lei não sugere os procedimentos para determinação de preços a serem cobrados pelo uso da água.

Neste estudo, para determinação da variável quantificável referente à água, foram admitidos dois cenários. O primeiro atribui à produção líquida de água nas propriedades rurais estudadas o valor utilizado na cobrança pela captação da água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Tabela 1). Parte-se do pressuposto que o valor arrecadado na cobrança seria integralmente repassado ao produtor de águas.

Tabela 1 – Valores da cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas brasileiras

Bacia Hidrográfica	Valor (R\$.m ³ de Água)		Valor (R\$.kg ⁻¹)
	Captação	Consumo	Diluição de efluentes
Paraíba do Sul	0,01	0,02	0,07
Piracicaba, Capivari e Jundiá	0,01	0,02	0,10

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA, 2009).

Segundo a ANA (2007), o mecanismo para cobrança pelo uso da água se baseia em três parâmetros: volume anual captado é aquele outorgado pelo órgão ambiental competente; volume anual consumido é a diferença entre o volume anual captado e o volume anual lançado, definidos na respectiva outorga ou por medição; e carga anual lançada, em que são considerados o lançamento de resíduos sedimentáveis totais, a demanda bioquímica de oxigênio, a demanda química de oxigênio, a carga inorgânica e a toxicidade.

Os recursos financeiros arrecadados através da cobrança pelo uso da água devem ser aplicados na região onde foram arrecadados, com base nos programas, nos projetos e nas obras previstos no Plano de Bacias, aprovado pelos respectivos comitês de bacia hidrográfica. Dentre esses programas e projetos existe a possibilidade de se compensar o produtor rural, também considerado produtor de águas, por meio da remuneração pelos serviços ambientais prestados à sociedade.

O segundo cenário avaliado baseia-se em outro valor atribuído aos recursos hídricos, que foi empregado na cidade de Apucarana, no norte do Paraná. Nesse município criou-se a Lei Municipal nº 058/2009 (APUCARANA, 2009), que beneficia os proprietários rurais que mantêm suas nascentes preservadas de acordo com as normas ambientais vigentes. Segundo Tagore (2009), o incentivo é definido conforme a medição da vazão da nascente e para cada uma será destinado o valor mensal de até três Unidades Fiscais do Município (UFM), que atualmente equivale a R\$35,00 (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores usados pela Prefeitura de Apucarana-PR, para incentivo aos produtores rurais que preservam nascentes

Vazão da Nascente (Litros.hora ⁻¹)	UFM	Valor em R\$.mês ⁻¹
Até 1.500	1	35,00
1.500 – 3.000	2	70,00
Maior que 3.000	3	105,00

Fonte: Tagore (2009).

2.3.2. Variáveis intangíveis

As variáveis intangíveis (*i*) foram consideradas, para efeito deste método de valoração, como aqueles serviços ambientais que são prestados nas propriedades rurais à sociedade. Segundo as leis florestais da Costa Rica, são reconhecidos quatro serviços ambientais promovidos pelos ecossistemas florestais: mitigação da emissão de gases de efeito estufa; serviços hidrológicos, incluindo abastecimento de água para consumo humano, irrigação e produção de energia; conservação da biodiversidade; e manutenção da beleza cênica para recreação e ecoturismo (PAGIOLA, 2008). Aos serviços ambientais não são atribuídos valores econômicos, pois não existe um mercado econômico para transacioná-los.

Os aspectos intangíveis referem-se ao manejo da propriedade. Dentre as variáveis intangíveis destacam-se a qualidade da água, a conservação do solo, a biodiversidade e a qualidade do ar. A essas variáveis foram atribuídos indicadores, buscando atender as sugestões de Gallopin (1996, *apud* SILVA, 2007), que propõe alguns requisitos universais para indicadores ambientais. Esse autor destaca que os valores dos indicadores devem ser mensuráveis (ou observáveis); deve existir disponibilidade de dados; a metodologia para coleta e processamento de dados deve ser transparente e padronizada; os meios para construir e monitorar os indicadores devem estar disponíveis; e deve existir aceitação política dos indicadores, visto que indicadores não legitimados pelos tomadores de decisão são incapazes de influenciar decisões.

Cada valor de *i* foi representado por um quantificador, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Variáveis intangíveis e quantificadores para a geração do Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental (VERB)

Serviço Ambiental	Indicadores (i)	Quantificadores				
		Muito Alto (4)	Alto (3)	Médio (2)	Baixo (1)	Inexistente (0)
Qualidade do ar	Presença de florestas	Em mais de 50% da propriedade	Em 30 – 50% da propriedade	Em 10 – 20% da propriedade .	Em 0 – 10% da propriedade	Ausência de florestas
Conservação do Solo	Curva de nível	Em todas as culturas	Em 75% das culturas	Em 50% das culturas	Em 25% das culturas	Ausência de curvas de nível
	Cordão de contorno	Em todas as culturas	Em 75% das culturas	Em 50% das culturas	Em 25% das culturas	Ausência de cordões de contorno
	Bacia de captação	> 6 bacias	4 – 6 bacias	2 – 4 bacias	< 2 bacias	Ausência de bacias
	Presença de Erosão	Sem áreas erodidas	Áreas erodidas em recuperação	Áreas com erosão laminar	Áreas com erosão em sulcos	Áreas com voçorocas
Qualidade da Água	Condutividade (C em $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C)	$C < 40$	$40 < C < 100$	$100 < C < 200$	$200 < C < 300$	$300 < C < 400$
	pH	$\text{pH} = 7$	$6 < \text{pH} < 9$ e $\text{pH} \neq 7$	$\text{pH} > 9$ e $\text{pH} \neq 14$	$\text{pH} < 6$ e $\text{pH} \neq 0$	$\text{pH} = 14$ ou $\text{pH} = 0$
	Turbidez (UNT)	< 40 UNT	$40 < \text{UNT} < 100$	$100 < \text{UNT} < 200$	$200 < \text{UNT} < 300$	$\text{UNT} > 300$
	Coliformes totais (NMP em 100 ml)	$\text{NMP} = 0$	$\text{NMP} < 1.000$	$1.000 < \text{NMP} < 5.000$	$5.000 < \text{NMP} < 20.000$	$\text{NMP} > 20.000$
Biodiversidade	Índice de Shannon-Weaver (H')	$H' \geq 4,2$	$3,8 \leq H' < 4,2$	$3,2 \leq H' < 3,8$	$H' < 3,2$	$H' = 0$
	Espécies ameaçadas de extinção	Mais de 6 espécies em extinção	4 – 6 espécies em extinção	2 – 4 espécies em extinção	< 2 espécies em extinção	Nenhuma espécie em extinção

3. Resultados e discussão

3.1. Características socioeconômicas e ambientais das propriedades

Direta ou indiretamente, participaram deste estudo 44 pessoas, tendo sido uma média de 4,4 membros em cada propriedade rural. Essas propriedades podem ser consideradas pequenas posses rurais que sobrevivem, principalmente, de atividades agrícolas como cultivo rotacionado de milho e feijão e atividades pecuárias (gado de corte e leite). O nível de tecnologia empregado pode ser considerado mediano, visto que a maioria dos produtores faz preparo do solo com aração e gradagem e utiliza adubos químicos e inseticidas.

A estrutura agrária da região é dominada por pequenas propriedades rurais, onde predominam as áreas de pastagens (pecuária leiteira), com áreas de cultivos de milho, feijão, mandioca, hortaliças e frutas (ALVES, 1993). A agricultura é basicamente de subsistência, com exceção de alguns produtos que geram excedentes e são comercializados em centros urbanos próximos (QUINTEIRO, 1997).

Pode-se relacionar o uso do solo à paisagem da região e percebe-se que nos terraços se encontram as maiores concentrações das atividades agrícolas com culturas anuais, principalmente o milho e o feijão. Isto ocorre porque o terraço corresponde a uma posição de acúmulo de material advindo das elevações a montante, sendo este capaz de manter uma fertilidade natural elevada. Além disso, essas áreas apresentam um relevo menos acidentado, o que facilita o trabalho e viabiliza a mecanização. No entanto, essas áreas são consideradas primordiais para a manutenção dos serviços ambientais principalmente no tocante à qualidade da água e conservação dos solos. Os terraços, na sua maioria, são, ou deveriam ser, ocupados por matas ciliares que, inclusive, são consideradas Áreas de Preservação Permanente (APPs) conforme prevê a legislação florestal (BRASIL, Lei nº 4.771/1965; Resolução do Conama nº 303/2002).

Foram estimados a vazão das nascentes e o estoque de carbono das APPs existentes em cada propriedade rural, conforme apresentado no 1º e 2º artigos do presente estudo. A Tabela 4 apresenta uma síntese das informações coletadas pelo questionário socioeconômico e ambiental realizado nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG.

Tabela 4 – Resumo das informações socioeconômicas e ambientais das dez propriedades rurais estudadas na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Número de Moradores	Atividade Principal	Estado de Conservação da Nascente em 2009	Vazão da Nascente (L.hora⁻¹)	Estoque de Carbono (t.ha⁻¹)	Área de Estocagem de Carbono (ha)
1	4	Pecuária corte	Conservada	24.480,0	59,05	0,7854
2	7	Aposentadoria	Conservada	180,0	35,99	0,7854
3	5	Aposentadoria	Conservada	1.008,0	84,12	0,7854
4	2	Pecuária leite	Conservada	5.724,0	3,74	0,1700
5	3	Pecuária leite	Perturbada	43.020,0	2,63	0,2000
6	5	Pecuária corte	Conservada	396,0	3,59	0,7060
7	0	Pecuária corte	Perturbada	13.464,0	4,03	0,5807
8	2	Milho/feijão	Perturbada	3.888,0	3,44	0,0740
9	12	Pecuária corte	Perturbada	1.656,0	4,90	0,1000
10	4	Pecuária leite	Perturbada	612,0	4,78	0,1220

3.2. Método de valoração

3.2.1. Variáveis tangíveis

3.2.1.1. Quantificação dos créditos de carbono

Para efeito deste estudo considerou-se não haver restrições no mercado de créditos de carbono e que toda a quantidade de carbono estocado foi convertida em créditos de carbono (Tabela 5). Além disso, não foram considerados os custos de elaboração, validação, certificação e monitoramento dos projetos de carbono dentro dos aspectos exigidos no Protocolo de Quioto.

Tabela 5 – Resumo dos estoques de carbono e créditos gerados nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Estoque Total de C (t)	CO ₂ (eq)	Valor em US\$*	Valor em R\$**
1	46,38	170,21	255,31	561,68
2	28,27	103,74	155,61	342,34
3	66,07	242,47	363,70	800,15
4	0,64	2,33	3,50	7,70
5	0,53	1,93	2,90	6,37
6	2,53	9,30	13,95	30,70
7	2,34	8,59	12,88	28,34
8	0,25	0,93	1,40	3,08
9	0,49	1,80	2,70	5,93
10	0,58	2,14	3,21	7,06
Total	148,08	543,44	815,16	1793,36
Média	14,81	54,34	81,52	179,34
Desvio-Padrão	23,89	87,67	131,50	289,30

* Valor de US\$1,50.tCO₂(eq)⁻¹, compatível com mercados paralelos ao Protocolo de Quioto (Bolsa do Clima de Chicago - CCX, 2009).

** Cotação do dólar em abril de 2009. US\$1,00 = R\$2,201.

Em média, cada propriedade rural estudada estaria apta a receber uma quantia de R\$179,34 pelo serviço de fixação e estocagem de carbono nas Áreas de Preservação Permanente no entorno de nascentes. Avaliando os estoques de carbono existentes em função da área, encontrou-se um valor igual a R\$416,09.ha⁻¹ de área protegida.

A legislação ambiental brasileira considera o bem florestal principalmente no que se refere às funções de proteção do solo e da água, ao estabelecimento da biodiversidade e aos processos ecológicos dos ecossistemas. Entretanto, com as previsões acerca do aquecimento global pelo efeito estufa, outro serviço ambiental

passou a ser esperado dessas florestas: a estocagem e fixação do carbono em excesso na atmosfera. Para constatar quanto, em valor monetário, o ser humano retira da natureza sem custos, alguns economistas fizeram uma simulação e concluíram que a regulação do ar pelas florestas está avaliada em $US\$141,00.(ha.ano)^{-1}$, que corresponde a $R\$310,34.(ha.ano)^{-1}$ (PAZ; LOCH, 2008).

Segundo Wundera e Albánb (2008), uma experiência de pagamento por serviços ambientais implantada no Equador indicou valores para remuneração dos serviços de estocagem e fixação de carbono que variaram de $US\$100,00$ a $200,00$ por hectare de floresta ($R\$220,10$ a $R\$440,20$).

Percebe-se que as propriedades 1, 2 e 3, que apresentaram áreas de florestas, tiveram estoques de carbono maiores e, conseqüentemente, geraram maior quantidade de créditos de carbono. No entanto, as outras propriedades que estocam carbono em áreas em processo de recuperação apresentaram baixos estoques de carbono e, portanto, geraram menor renda proveniente dos créditos de carbono. Essas últimas, por se encontrarem em processo de recuperação, tendem a assumir um estágio sucessional mais avançado dentro de certo período de tempo, o que implicará maior estocagem de carbono.

Henry *et al.* (2009) afirmam que, com o atual preço de mercado para os créditos de carbono, a implementação de projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo de Florestamento/Reflorestamento (MDL F/R) parece intangível, devido ao grande número de pequenas propriedades rurais (entre 140 e 300) que seria necessário para alcançar uma área de terra capaz de compensar os custos de transação mínimos concomitantes. Uma compensação financeira mais alta para projetos de sequestro e fixação de carbono que encorajasse a proteção ambiental permitiria a participação direta de pequenos produtores rurais. Assim, a melhor estimativa econômica dos serviços ecossistêmicos deveria encorajar projetos de sequestro de carbono junto com a conservação da biodiversidade em pequenas propriedades rurais que promovessem projetos de MDL F/R.

3.2.1.2. *Quantificação da água*

Para cada propriedade rural estuda foi estimada a produção líquida de água das nascentes subtraindo o consumo de água do deflúvio anual. Foram atribuídos dois valores a essa água produzida, considerando-se a metodologia de cobrança pelo uso da

água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul e o pagamento por serviços ambientais realizado em Apucarana-PR. A Tabela 6 apresenta os resultados encontrados e os valores atribuídos à produção de água em cada propriedade rural estudada.

Tabela 6 – Valores atribuídos à produção de água nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Produção Líquida de Água (m ³ .ano ⁻¹)	Valor Cobrança Paraíba do Sul (R\$ 0,01.m ⁻³)	Valor Apucarana-PR (R\$.ano ⁻¹)*
1	157.967,38	1.579,67	1.260,00
2	1.361,09	13,61	420,00
3	6.912,58	69,13	420,00
4	24.289,85	242,90	840,00
5	333.399,66	3.334,00	1.260,00
6	908,64	9,09	420,00
7	79.863,26	798,63	1.260,00
8	34.067,48	340,67	1.260,00
9	11.476,51	114,77	420,00
10	3.505,10	35,05	420,00
Total	653.751,57	6.537,52	7.980,00
Média	65.375,16	653,75	798,00
Desvio Padrão	106.297,85	1.062,98	417,66

* Vazões menores que 1500 L.h⁻¹ = R\$35,00.mês⁻¹; vazões maiores que 1.500 L.h⁻¹ e menores que 3.000 L.h⁻¹ = R\$70,00.mês⁻¹; e vazões maiores que 3.000 L.h⁻¹ = R\$ 105,00.mês⁻¹.

As dez propriedades estudadas são consideradas, perante a Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH-MG) n^o 9/2004 (MINAS GERAIS, 2004), consumidoras de uso insignificante, ou seja, consomem menos de 10 m³.dia⁻¹. A propriedade 7 consome 20,35 m³ de água diariamente. No entanto, 15,5 m³.dia⁻¹ de água são utilizados nos tanques de piscicultura. Segundo essa mesma deliberação normativa, acumulações superficiais com volume inferior a 5.000 m³ são consideradas de uso insignificante. A propriedade 7 possui três tanques com volume total estimado em 1.800 m³, o que não a sujeita à outorga de uso dos recursos hídricos. Os dez produtores rurais envolvidos neste estudo não estarão sujeitos à cobrança pelo uso da água quando o instrumento for implantado nessa bacia, o que se justifica pelo uso insignificante dos recursos hídricos, conforme previsto na Deliberação Normativa CERH-MG n^o 9/2004 (MINAS GERAIS, 2004). Entretanto, todos eles devem possuir o cadastro de uso insignificante.

Os produtores rurais envolvidos neste estudo, por serem também produtores de água, evitam um gasto anual de cerca de R\$33,08, quando se avalia uma situação hipotética em que eles pagariam pelo uso da água conforme valores já utilizados na cobrança pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Pode-se dizer que esse seria o valor de uso da água para os produtores rurais envolvidos na pesquisa (Tabela 7). Entretanto, outros valores podem ser atribuídos a este recurso, como os valores de opção e de existência. Segundo Motta (2006), o valor de opção é atribuído pelos indivíduos que não usufruem diretamente do recurso no presente, mas tendem a lhe atribuir um valor para uso futuro, optando pelo uso futuro. Já o valor de existência, conforme citação do autor, é aquele que independe do uso do recurso, sendo simplesmente relacionado à sua existência. Portanto, a quantificação dos valores de opção e de existência certamente irá afetar o valor total do recurso hídrico, visto que este é resultante do somatório dos valores de uso, opção e existência.

Tabela 7 – Consumo e valor de uso da água em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/ Porto Firme-MG

Propriedade	Consumo Diário (m ³ .dia ⁻¹)	Consumo Anual (m ³ .ano ⁻¹)	Valor da Cobrança pelo Uso da Água* (R\$.ano ⁻¹)	Valor cobrado pelo SAAE-Viçosa** (R\$.ano ⁻¹)
1	4,14	1.512,56	6,13	4.598,18
2	0,63	230,82	35,04	344,39
3	0,75	274,9218	47,15	540,49
4	2,01	733,65	30,25	2.039,55
5	1,12	407,34	22,82	966,62
6	6,46	2.357,53	5,50	7.166,91
7	20,35	7.428,28	148,57	22.582,58
8	0,84	306,60	8,15	661,64
9	5,88	2.146,20	42,92	6.524,45
10	3,13	1.140,99	4,62	3.365,92
Total	45,31	16.539,10	330,78	48.790,73
Média	4,53	1.653,91	33,08	4.879,07
Desvio-Padrão	5,95	2.173,30	43,47	6.702,14

* Valor utilizado para cobrança da água consumida na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul = R\$ 0,02.m⁻³.

** Valor cobrado pelo SAAE-Viçosa para abastecimento urbano de água Anexo A.

Outra análise importante para avaliar o valor da água para os produtores rurais é assumir os valores cobrados pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa-MG (SAAE) para abastecimento domiciliar de água tratada. Os valores cobrados por essa

autarquia municipal estão disponíveis no Anexo A (VIÇOSA, Decreto nº 3.823/2004). Os dez produtores rurais estudados deixam de pagar em média R\$4.879,07.ano⁻¹, visto que não consomem água fornecida pelo SAAE para suas atividades domésticas e agropecuárias. Esse valor é significativamente maior que aquele que supostamente seria pago por esses produtores, caso a cobrança pelo uso da água fosse implementada nessas propriedades. Entretanto, a água é um recurso vital, bem público ao qual todos têm direito e devem ter acesso em qualidade e quantidade adequada para seus diversos usos (BRASIL, Lei nº 9.433/1997).

A água produzida nas dez propriedades rurais estudadas apresenta um valor diferente para a sociedade, visto que esta usufrui indiretamente desse recurso. A qualidade da água produzida nessa bacia influencia diretamente os custos de tratamento da água para abastecimento dos municípios que estão a jusante dessas nascentes. Mattos *et al.* (2007) estimaram a disposição a pagar da população de Viçosa para preservação ou recuperação da Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu em R\$27,98.mês⁻¹. Este é um valor significativo quando são consideradas as restrições econômicas da região. Uma das prováveis justificativas para essa disposição a pagar reside no fato de que a cidade de Viçosa é abastecida com água das nascentes do Ribeirão São Bartolomeu e a população é a maior interessada nesse benefício de disponibilidade de água em quantidade e qualidade. A sociedade viçosense estaria disposta a assumir um custo anual de R\$335,76 para garantir a manutenção desses serviços fundamentais à sobrevivência humana. Esse recurso pode, por exemplo, ser distribuído para o pagamento dos produtores rurais que mantêm suas nascentes protegidas, produzindo a água que abastecerá a população urbana.

3.2.2. Variáveis intangíveis

As variáveis intangíveis (*i*) foram consideradas para efeito deste método como aqueles serviços ambientais que são prestados pelas propriedades rurais à sociedade. Os aspectos intangíveis se referem ao manejo da propriedade. Os resultados dos valores de *i* estão representados por um quantificador na Tabela 8, conforme apresentado anteriormente (Tabela 3).

Tabela 8 – Valores dos quantificadores atribuídos aos serviços ambientais prestados nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG

	Propriedades	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Serviço Ambiental	Indicadores	Quantificadores (4 – Muito alto; 3 – Alto; 2 – Médio; 1 – Baixo; 0 – Inexistente)									
Qualidade do ar	Presença de florestas	3	3	3	2	2	2	2	1	1	2
Conservação do Solo	Curva de nível	0	4	3	3	0	4	0	4	0	3
	Cordão de contorno	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0
	Bacia de captação	0	0	0	0	0	3	2	0	0	2
	Presença de erosão	2	4	4	2	2	2	1	2	1	4
	Qualidade da Água	Condutividade	4	4	4	4	4	3	4	3	3
	pH	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Turbidez	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Coliformes totais	3	2	2	3	2	3	3	3	2	3
Biodiversidade	Índice de Shannon-Weaver (H')	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	Espécies ameaçadas de extinção	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Somatório in		22	25	26	21	17	25	22	20	14	24

3.2.3. Matriz de valoração

A Tabela 9 apresenta os Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais (VERB) promovidos por cada propriedade rural estudada, com base nos valores utilizados para cobrança pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (cenário 1).

Tabela 9 – Cenário 1: Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/ Porto Firme-MG

Propriedades	Variáveis Intangíveis	Variáveis Tangíveis		Valores em R\$.ano ⁻¹	
	Somatório <i>in</i>	Carbono (R\$)	Água* (R\$.ano ⁻¹)	Somatório <i>qn</i>	VERB $\sum_{qn} * \sum_{in}$
1	22	561,68	1.579,67	2.141,35	47.109,78
2	25	342,34	13,61	355,95	8.898,77
3	26	800,15	69,13	869,28	22.601,17
4	21	7,70	242,90	250,60	5.262,57
5	17	6,37	3.334,00	3.340,37	56.786,23
6	25	30,70	9,09	39,79	994,66
7	22	28,34	798,63	826,97	18.193,40
8	20	3,08	340,67	343,75	6.875,10
9	14	5,93	114,77	120,70	1.689,73
10	24	7,06	35,05	42,11	1.010,67
* Valoração da produção líquida de água baseada no valor da cobrança pelo uso da água captada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.				Total	169.422,08
				Média	16.942,21
				Desvio-Padrão	19.928,91

No cenário 1, os valores estimados para os serviços ambientais prestados dentro das dez propriedades rurais apresentaram grande variação. O Valor Estimado de Referência para os Benefícios Ambientais (VERB) médio foi igual a R\$16.942,21.ano⁻¹, que corresponde a R\$1.411,85.mês⁻¹. O menor valor de VERB foi atribuído à propriedade 6, que apresentou um grande consumo anual de água, resultando em baixa produção líquida de água. A propriedade 5 apresentou o maior Valor Estimado para os Benefícios Ambientais, o que pode ser explicado pelo alto valor atribuído ao serviço hidrológico. Essa propriedade estaria supervalorizada em R\$56.786,23.ano⁻¹ pela produção de serviços ambientais para a população.

A Tabela 10 apresenta os Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais (VERB) promovidos em cada propriedade rural estudada, de acordo com a metodologia de pagamento por serviços ambientais da cidade de Apucarana-PR.

Tabela 10 – Cenário 2: Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedades	Variáveis Intangíveis	Variáveis Tangíveis		Valores em R\$.ano ⁻¹	
	Somatório <i>in</i>	Carbono (R\$)	Água* (R\$.ano ⁻¹)	Somatório <i>qn</i>	VERB $\sum qn * \sum in$
1	22	561,68	1.260,00	1.821,68	40.076,96
2	25	342,34	420,00	762,34	19.058,50
3	26	800,15	420,00	1.220,15	31.723,90
4	21	7,7	840,00	847,70	17.801,70
5	17	6,37	1.260,00	1.266,37	21.528,29
6	25	30,7	420,00	450,70	11.267,50
7	22	28,34	1.260,00	1.288,34	28.343,48
8	20	3,08	1.260,00	1.263,08	25.261,60
9	14	5,93	420,00	425,93	5.963,02
10	24	7,06	420,00	427,06	10.249,44
* Valoração da produção líquida de água baseada na metodologia utilizada em Apucarana-PR.				Total	211.274,39
				Média	21.127,44
				Desvio-Padrão	10.549,05

O cenário 2 gerou valores com menores variações e apresentou o valor mínimo de R\$5.963,02, que é superior ao menor valor atribuído pelo cenário 1 (R\$994,66). Este fato indica que a padronização por quantidade de água produzida reduz a variabilidade dos valores econômicos atribuídos aos serviços ambientais. A média dos Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais gerados no cenário 2 foi igual a R\$21.127,44.ano⁻¹, que corresponde a R\$1.760,62.mês⁻¹. Adotando-se esses valores como referência, pode-se dizer que eles se referem à valorização dessas propriedades rurais devido à presença dos recursos naturais e ao manejo adotado pelos produtores para manutenção dos serviços ambientais. Segundo Leff (2006), a valorização da complexidade ambiental implica reduzir a diversidade do mundo a valores objetivos, quantitativos e uniformes de uma teoria da economia sustentável, capaz de integrar os processos econômicos e ecológicos de forma a expressar os antagonismos entre a racionalidade econômica e ambiental nos processos de apropriação da natureza e da

incorporação das condições ecológicas de sustentabilidade dos processos produtivos. A complementaridade dos valores objetivos e subjetivos atribuídos à natureza na construção de uma racionalidade ambiental demanda novas aproximações, que permitem integrar a valoração das condições ecológicas de sustentabilidade que se expressam nos direitos comunitários e ambientais das populações tradicionais para a reapropriação de seu patrimônio de recursos naturais.

Inicialmente os valores associados aos serviços ambientais prestados nas propriedades rurais estudadas podem parecer altos, mas são considerados referências aos processos de recuperação, indenização ou compensação por serviços ambientais. Segundo Fearnside (2006), é importante distinguir o valor verdadeiro de um serviço ambiental do valor representado pela disposição a pagar. Esta última é limitada pela quantidade de dinheiro que os indivíduos ou países têm e pelas prioridades que os indivíduos ou países apresentam para utilização deste dinheiro.

Paraíso (1998) estimou em US\$6.400,00.ha⁻¹ o custo de recuperação ambiental em áreas de construção de uma barragem no Rio Jundiaí-SP. Este valor é considerado uma estimativa mínima das perdas associadas à recuperação de um ambiente degradado, visto que os ecossistemas recuperados não apresentam a mesma capacidade de gerar bens e serviços que aqueles substituídos. Durante o projeto Proteção de Nascentes, foram implantadas técnicas conservacionistas de água e solo em oito propriedades rurais (1, 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10), para melhorar o estado de conservação das nascentes existentes nestas áreas. O custo médio de recuperação, envolvendo práticas como cercamento, plantio de recuperação e construção de bacias de contenção nessas propriedades, foi de US\$4.361,85.ha⁻¹. O custo médio gasto por propriedade da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo foi de US\$1.380,71, que corresponde a uma área média preservada de 0,32 hectares (VILAR; DIAS, 2008). Apesar de altos, os valores estimados pelo método do custo de recuperação ambiental podem ser considerados ferramentas importantes para análise econômica dos serviços ambientais, visto que um processo de recuperação ambiental não retornará um ambiente degradado ao seu estado natural e, portanto, não promoverá todos os serviços ecossistêmicos antes existentes naquela área.

Considerando as áreas das propriedades rurais onde são prestados os serviços ambientais objetos desta valoração, pôde-se avaliar o valor estimado de referência para os benefícios ambientais por unidade de área (Tabela 11).

Tabela 11 – Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos por propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/ Porto Firme-MG. Cenários 1 e 2

Propriedades	Área (ha)	Cenário 1		Cenário 2	
		VERB R\$.ano ⁻¹	VERB R\$(ha.ano) ⁻¹	VERB R\$.ano ⁻¹	VERB R\$(ha.ano) ⁻¹
1	14	47.109,78	3.364,98	40.076,96	2.862,64
2	5	8.898,77	1.779,75	19.058,50	3.811,70
3	4	22.601,17	5.650,29	31.723,90	7.930,98
4	15	5.262,57	350,84	17.801,70	1.186,78
5	36	56.786,23	1.577,40	21.528,29	598,01
6	35	994,66	28,42	11.267,50	321,93
7	65	18.193,40	279,90	28.343,48	436,05
8	9	6.875,10	763,90	25.261,60	2.806,84
9	30	1.689,73	56,32	5.963,02	198,77
10	10	1.010,67	101,07	10.249,44	1.024,94
Total	223	169.422,08	13.952,87	211.274,39	21.178,64
Média	22,3	16.942,21	1.395,29	21.127,44	2.117,86
Desvio-Padrão	19,2	19.928,91	1.832,89	10.549,05	2.399,05

Comparando os custos de recuperação ambiental citados anteriormente com os Valores Estimados de Referência dos Benefícios Ambientais, percebe-se que é mais vantajoso conservar esses benefícios, investindo em média R\$1.395,29.(ha.ano)⁻¹ (cenário 1) ou R\$2.117,86.(ha.ano)⁻¹ (cenário 2) para a proteção, que arcar com os custos de recuperação, que variam entre US\$4.361,85.ha⁻¹ (VILAR e DIAS, 2008) e US\$6.400,00.ha⁻¹ (PARAÍSO, 1998).

Ao comparar os custos de recuperação ambiental com os Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais, percebe-se que os custos de recuperação ambiental são maiores que os valores econômicos dos serviços ambientais. As médias ponderadas dos valores estimados de referência para os serviços ambientais por unidade de área foram iguais a R\$759,74.(ha.ano)⁻¹ no cenário 1 e a R\$947,42.(ha.ano)⁻¹ no cenário 2.

4. Conclusões

O método da Matriz de Valoração de Danos Ambientais pode ser adaptado para estimativa de valores de referência para os serviços ambientais. Esse método não apresenta dificuldades e pode ser utilizado para determinação de valores de referência

para os benefícios ambientais em processos de compensação ou pagamento por serviços ambientais.

Os valores estimados são considerados apenas como ponto de partida, pois sabe-se da necessidade de se incorporar à teoria econômica os valores de bens e serviços ambientais para assegurar a sobrevivência e o futuro com qualidade para a humanidade. Os métodos de valoração podem apresentar problemas e, portanto, devem ser usados de forma crítica e específica.

As médias ponderadas dos Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais por unidade de área foram iguais a R\$759,74.(ha.ano)⁻¹ no cenário 1 e a R\$947,42.(ha.ano)⁻¹ no cenário 2. Esses valores podem ser entendidos como uma quantia a ser paga ao produtor rural para incentivá-lo a preservar áreas que prestam serviços ambientais à sociedade. Estes valores não serão estáticos, nem tampouco precisos, servirão apenas como referência para adoção de políticas públicas de conservação ambiental que devem garantir a qualidade do meio ambiente.

5. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Divisão Hidrográfica Nacional**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/mapainicial/pgMapaI.asp>>. Acesso em: 20 Jan. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **A implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e agência de água das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. Brasília-DF: ANA, SAG, 2007. 112 p.

ALVES, L. M. **Sistemas de informação geográfica como instrumento para o planejamento de uso da terra, em bacias hidrográficas**. 1993. 112 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1993.

APUCARANA-PR. **Lei nº 058/2009**. Dispõe sobre a criação no Município de Apucarana, do “Projeto Oásis”, autoriza o Executivo Municipal a prestar apoio técnico e financeiro aos proprietários rurais, conforme especifica e dá outras providências. Prefeitura Municipal de Apucarana-PR. Disponível em: <http://www.cma.pr.gov.br/leis/copy_of_index_html>. Acesso em: 11 Maio 2009.

BRASIL. **Lei nº 4.771/1965**, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 1965.

BRASIL. **Lei nº 9.433/1997**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 1997.

BRASIL. **Resolução Conama nº 303**, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional de Meio Ambiente, 2002.

CARDOSO, A. R. A. **A degradação ambiental e seus valores econômicos associados**. Porto Alegre-RS: Sérgio Antônio Fabris Editor, 2003. 96 p.

CCX – CHICAGO CLIMATE EXCHANGE. **Market data**. Março de 2009. Disponível em: <<http://www.chicagoclimatex.com>>. Acesso em: 13 Mar. 2009.

COSTANZA, R. **Frontiers in ecological economics**. Cheltenham-UK: Edward Elgar Publishing Limited, 1997.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, Manaus-AM, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FERNANDES, M. M. **Caracterização de solos e uso atual empregando aerofotos não-convencionais nas sub-bacias Marengo, Palmital e Silibar – Rio Turvo Sujo, MG**. 1996. 98 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1996.

HENRY, M.; TITTONELL, P.; MANLAY, R. J.; BERNOUX, M.; ALBRECHT, A.; VANLAUWE, B. Biodiversity, carbon stocks and sequestration potential in aboveground biomass in smallholder farming systems of western Kenya. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 129, n. 1-3, p. 238-252, Jan. 2009.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2006 - guidelines for national greenhouse gas inventories: agriculture, forestry and other land use**. Vol. 4. Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006.

LEFF, E. **Saber Ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. 3. ed. Tradução de Lúcia Mathilde Endlich Orth, Petrópolis-RJ: Editora Vozes, 2001. 494 p.

LEFF, E. **Racionalidade Ambiental: a reapropriação social da natureza**. Enrique Leff; Tradução Luís Carlos Cabral. Rio de Janeiro-RJ: Civilização Brasileira, 2006. 555 p.

MATTOS, A. D. M.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R.; SOUZA, A. L. de; SILVA, M. L. da; LIMA, J. E. de. Valoração ambiental de Áreas de Preservação Permanente da microbacia do ribeirão São Bartolomeu no Município de Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 2, 2007.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 09**, 16 de junho de 2004. Define os usos insignificantes para as circunscrições hidrográficas no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte-MG: Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH. 2004.

MOTTA, R. S. da. **Economia Ambiental**. Rio de Janeiro-RJ: Editora FGV, 2006. 228 p.

PAGIOLA, S. Payments for environmental services in Costa Rica. **Ecological Economics**, v. 65, p. 712-724, 2008.

PARAÍSO, L. **Valoração Econômica do dano causado pelo uso de área de empréstimo da barragem do rio Jundiá-SP**. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR ECOLOGICAL ECONOMICS CONFERENCE, 5., Santiago, Chile, 1998.

PAZ, P. C.; LOCH, C. **O cadastro nacional de florestas públicas e o potencial de fixação de carbono no combate ao desmatamento**. COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário – UFSC. Florianópolis-SC. 2008. Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2008/077.pdf> Acesso em: 15 Jan. 2009.

QUINTEIRO, F. Q. L. **Levantamento do uso da terra e caracterização de ambiente da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Sujo com a utilização de aerofotos não-convencionais**. 1997. 91 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1997.

SILVA, L. F. **Índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISAGRI): uma proposta metodológica**. 2007. 234 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2007.

TAGORE, V. Lei inédita incentiva ruralistas a preservar nascentes. **Revista Meio Ambiente**. Thesaurus Editora de Brasília. Mar. 2009. Disponível em: <<http://www.revistameioambiente.com.br>>. Acesso em: 16 Abr. 2009.

VILAR, M. B.; DIAS, H. C. T. Springs conservation: socio-economical analysis of the payment for environmental services provisioned by rural producers from the Turvo River Watershed-MG, Brazil. In: INTERNATIONAL SOCIETY FOR ECOLOGICAL ECONOMICS (ISEE: Applying Ecological Economics for Social and Environmental Sustainability), 10., 2008, Nairobi – Quênia. **Anais...**, Nairobi: ISEE, UNEP, ASEE, 2008. 1 CD- ROM.

VIÇOSA-MG. **Decreto nº 3.823**, 26 de abril de 2004. Regulamenta a prestação dos serviços de água e esgotos pelo Serviço Autônomo de Água, Esgoto - SAAE e dá outras providências. Viçosa-MG: Prefeitura Municipal de Viçosa-MG, 2004.

WUNDERA, S.; ALBÁN, M. Decentralized payments for environmental services: The cases of Pimampiro and PROFAFOR in Ecuador. **Ecological Economics**, v. 65, p. 685-698, 2008.

Sistemas econômicos de incentivo à melhoria ambiental

Resumo: Instrumentos econômicos podem ser úteis e efetivos para promover a integridade e a conservação ambiental. Dentre esses instrumentos, o Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) tem obtido destaque no Brasil, visto que o Ministério do Meio Ambiente, as secretarias estaduais e as prefeituras municipais têm se engajado nessa temática, com a perspectiva de implantar políticas públicas que incentivem proprietários rurais a garantir a provisão de serviços ambientais. Atribuir valor econômico aos serviços ambientais prestigia o caráter multifuncional do meio ambiente, reconhecendo o valor da natureza pela importância dos processos de regulação ecológica, hoje fora dos valores de mercado. Diante dessa questão, surge a necessidade de realizar estudos de valoração ambiental que possam balizar o valor a ser pago pela prestação de serviços ambientais. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo aprimorar a matriz de valoração econômica de benefícios ambientais para obtenção de valores tangíveis ao processo de pagamento por serviços ambientais. Além disso, pretendeu-se subsidiar a discussão sobre o pagamento por serviços ambientais, apresentando critérios, indicadores, fontes de recursos e possíveis benefícios desses sistemas. O método da matriz de valoração de benefícios ambientais foi aprimorado através da Técnica Delphi de ponderação dos indicadores já existentes no método e da inclusão de fatores de redução ou aumento de acordo com algumas características socioeconômicas das propriedades rurais estudadas. A etapa de ponderação contou com a participação de 15 especialistas, que opinaram sobre o grau de importância de cada indicador. A nova matriz de valoração indicou valores estimados por área da propriedade rural de R\$402,18.(ha.ano)⁻¹, no cenário 1 (água valorada conforme preço da cobrança pelo uso da água na Bacia do Rio Paraíba do Sul), e de R\$517,78.(ha.ano)⁻¹, no cenário 2 (metodologia de pagamento por serviços hidrológicos em Apucarana-PR). Uma possível fonte de recurso para implantação desse sistema seria a alocação do recurso obtido pela implantação da cobrança pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, instrumento este já previsto na Lei nº 9.433/1997. Outras fontes de recursos a serem consideradas são provenientes da venda dos créditos de carbono e das receitas de empresas privadas que se beneficiam da conservação dos recursos naturais nessa bacia, dentre as quais se destacam as companhias de abastecimento de água e energia. A nova matriz de valoração econômica dos serviços ambientais indicou valores que servem como referência para implantação de políticas públicas que incentivem o produtor rural a manter os serviços ambientais. Os valores encontrados pelo aprimoramento da matriz de valoração ambiental podem ser balizadores para a tomada de decisões referentes à implantação de sistemas de pagamento por serviços ambientais. Entretanto, a simples valoração não significa o sucesso da implantação dos sistemas de incentivo à proteção ambiental. Para que isso ocorra é necessário haver o envolvimento de todos os atores que participarão do processo, e, certamente, os benefícios serão notados por ambos, produtores rurais e consumidores de serviços ambientais. Ao efetivar um sistema de incentivo à preservação ambiental incorporaram-se os recursos naturais ao sistema econômico e minimiza-se os efeitos da utilização indiscriminada desses bens e serviços fornecidos pelo meio ambiente.

Palavras-chave: Crédito de Carbono; Produção de Água; Proteção Ambiental; Bolsa Verde; Economia Ambiental.

Economic systems of incentive to the environmental improvement

Abstract: Economic instruments can be useful and effective to promote the integrity and the conservation of the environment. Among these instruments, the Payment for Environmental Services (PES) has obtained important prominence in Brazil since the environmental ministry, state departments and municipal city halls have been engaged in this theme. The perspective of these organs is to implement public policies to encourage farmers to ensure the provision of environmental services. When economic values are attributed to the environmental services the multifunctional character of the environment is recognized. In addition, the economic value of the nature, which is still out of the economic markets, is recognized for the importance of the ecological regulation process. Thus, it is necessary to carry out researches about environmental valuation to guide the values to be paid for the provision of environmental services. Therefore, this work has aimed at improving the economic valuation matrix of environmental benefits to obtain tangible values for the process of PES. In addition, it intended to contribute to the discussion about PES, presenting criteria, indicators, sources of financial resources and probable benefits of those systems. The valuation matrix of environmental benefits method was improved through the Delphi technique. For this, 15 specialists were consulted and asked to express their opinion about the level of importance of each indicator used. The new valuation matrix included the intangible variables after weighing and a correction factor. This factor can increase or decrease the Reference Value for the Environmental Benefits (RVEB) and depends on the socioeconomic and environmental features of each farm involved in this research. The new valuation matrix indicated weighed values for RVEB per area of R\$402,18.(ha.year)⁻¹, in scenario 1 (water valued as the charging of water used in the South Paraíba River Watershed); and R\$517,78.(ha.year)⁻¹, in scenario 2 (water value paid in Apucarana-PR, as a methodology for Payment for Hydrological Services). A possible source of financial resource for the implementation of PES systems could be the allocation of the resource obtained through the charging of water used in the Turvo Limpo River Watershed. The charging of water use is an instrument already foreseen in the Law nº 9,433/97. Other sources of financial resources to be considered are coming from carbon credits sale and also from incomes of private companies. By way of illustration, the companies of energy and water supply are benefited from the natural resources conservation in the watershed and should allocate part of the company's income to the conservation of the environmental services. The new valuation matrix indicated values that serve as reference to the establishment of public policies to encourage farmers to maintain the provision of the environmental services. These values can guide the decision makers to implement PES systems. However, the valuation alone does not mean success of the establishment of the incentive systems for environmental protection. For these systems to succeed, it is necessary to have a political engagement of all involved in this process. Certainly, the benefits will be noticed by both farmers and consumers of environmental services. When an incentive system for environmental protection becomes effective, the natural resources are incorporated into the economic system. In addition, it is possible to minimize the effects of the indiscriminate use of environmental goods and services.

Keywords: Carbon credits; Water production; Environmental protection; Green grant; Environmental economy.

1. Introdução

Atualmente, vive-se um período de grande preocupação em relação aos estoques de capital natural. A degradação do meio ambiente é decorrente dos padrões de crescimento econômico, como: exportador com o uso predatório e indiscriminado de recursos em ritmo superior àquele suportável pela regeneração; substituição das exportações, mediante instalações industriais intensivas na utilização de recursos naturais (matérias-primas, solos, energia e mão-de-obra a baixo custo); promoção de exportações com a implantação de projetos em busca de divisas nem sempre com o atendimento aos objetivos sociais (BDMG, 2002). O processo de crescimento econômico no Brasil não incorporou os custos do capital natural em seu sistema contábil. Além disso, os indicadores de desenvolvimento se baseiam principalmente em aspectos econômicos (PIB, contas nacionais, consumo, investimento) e sociais (IDH, índices de pobreza, alfabetização). Os aspectos ambientais de sustentabilidade são apresentados como secundários, e as medidas de desgaste e degradação do capital natural ainda são desconhecidas.

A legislação ambiental vigente no Brasil mostra-se ineficiente ao aplicar mecanismos de comando e controle. Diante desse arcabouço legal, a redução dos estoques de capital natural e a degradação ambiental ocorrem corriqueiramente, sem que haja intervenções efetivas para alteração deste quadro. Nos últimos anos surgiu uma multiplicidade de mecanismos e instrumentos passíveis de implantação com vistas ao desenvolvimento sustentável e à conservação ambiental. O princípio do Poluidor-Pagador já está em vigor, por exemplo, na Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997), no instrumento de cobrança pelo uso da água e descarga de efluentes. O princípio do Conservador-Recebedor complementa esse último e é considerado uma inovação, visto que prevê o afastamento das políticas ambientais de comando e controle, ao utilizar forças de mercado para obter maiores resultados ambientais através da recompensa aos provedores de serviços ambientais que não auferem receitas de áreas protegidas. Diante dessa nova demanda da compensação, surge a necessidade de realizar estudos de valoração ambiental que possam balizar o valor a ser pago pela prestação de serviços ambientais.

Diante do exposto, este trabalho visou aprimorar a metodologia da Matriz de Valoração para geração de valores tangíveis ao processo de Pagamentos por Serviços

Ambientais, bem como subsidiar uma discussão sobre critérios e indicadores para o estabelecimento de sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos

Segundo Engel *et al.* (2008), no geral, os serviços ecossistêmicos podem ser definidos como os benefícios que os indivíduos obtêm dos ecossistemas naturais. Entre 1960 e 2000, a demanda por serviços ecossistêmicos aumentou significativamente, visto que a população mundial dobrou e a economia global aumentou em mais de seis vezes. Ao mesmo tempo, estudos revelaram que os serviços ecossistêmicos globais tornaram-se escassos e assumiram também valores de mercado.

Na Costa Rica, em 1996, foi promulgada a Lei Florestal nº 7.575, que reconheceu explicitamente quatro serviços ambientais promovidos pelos ecossistemas florestais: mitigação das emissões de gases de efeito estufa; serviços hidrológicos, incluindo o abastecimento de água para consumo humano, irrigação e geração de energia; conservação da biodiversidade; provisão de beleza cênica para recreação; e ecoturismo (PAGIOLA, 2008).

Segundo Kitamura (2003), qualquer componente de um ecossistema tem valor de uso direto, normalmente reconhecido pelo mercado: alimentos, sementes, fibras, madeiras, resinas, medicamentos, entre outros. Já os serviços ambientais, embora reconhecidos como essenciais à vida, geralmente não são captados pelo mercado. Estes apresentam outros valores econômicos, como o de opção, motivado pelo interesse em preservar a biodiversidade para o seu uso futuro; ou ainda o valor de existência, que está relacionado a atributos culturais como ética religiosa. Da mesma forma que os valores de opção, os valores de existência estão distantes do reconhecimento do mercado econômico.

Os serviços ambientais resultam das funções dos ecossistemas que beneficiam os seres humanos. As funções ecológicas constituem a capacidade dos processos naturais de prover bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas, direta e indiretamente.

2.2. Tipos de serviços ambientais ou serviços ecossistêmicos

Em face da definição de serviços ambientais ou ecossistêmicos, as funções do ecossistema são concebidas como um subconjunto de processos e estruturas ecológicas. Mejía (2005) sugere a existência de um amplo número de funções do ecossistema e de seus bens e serviços associados, entretanto é conveniente agrupar as funções ecológicas em quatro categorias principais:

- **Funções de regulação:** relaciona-se com a capacidade natural do ecossistema de regular processos ecológicos e com a manutenção dos processos bióticos através dos ciclos biogeoquímicos de benefício para os seres vivos, como: ar limpo, água, solo, controle biológico.

- **Funções de hábitat:** os ecossistemas naturais provem habitat de reprodução a espécies animais e florísticas, contribuindo desta maneira para a conservação biológica *in situ* e diversidade genética.

- **Funções produtivas:** correspondem aos processos de fotossíntese e processos autótrofos que convertem dióxido de carbono, água e nutrientes em estruturas de carboidratos que são usados para geração de maior biomassa (alimento para consumo humano, provisão de matéria prima, madeira, etc.).

- **Funções de informação:** resultantes dos momentos em que o ecossistema natural contribui para manutenção da saúde humana ao prover princípios ativos para a indústria farmacêutica, ou, ainda, quando promove funções de reflexão, enriquecimento espiritual e recreação.

Segundo Burstein *et al.* (2002), existe uma tipologia básica de serviços ambientais que se diferenciam em:

a) Sequestro de carbono, que inclui a conservação dos estoques existentes, bem como o incremento de carbono fixado em produtos provenientes das florestas e de outras áreas onde existem e são incrementados estes estoques.

b) Serviços hídricos e monitoramento do desempenho das bacias hidrográficas, que incorporam serviços como abastecimento de água e recarga de aquíferos subterrâneos, prolongação da vida útil e da infraestrutura hidráulica, prevenção e mitigação de desastres causados por fenômenos meteorológicos de excesso ou ausência de precipitações.

c) Conservação da diversidade biológica, incluindo a conservação de nichos e redução da fragmentação de hábitat na paisagem regional, mediante a formação de corredores ecológicos.

d) Beleza cênica, considerada como um fator de valorização de propriedades naturais e como um componente da oferta de serviços de recreação.

2.3. Pagamento por Serviços Ambientais ou Ecosistêmicos (PSA ou PSE)

Em muitos casos, o termo Pagamento por Serviços Ambientais ou Ecosistêmicos (PSA ou PSE) parece ser utilizado para qualquer tipo de mercado com base em mecanismos de conservação ambiental. Segundo Engel et al. (2008), PSE pode ser definido como uma transação voluntária, em que um serviço ecossistêmico bem definido (ou um uso da terra que assegure um serviço ecossistêmico) é comprado por, no mínimo, um comprador de no mínimo um provedor de serviços ecossistêmicos. A condicionante em que se baseia o PSE se refere à provisão contínua dos serviços ambientais por seu provisor ou produtor.

O princípio orientador dessa relação é o chamado princípio do Conservador-Recebedor, que complementa o princípio do Poluidor-Pagador. É considerado um estímulo concreto para alguns segmentos da sociedade realizarem algo que é de interesse vital para toda a população. Essa relação pode ser de compensação ou pagamento direto, e pode ocorrer de diversas formas: transferência direta de recurso financeiro, favorecimento na obtenção de créditos, isenção de taxas e impostos, aplicação de receitas de impostos em programas especiais, disponibilização de tecnologia, capacitação técnica, subsídios a produtos, fornecimento preferencial de serviços públicos, garantia de acesso a mercados ou programas especiais (BORN; TALOCCHI, 2002).

Os manejadores dos ecossistemas, fazendeiros, agricultores, madeireiros ou gestores de áreas protegidas, frequentemente recebem poucos benefícios da terra com a conservação das florestas. Esses benefícios são, na maioria das vezes, menores que aqueles que receberiam caso fosse dado um uso alternativo ao solo, como a conversão para pastagens ou agricultura. No entanto, a retirada das florestas pode impor custos ou externalidades negativas às populações ribeirinhas, que não receberão os benefícios da infiltração da água, da biodiversidade e do estoque de carbono. O Pagamento por Serviços Ecosistêmicos pode tornar a conservação florestal uma opção atrativa para os

manejadores dos ecossistemas e, conseqüentemente, induzi-los a adotar essa nova opção.

O Pagamento por Serviços Ecossistêmicos (PSE), conseqüentemente, busca internalizar o que poderia ser uma externalidade. De fato, programas de PSE se esforçam para por em prática o teorema de “Coase”, que estipula que as externalidades podem, sob determinadas condições, ser superadas através da negociação privada entre as partes afetadas (PEARCE; TURNER, 1990). Esses programas podem, também, ser considerados como um subsídio ambiental (para os produtores de serviços ecossistêmicos) em alguns casos, juntamente com uma taxa para usuários (sobre os consumidores dos serviços ecossistêmicos).

A premissa básica para o Pagamento por Serviços Ambientais é compensar os agentes que manejam o meio ambiente e os recursos naturais, gerando bens e serviços ambientais que beneficiam principalmente a sociedade, seja ela local, regional ou mesmo global (ANA, 2008).

Se a sociedade deseja continuar recebendo água, energia, ar limpo e beleza cênica, faz-se necessário preservar os ecossistemas e manejá-los adequadamente, o que implica custo e perda de receita pelo uso privado dos recursos naturais pelo proprietário. Esses valores deveriam ser pagos pelos usuários dos benefícios ambientais, ou pela sociedade que continuará usufruindo dos serviços e bens gerados. Segundo Mejía (2005), os serviços ambientais são benefícios para a sociedade e deveriam ser internalizados através de um pagamento. Este se comporta como um mecanismo financeiro mediante o qual se reconhece a remuneração efetiva (em dinheiro, espécie ou outra forma) aos produtores de serviços ambientais por parte dos consumidores (beneficiários), por uma quantidade e qualidade determinada de serviços fornecidos, em um determinado período de tempo.

2.4. Experiências internacionais de Pagamento por Serviços Ambientais

Segundo Mayrand e Paquin (2004), um dos exemplos mais famosos de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) foi estabelecido na cidade de Nova Iorque para proteção dos mananciais de água potável. O projeto foi realizado, principalmente, por meio de um programa de aquisições de terras e servidão para conservação que ampliou a área protegida da bacia hidrográfica de Catskills. Além disso, os agricultores e silvicultores receberam compensações para melhorar as práticas de manejo do uso do

solo ou para retirar a produção agrícola de áreas sensíveis. Esse mercado de serviços ambientais surgiu de políticas públicas que padronizaram a qualidade da água, através de novas regulamentações sobre o tratamento da água de superfície.

Diante da nova regulamentação legal, os gestores da cidade de Nova Iorque foram forçados a considerar várias opções para cumprimento da lei com os menores custos possíveis. Ao analisar o custo relativo da construção de uma nova estação de tratamento de água e outras alternativas de manejo do solo, a cidade optou por estabelecer um amplo sistema de Pagamento por Serviços Ambientais para melhorar o manejo da Bacia de Catskills, de onde a água potável é obtida. A criação deste sistema permitiu à cidade de Nova Iorque cumprir a legislação com custos correspondentes à quinta parte daquele implicado na construção de uma nova estação de tratamento de água. A economia no processo foi de mais de US\$3 bilhões (ISAKSON, 2002). Portanto, a proteção de mananciais tem sido preferida ao tratamento intensivo da água, principalmente em resposta à legislações mais restritivas.

Outro exemplo de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) é o caso da França, em que, segundo Asquith *et al.* (2008), desde 1993, uma empresa de beneficiamento de água mineral vem conduzindo um programa de PSA, mais especificamente de serviços hidrológicos, em 5.100 ha da região das montanhas de Vosges. O projeto remunera 27 produtores rurais da bacia hidrográfica que adotam as melhores práticas em suas atividades rurais diárias. Os produtores foram convencidos a converter suas práticas a técnicas de baixo impacto, incluindo o abandono de agroquímicos e utilizando técnicas como compostagem. O programa combina remuneração direta e assistência técnica. O tempo dos contratos varia de 18 a 30 anos e o pagamento é feito de acordo com os custos de oportunidade da terra e com a qualidade da terra e da água, que são constantemente monitorados. Os custos totais, excluindo os custos de transações intermediárias, foram de quase US\$25 milhões entre 1993 e 2000. O monitoramento tem mostrado o aumento dos serviços hidrológicos, comparando-os com o declínio presente na linha de base destes serviços. Além disto, está demonstrado, através dessa experiência, que o alto valor desse serviço ambiental torna os investimentos rentáveis economicamente.

Os países da América Latina também apresentam bons exemplos de sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais. A seguir estão descritos alguns destes exemplos.

2.4.1. México

Em 2006, dois programas mexicanos de Pagamento por Serviços Ambientais (Serviços Hidrológicos – PSAH –, e Carbono, Biodiversidade e Agrossilvicultura – PSA-CABSA) se fundiram em uma política conhecida como Programa de Pagamentos por Serviços Ambientais, com cada um de seus componentes hidrológico, biodiversidade, carbono e agrossilvicultura. No município de Coatepec, foi implantado um dos programas pioneiros de Pagamento por Serviços Ambientais, onde se estabeleceu um fundo de confiança entre os consumidores de água, que premiavam produtores rurais que realizavam o manejo florestal sustentável e asseguravam a cobertura florestal em áreas de recarga da bacia hidrográfica (CORBERA *et al.*, 2009). O pagamento depende da pontuação do projeto em cada propriedade de acordo com um conjunto de critérios predefinidos de avaliação. Nos projetos de carbono, o valor a ser pago oscila entre um valor arbitrário garantido de US\$3,78 e um máximo de US\$7,40 por tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq), se o projeto estiver localizado na zona de amortecimento de uma área protegida, incluindo espécies em risco de extinção, ou se os participantes pertencem a grupos étnicos com alto nível de marginalização social, dentre outros fatores relacionados a aspectos sociais e ambientais.

Segundo Corbera *et al.* (2009), no programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no México as regras gerais de elegibilidade para participação incluem que os produtores não podem receber suporte de nenhum outro programa de PSA e que eles tem de provar que são donos da terra onde o projeto será desenvolvido. Os produtores também deverão apresentar provas de existência do plano de manejo florestal e unidade de manejo ambiental. Além disso, os produtores devem mostrar que as atividades de pagamento por serviços ambientais são adicionais, por exemplo, o desenvolvimento de atividades de uso da terra para prestação de serviços ambientais não seriam possíveis sem o Pagamento por Serviços Ambientais. As regras originais do programa mexicano estabelecem que todos os beneficiários potenciais devem ser informados sobre o escopo do programa, bem como todos os participantes devem passar por um processo de avaliação e monitoramento periódico.

2.4.2. Costa Rica

A Costa Rica inovou metodologias de Pagamento por Serviços Ecosistêmicos (PES) ao estabelecer um programa formal em todo país. Esse programa tem trabalhado para desenvolver mecanismos de cobrança dos usuários de serviços ecosistêmicos por usufruírem destes. O programa tem obtido progresso substancial em cobrança pelo uso da água, e progressos mais limitados em usuários da biodiversidade e do sequestro de carbono.

A Costa Rica é um dos países pioneiros na implantação de programas de Pagamento por Serviços Ecosistêmicos. Com a promulgação da Lei Florestal nº 7.575, em 1996, os serviços ambientais de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, serviços hidrológicos, conservação da biodiversidade e beleza cênica foram legalmente reconhecidos. A lei estabeleceu a base regulatória para o contrato de proprietários rurais que prestam serviços ambientais em suas propriedades e criou o Fundo Nacional de Financiamento Florestal – FONAFIFO (PAGIOLA, 2008).

O público-alvo do programa de Pagamento por Serviços Ambientais da Costa Rica envolve proprietários de terras, com o objetivo de integrar parâmetros ambientais em paisagens fora das áreas protegidas. Para participar, um engenheiro florestal licenciado deve apresentar um plano de manejo florestal sustentável para cada propriedade cadastrada. O plano deve descrever a proposta de uso da terra e incluir documentação da posse de terra, acesso à área, topografia, caracterização geral da propriedade (solo; atual uso da terra; drenagem; planos de prevenção a incêndios e proteção a caça e corte de madeira ilegal), bem como um plano de monitoramento. Uma vez aprovado o plano de manejo, os produtores começam a adotar práticas específicas e a receber o pagamento. O pagamento inicial pode ser solicitado no momento da assinatura do contrato, porém os pagamentos anuais subsequentes serão feitos após verificação do cumprimento das práticas recomendadas pelo engenheiro florestal, através de auditorias em amostras das propriedades. Para os serviços de conservação florestal o pagamento é de US\$64,00.(ha.ano)⁻¹ e para os serviços hidrológicos o valor corresponde a US\$67,00.(ha.ano)⁻¹ (PAGIOLA, 2008).

2.4.3. Bolívia

A comercialização de vários serviços ambientais em uma única área pode ajudar no acesso a diversas fontes de recursos financeiros, tornando a conservação um uso de terra mais competitivo. No vale de Los Negros, na Bolívia, em área fronteira ao Parque Nacional de Amboró, 46 fazendeiros são pagos para proteger 2.774 ha de terra em uma bacia que contém o hábitat de 11 espécies de pássaros migratórios. Nesse esquema de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), contratos anuais proíbem o corte de árvore, a caça e a exploração florestal em áreas registradas. Fazendeiros ou proprietários de terras, provedores de serviços ambientais, são submetidos a monitoramentos anuais, e são advertidos pelo descumprimento de algum critério estabelecido no contrato (ASQUITH; WUNDER, 2008).

Esse esquema tem como facilitador a organização não governamental *Fundación Natura Bolívia*. Um dos compradores dos serviços ambientais promovidos no *Vale de Los Negros* é uma instituição americana, *The US Fish and Wildlife Service*, interessada na conservação da biodiversidade (ASQUITH *et al.*, 2008).

Os segundos usuários desses serviços são os agricultores que utilizam sistemas de irrigação e que estão se beneficiando da regularização sazonal das vazões dos cursos d'água durante as estações mais secas. Esses agricultores inicialmente foram relutantes em pagar por esses serviços, mas a prefeitura municipal de Los Negros tem contribuído por conta própria com, aproximadamente, US\$4.500,00 para o sistema de Pagamento por Serviços Ambientais. A negociação do pagamento é anual e acontece em compensação à proteção florestal. Considerando a provisão de serviços ambientais, comitês ambientais e programas educacionais aumentaram ações de conscientização nas comunidades da região sobre a possível redução na oferta desses benefícios, em função do desmatamento na bacia hidrográfica (ASQUITH *et al.*, 2008).

Um dos maiores desafios no desenvolvimento do mecanismo de Pagamento por Serviços Ambientais se refere ao lento processo de construção da confiança entre os compradores e os produtores de serviços ambientais (ASQUITH *et al.*, 2008; ASQUITH; WUNDER, 2008).

2.5. Experiências nacionais de Pagamento por Serviços Ambientais

Segundo Young (2009), a discussão sobre o Pagamento por Serviços Ambientais pertence a um novo paradigma econômico do Ministério do Meio Ambiente, que busca garantir a conservação ambiental através de um sistema que permita avançar com uma governança ambiental pública mais contemporânea, mais integrada com as demandas da sociedade, com fluxo constante de recursos e menor custo operacional.

O programa “Produtor de Água” proposto pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2008) tem como objetivo melhorar a qualidade da água, através do incentivo à adoção de práticas que promovam o abatimento da sedimentação. Além disso, pretende-se com esse programa aumentar a oferta de água para os usuários e conscientizar produtores e consumidores de água sobre a importância da gestão integrada de bacias hidrográficas. O programa visa a “compra” dos benefícios ou serviços ambientais gerados pelos participantes, com base no princípio do Conservador-Recebedor. Os pagamentos serão proporcionais ao abatimento da erosão dos solos. O programa ainda não é efetivo no Brasil, entretanto alguns Estados já estão desenvolvendo atividades pioneiras relacionadas à implantação de sistemas de pagamento por serviços ambientais. A seguir estão descritos alguns exemplos de sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais no Brasil.

2.5.1. Espírito Santo-ES

O Governo do Estado do Espírito Santo criou o Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo – FUNDÁGUA, que é gerenciado pelo Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA). O FUNDÁGUA é destinado à captação e à aplicação de recursos, e, além disso, dará suporte financeiro e implementará a Política Estadual de Recursos Hídricos. Os recursos a serem utilizados por esse fundo serão provenientes, em parte, dos *royalties* do petróleo, do gás natural e do setor elétrico; capital adquirido em multas ambientais; orçamento público municipal, estadual e federal; das doações; e de transferências (ESPÍRITO SANTO, Lei nº 8.960/2008). Esses recursos serão destinados ao Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) aos produtores rurais, conforme a Lei nº 8.995/2008 (ESPÍRITO SANTO, 2008).

2.5.2. Extrema-MG

Em Extrema-MG, foi instituído o programa Conservador das Águas, com base no princípio do Conservador-Recebedor, incentivando o produtor rural a conservar os mananciais através da remuneração como fator de estímulo e geração de renda (EXTREMA, Lei nº 2.100/2005). Esse programa tem como objetivos aumentar a cobertura vegetal, implantar microcorredores ecológicos, reduzir a poluição decorrente dos processos erosivos e da falta de saneamento, garantir a sustentabilidade socioambiental dos manejos e práticas implantadas, por meio do Pagamento por Serviços Ambientais aos produtores rurais. A base conceitual do programa tem como característica a voluntariedade da adesão e a flexibilidade no que diz respeito a práticas e manejos propostos. A remuneração direta é efetuada de acordo com o alcance de metas preestabelecidas e os pagamentos são feitos durante e após a implantação do projeto. Nesse município é pago ao produtor de serviços ambientais um valor de 100 Unidades Fiscais de Extrema (UFEX) por hectare, por ano. Sendo o valor atual de uma UFEX igual a R\$1,59, anualmente o produtor de serviços ambientais é remunerado em R\$159,00.(ha.ano)⁻¹ (EXTREMA, 2005).

2.5.3. Montes Claros-MG

Em Montes Claros-MG, foi criado o Ecocrédito, com o objetivo de estabelecer um sistema mais harmônico entre a produção rural e o meio ambiente, sem onerar o Erário Municipal (MONTES CLAROS, Lei nº 3.545/2006). O Ecocrédito incentiva produtores rurais a conservar a biodiversidade, delimitando áreas de preservação ambiental em suas propriedades. Por meio do zoneamento ecológico-econômico, planejado e coordenado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, o município definiu as áreas prioritárias para preservação ambiental. As áreas de reserva legal instituídas pelo Código Florestal (BRASIL, Lei nº 4.771/1965) e as Áreas de Preservação Permanentes (APPs) existentes nas propriedades também podem se beneficiar do Ecocrédito, incluindo nascentes, matas ciliares, áreas de recarga de bacias hidrográficas, sítios arqueológicos, grutas, entre outras. Os produtores rurais que investem na preservação recebem o Ecocrédito: uma quantia de 5 UPFs (Unidade Padrão Fiscal), que é equivalente a R\$110,10.(ha.ano)⁻¹. O Ecocrédito recebido pelo produtor rural é utilizado para pagamento de impostos e taxas municipais, como IPTU e

ISS, ou para pagar serviços possíveis de serem prestados pela Prefeitura nas propriedades rurais (capina, roçadas e hora de máquinas). O Ecocrédito também pode ser utilizado como moeda no comércio, entre os fornecedores e prestadores de serviços, que por sua vez podem empregá-lo igualmente no Erário Municipal, na quitação de impostos municipais, em leilões públicos, entre outros (MONTES CLAROS, Lei nº 3.545/2006).

2.5.4. Amazonas-AM

O Bolsa Floresta é um programa do Governo do Amazonas que foi instituído pela Lei Estadual sobre Mudanças Climáticas (AMAZONAS, Lei nº 3.135/2007), para reconhecer, valorizar e compensar as populações tradicionais e indígenas do Estado pela conservação das florestas, dos rios, lagos e igarapés. O Programa Bolsa Floresta foi construído de forma participativa, com ampla discussão com instituições governamentais e não governamentais do Amazonas. O Bolsa Floresta prevê o Pagamento por Serviços Ambientais às comunidades tradicionais das Unidades de Conservação pelo uso sustentável, pela conservação e pela proteção dos recursos naturais, bem como o incentivo a políticas voluntárias de redução do desmatamento. O recurso para o pagamento dos benefícios é proveniente dos juros dos recursos existentes no Fundo Estadual de Mudanças Climáticas. O Programa Bolsa Floresta (BF) tem duas vertentes de pagamento: BF familiar, que inclui o pagamento mensal de R\$50,00 a representantes de famílias residentes em Unidades de Conservação estaduais; e BF associação, que é destinado às associações dos moradores das unidades de conservação do Estado. Equivale a 10% da soma de todas as BFs familiares.

2.5.5. Apucarana-PR

Os proprietários rurais de Apucarana-PR, que mantêm suas nascentes preservadas de acordo com as normas ambientais e aqueles que iniciarem ações de recuperação recebem apoio técnico e financeiro por parte da prefeitura municipal. O “Projeto Oásis/Apucarana” prevê o incentivo que será definido de acordo com a vazão da nascente. Para cada nascente será destinado o valor mensal de até três Unidades Fiscais do Município (UFM), devendo ser ressaltado que atualmente cada UFM equivale a R\$35,00. Para uma nascente com vazão de até 1,5 mil litros por hora será pago uma UFM; acima de 1,5 mil a 3 mil litros por hora, duas UFM, e com vazão acima

de 3 mil litros por hora, três UFM, ou o mesmo que R\$105,00 por mês. Para pleitear o benefício, que é de quatro anos, prorrogável por igual período, o proprietário rural precisa se cadastrar no programa e proteger sua nascente adequadamente de acordo com o Código Florestal. Ao aderir ao programa, o ruralista deverá averbar sua Reserva Legal, que terá de estar reflorestada ou em processo de reflorestamento, além de atender a outras medidas devidamente regulamentadas. Os recursos serão provenientes de dotações próprias consignadas no orçamento municipal vigente, do Fundo Municipal de Meio Ambiente, ICMS Ecológico das Unidades de Conservação, Reserva Permanente do Patrimônio Natural, parte de multas ambientais aplicadas pelo Ministério Público e ou órgãos competentes, e mediante convênios a serem firmados com organizações não-governamentais e outras entidades (APUCARANA, Lei nº 58/2009).

2.5.6. Minas Gerais-MG

O governo do Estado de Minas Gerais promulgou a Lei nº 17.727/2008 (MINAS GERAIS, 2008), que dispõe sobre a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de Bolsa Verde. Esta lei prevê que proprietários de áreas rurais e urbanas que preservarem, em seus terrenos, áreas necessárias à proteção dos recursos hídricos, da biodiversidade e dos ecossistemas contarão com um incentivo financeiro do governo, a ser pago anualmente. A prioridade para a concessão do benefício, cujas condições estão sendo regulamentadas pelo Poder Executivo, será dos agricultores familiares e dos donos de pequenas propriedades rurais (propriedades com até 4 módulos fiscais). Para efeito de concessão do benefício será obedecida uma graduação de valores dos benefícios, em ordem crescente: i) propriedades e posses que necessitem adequação aos critérios de regularização da Reserva Legal e de proteção das Áreas de Preservação Permanente; ii) propriedades e posses que conservem ou preservem áreas no limite estabelecido pela legislação em termos da regularização da Reserva Legal e da proteção das Áreas de Preservação Permanente; e iii) propriedades e posses que conservem ou preservem áreas acima do limite estabelecido pela legislação em termos da regularização da Reserva Legal e da proteção das Áreas de Preservação Permanente. Além disso, o benefício terá valor majorado nos casos de propriedades que apresentarem balanço ambiental adequado, conforme critérios a serem estabelecidos pelo Comitê Executivo do Bolsa Verde (MINAS GERAIS, Decreto nº 45.113/2009).

Os recursos para a concessão da Bolsa Verde serão provenientes de consignação na Lei Orçamentária Anual e de créditos adicionais; de 10% dos recursos do Fundo de Recuperação, Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável das Bacias Hidrográficas do Estado de Minas Gerais – FHIDRO; da compensação pela utilização dos recursos naturais; de convênios celebrados pelo Poder Executivo com agências de bacias hidrográficas ou entidades a elas equiparadas e com órgãos e entidades da União e dos Municípios; de doações, contribuições ou legados de pessoas físicas e jurídicas, públicas ou privadas, nacionais ou estrangeiras; e de dotações de recursos de outras origens.

2.5.7. Guarapiranga-SP

O projeto Oásis foi lançado em 2006 pela Fundação O Boticário. A área de atuação do projeto abrange a Bacia Hidrográfica de Guarapiranga e as Áreas de Proteção Ambiental Municipais Bororé-Colônia e Capivari-Monos, na região metropolitana de São Paulo. O projeto premia financeiramente proprietários de áreas naturais localizadas na região, com o objetivo de preservar mananciais e contribuir para a manutenção da qualidade da água que abastece cerca de 4 milhões de pessoas na Grande São Paulo. A metodologia de valoração do projeto Oásis estimou um valor de referência para o Pagamento por Serviços Ecológicos prestados pelas propriedades apoiadas pelo projeto. Como serviços a serem valorados foram considerados o controle de erosão, que recebeu o valor de R\$75,00.(ha.ano)⁻¹; a capacidade de produção e armazenamento de água, R\$ 99,00.(ha.ano)⁻¹; e a manutenção da qualidade da água, R\$196,00.(ha.ano)⁻¹. O somatório dos valores dos três serviços ecológicos totalizou em R\$370,00, que é a quantia máxima que os proprietários participantes do projeto Oásis podem receber anualmente por cada hectare de área natural conservada (FUNDAÇÃO O BOTICÁRIO, 2009).

3. Material e métodos

Os métodos de valoração econômica dos recursos naturais podem ser utilizados como balizadores para tomada de decisões e elaboração de políticas públicas que reconheçam os produtores rurais como prestadores de serviços ambientais, incentivando-os a exercer esses serviços que são fundamentais à sobrevivência humana.

Este trabalho foi elaborado com base nas matrizes de valoração econômica dos benefícios ambientais resultantes do estudo “Valoração econômica de serviços ambientais prestados em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo-MG” (3º artigo), realizado em dez propriedades rurais localizadas em uma região entre os municípios de Viçosa, Porto Firme e Guaraciaba-MG. A matriz de valoração econômica, proposta por Cardoso (2003), foi adaptada para determinação do valor econômico dos serviços ambientais. Foram identificadas duas categorias de variáveis: quantificáveis (*q*) e intangíveis (*i*). As variáveis quantificáveis foram: estoque de carbono, cujo valor econômico já é definido pelos mercados de créditos de carbono; e produção de água, ao qual foram atribuídos valores econômicos relacionados com as taxas de cobrança pelo uso da água e com o pagamento por serviços ambientais já adotados no Brasil. A valoração da produção de água se baseou em dois cenários: cenário 1 – cobrança pelo uso da água captada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul; e cenário 2 – valores do programa de incentivo à preservação de nascentes em Apucarana-PR. As variáveis economicamente intangíveis (*i*) são aqueles serviços ambientais aos quais não são atribuídos valores econômicos. Dentre eles destacam-se a qualidade da água, a conservação do solo, a biodiversidade e a qualidade do ar.

Para aprimorar a matriz de valoração econômica, proposta por Cardoso (2003), utilizou-se a técnica Delphi para ponderação, através da qual é possível assegurar cientificidade para ponderação dos dados avaliados. Delphi é uma metodologia científica que permite analisar dados qualitativos e quantitativos. O processo de valoração econômica de recursos naturais envolve diversos indicadores e, portanto, estes precisam ser ponderados. Segundo Silva (2007), no setor econômico, o peso no caso do PIB está relacionado ao valor monetário atribuído a cada produto. Entretanto, a ponderação de aspectos ambientais é bem mais complexa, pois os aspectos ambientais e sociais devem ser considerados. A utilização de indicadores facilita a tomada de decisões, tornando esses importantes ferramentas para a identificação dos dados mais relevantes e o estabelecimento de sistemas conceituais para a compilação e análise de dados.

Adaptando-se a metodologia utilizada por Siena (2008), que avaliou indicadores de desenvolvimento sustentável, estabeleceu-se uma amostra composta por 15 especialistas nas áreas dos serviços ambientais considerados neste estudo (clima, água, solos e biodiversidade). Os especialistas selecionados são docentes e estudantes de pós-

graduação da Universidade Federal de Viçosa que realizam pesquisas científicas relacionadas à temática ambiental.

Esse método permite descobrir as opiniões dos especialistas sobre o tema abordado, através do preenchimento de um questionário (Anexo B). Aos especialistas foi solicitado que, individualmente, indicassem o grau de importância de cada serviço ambiental e dos seus indicadores, já citados na matriz de valoração. Solicitou-se, ainda, que os especialistas sugerissem a porcentagem de redução no valor total dos serviços ambientais para algumas situações específicas (utilização de agrotóxicos, residência fora da propriedade rural, fonte de renda e tamanho da propriedade rural).

Os especialistas foram também encorajados a sugerir novos indicadores que seriam importantes constar nessa análise, conforme opinião de cada um. Os novos indicadores sugeridos foram utilizados para definir um roteiro de fácil compreensão e prático para coleta de dados em campo. Este documento serve como guia para avaliação da propriedade rural e contém princípios, critérios e indicadores para cada serviço ambiental valorado. Alguns desses novos indicadores foram utilizados no aprimoramento da matriz de valoração econômica dos serviços ambientais, como fatores de redução ou aumento no valor final.

A média do grau de importância atribuído pelos especialistas aos serviços ambientais e seus indicadores permitiu que o somatório das variáveis intangíveis fosse ponderado. Para isto foram realizadas duas ponderações, sendo uma intrasserviços ambientais, ponderando os indicadores selecionados para cada serviço ambiental, e outra interserviços, considerando o grau médio de importância atribuído à qualidade da água, à conservação do solo, à qualidade do ar e à biodiversidade. O fator de ponderação (fp) das variáveis intangíveis variou de 0 a 4 para cada propriedade, e acompanhou a escala dos quantificadores (4 - Muito alto; 3 - Alto; 2 - Médio; 1 - Baixo; 0 - Inexistente), que representa a intensidade e a característica do serviço ambiental identificado. Este fator calculado indicou se o somatório das variáveis intangíveis de cada propriedade deveria se manter igual (fp = 4; 100%) ou se este deveria ser reduzido em função da escala dos quantificadores, através de uma regra de três simples para cálculos percentuais. Os cálculos da ponderação podem ser visualizados no Anexo C.

Acrescentou-se ainda à equação do Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental (VERB) um fator (f) resultante da subtração entre o fator de aumento e o fator de redução (Tabela 1).

Tabela 1 – Fatores de redução e aumento no Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental e seus quantificadores

Fatores de Redução	Sim	Não
Usam agrotóxicos em suas propriedades rurais	-1	0
Não residem na propriedade rural	-1	0
Não possuem fonte de renda exclusiva da atividade rural	-1	0
Residem em propriedades rurais com mais de 30 hectares	-1	0
Fatores de Aumento	Sim	Não
Nascente protegida	1	0
Não realiza queimada	1	0
Agricultura Familiar	1	0
Cultivo mínimo	1	0

Para os fatores de redução e aumento foi criada uma escala que variou entre o aumento/redução máximos de 48 e 12%, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Porcentagens de redução e aumento no Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental

Porcentagem (%)	Fator de Aumento	Fator Redução
48	4	-4
36	3	-3
24	2	-2
12	1	-1

4. Resultados e discussão

4.1. Indicadores para a valoração de serviços ambientais

Os indicadores utilizados para valoração dos serviços ambientais foram selecionados segundo a possibilidade de quantificá-los dentro das propriedades rurais estudadas. Esses indicadores podem ser considerados meios de comunicação, por exigirem a compreensão dos seus significados e valores por parte dos atores envolvidos.

O grau de importância, em porcentagem, dos serviços ambientais para valoração econômica, conforme consultas aos especialistas, foi: qualidade da água (28,1%), conservação do solo (26,0%), biodiversidade (23,9%) e qualidade do ar (22,0%). O resultado da consulta aos especialistas está apresentado na Tabela 3. Percebeu-se que, para os especialistas consultados, os indicadores mais importantes foram a presença de florestas e a turbidez da água.

Tabela 3 – Grau de importância médio dos serviços ambientais e seus respectivos indicadores utilizados na matriz de valoração, segundo resultados de consultas à especialistas

Serviço Ambiental	Grau médio de Importância	Indicadores	Grau médio de Importância
Qualidade do ar	7,07	Presença de florestas	9,40
Conservação do Solo	8,33	Curva de nível	7,27
		Cordão de contorno	6,93
		Bacia de captação	7,27
		Presença de Erosão	8,20
Qualidade da Água	9,00	Condutividade da água	7,53
		pH da água	8,27
		Turbidez da água	9,07
		Coliformes totais presentes na água	8,93
Biodiversidade	7,67	Índice de Shannon-Weaver (H')	6,80
		Espécies ameaçadas de extinção	8,47

Portanto, a equação do Valor Estimado de Referência para o Benefício Ambiental (VERB) foi modificada, visto que inclui fatores de ponderação dos indicadores atribuídos às variáveis intangíveis e fatores de aumento/redução conforme média determinada pelos valores sugeridos pelos especialistas (Equação 1).

$$VERB_p = \sum_{n=1}^{\alpha} qn * \sum_{n=1}^{\alpha} in_p + f * \left(\sum_{n=1}^{\alpha} qn * \sum_{n=1}^{\alpha} in_p \right) \quad [\text{Equação 1}]$$

em que

q = variáveis quantificáveis;

in_p = variáveis intangíveis ponderadas;

n = total de atributos de cada variável; e

f = fator de aumento – fator de redução (%).

Os fatores de redução e aumento avaliados para as dez propriedades rurais indicaram a redução no Valor Estimado de Referência para os Benefícios Ambientais de 50% das propriedades rurais estudadas. As demais propriedades rurais receberam um fator de aumento, conforme apresentado na Tabela 4.

A discussão relacionada aos fatores de redução no valor econômico total dos serviços ambientais não se exaure diante dos itens apresentados, pois existem diversos pontos de vista a respeito do Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) relacionados, principalmente, a quem e quanto deve-se receber.

Tabela 4 – Fatores de redução e aumento no Valor Estimado de Referência para os Benefícios Ambientais prestados em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Fator	Propriedades Rurais									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Redução (-)	0,36	0,24	0,24	0,24	0,36	0,36	0,48	0,36	0,48	0,24
Aumento (+)	0,24	0,48	0,48	0,48	0,24	0,48	0,12	0,24	0,24	0,48
Fator total (f)	-0,12	0,24	0,24	0,24	-0,12	0,12	-0,36	-0,12	-0,24	0,24

Young (2009) defende que mesmo criando-se uma situação que ele definiu como “dilema do filho pródigo” e correndo o risco de incentivar a ilegalidade ambiental, ele considera que é inevitável utilizar mecanismos de PSA para remunerar proprietários dispostos a recuperar áreas que eles próprios destruíram, porque efetivamente a sociedade precisa dos serviços que são prestados com a recomposição florestal. Entretanto, deve-se buscar a premiação daqueles produtores que já possuem áreas conservadas e que não auferiram receitas do desmatamento ou do uso alternativo do solo.

Um aspecto importante para a construção de indicadores para a valoração ambiental é a participação. A construção do conhecimento e a tomada de consciência sobre a realidade ambiental são fundamentais para a utilização de sistemas de indicadores, tanto nas políticas públicas quanto na sociedade civil. Este trabalho pode ser considerado a etapa preparatória para o estabelecimento de indicadores para determinação do valor econômico de serviços ambientais. Por isso, ele foi dirigido a especialistas cuja opinião terá maior impacto para execução metodológica. A participação pública e de outros atores sociais também é importante e deve ser realizada em estágios posteriores, possibilitando a alteração dos indicadores levantados.

Com base nos resultados da consulta a especialistas, foi elaborado um roteiro de avaliação da propriedade rural, visando à qualificação dos serviços ambientais ali promovidos e a caracterização socioeconômica da propriedade rural. Neste roteiro foram incluídos princípios, critérios e indicadores que possam facilitar a valoração dos recursos naturais e a inclusão de proprietários rurais em sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais. Este documento serve como guia para avaliação da propriedade rural e contém princípios, critérios e indicadores para cada serviço ambiental valorado.

Os princípios foram orientados para cumprir a meta de manutenção da prestação de serviços ambientais e desenvolvimento sustentável das propriedades rurais da Bacia

Hidrográfica do Rio Turvo Limpo. Os critérios foram formulados, considerando os aspectos que devem existir em uma microbacia para o cumprimento do princípio predeterminado. De cada critério, surgiu uma série de indicadores respectivos gerando um roteiro de fácil compreensão e prático para coleta de dados em campo (Anexo D).

4.2. Matriz de valoração ponderada

Foram realizadas duas ponderações, sendo uma intrasserviços ambientais, ponderando os indicadores selecionados para cada serviço ambiental, e outra interserviços, considerando o grau médio de importância atribuído à qualidade da água, à conservação do solo, à qualidade do ar e à biodiversidade.

Os fatores de ponderação (fp) calculados para as dez propriedades rurais envolvidas neste estudo estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Fatores de ponderação (fp) e somatório ponderado das variáveis intangíveis (*in*) utilizadas para valoração econômica dos serviços ambientais prestados em dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedade	Somatório <i>in</i>	Fator de Ponderação (fp)	Porcentagem	Somatório <i>in</i> ponderado
1	22	2,70	67,4	14,83
2	25	2,72	67,9	16,98
3	26	2,79	69,7	18,12
4	21	1,91	47,7	10,02
5	17	1,82	45,4	7,72
6	25	2,00	49,9	12,48
7	22	1,92	48,1	10,59
8	20	1,18	29,6	5,92
9	14	1,04	26,1	3,65
10	24	1,98	49,5	11,89

Exemplo de cálculo: $fp = \frac{7,07 * QAR + 8,33 * CONS + 9,00 * QAGUA + 7,67 * BIO}{91,74}$.

Propriedade 1: $fp = \frac{7,07 * 28,2 + 8,33 * 0,55 + 9,00 * 3,49 + 7,67 * 1,55}{91,47} \Rightarrow Fp = 2,70$.

Regra de três simples: $2,70 = 67,4\%$ de 4,00. $67,4\%$ de 22 = 14,83.

Somatório de *in* ponderado = 14,83.

As novas matrizes de valoração econômica dos serviços ambientais, após a ponderação e inserção dos fatores de redução e aumento, podem ser visualizadas nas Tabelas 6 e 7, com apresentação dos cenários 1 e 2, respectivamente.

Tabela 6 – Cenário 1: Novos Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedades	Variáveis Intangíveis	Variáveis Tangíveis		Valores em R\$.ano ⁻¹	Fator (%)	Valores em R\$. ano ⁻¹
	∑ in ponderado	Carbono R\$	Água* R\$.ano ⁻¹	Somatório qn		VERB _p
1	14,83	561,68	1.579,67	2.141,35	-0,12	27.945,52
2	16,98	342,34	13,61	355,95	0,24	7.494,62
3	18,12	800,15	69,13	869,28	0,24	19.531,58
4	10,02	7,70	242,90	250,60	0,24	3.113,64
5	7,72	6,37	3.334,00	3.340,37	-0,12	22.693,11
6	12,48	30,70	9,09	39,79	0,12	556,12
7	10,59	28,34	798,63	826,97	-0,36	5.604,89
8	5,92	3,08	340,67	343,75	-0,12	1.790,82
9	3,65	5,93	114,77	120,70	-0,24	334,81
10	11,89	7,06	35,05	42,11	0,24	620,87

*Valor da água baseada na cobrança pelo uso da água captada na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

Exemplo de cálculo:

$$\text{VERB} = (\sum \text{in ponderado} * \sum \text{qn}) + f * (\sum \text{in ponderado} * \sum \text{qn}).$$

$$\text{Propriedade 1} = (14,83 * 2.141,35) + (-0,12 * 14,83 * 2.141,35) = 31.756,28 - 3.810,75 = 27.945,52.$$

Tabela 7 – Cenário 2: Novos Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais promovidos em propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedades	Variáveis Intangíveis	Variáveis Tangíveis		Valores em R\$.ano ⁻¹	Fator (%)	Valores em R\$.ano ⁻¹
	∑ in ponderado	Carbono R\$	Água* R\$.ano ⁻¹	Somatório qn		VERB _p
1	14,83	561,68	1.260,00	1.821,68	-0,12	23.773,65
2	16,98	342,34	420,00	762,34	0,24	16.051,22
3	18,12	800,15	420,00	1.220,15	0,24	27.415,31
4	10,02	7,70	840,00	847,70	0,24	10.532,50
5	7,72	6,37	1.260,00	1.266,37	-0,12	8.603,21
6	12,48	30,70	420,00	450,70	0,12	6.299,70
7	10,59	28,34	1.260,00	1.288,34	-0,36	8.731,85
8	5,92	3,08	1.260,00	1.263,08	-0,12	6.580,14
9	3,65	5,93	420,00	425,93	-0,24	1.181,53
10	11,89	7,06	420,00	427,06	0,24	6.296,40

*Valor da água baseada no programa de Pagamento por Serviços Ambientais de Apucarana-PR.

Exemplo de cálculo:

$$\text{VERB} = (\sum \text{in ponderado} * \sum \text{qn}) + f * (\sum \text{in ponderado} * \sum \text{qn}).$$

$$\text{Propriedade 2} = (16,98 * 762,34) + (0,24 * 16,98 * 762,34) = 12.944,53 + 3.106,69 = 16.051,22.$$

Percebe-se que os valores encontrados através do aprimoramento da matriz de valoração econômica dos serviços ambientais apresentam-se viáveis para implantação de compensações ou incentivos à proteção ambiental. Entretanto, esses são ainda estimativas dos valores de referência dos benefícios ambientais prestados pelas propriedades rurais estudadas.

A análise dos valores estimados por área da propriedade rural gerou uma média ponderada de R\$402,18.(ha.ano)⁻¹, no cenário 1 e de R\$517,78.(ha.ano)⁻¹, no cenário 2 (Tabela 8).

Tabela 8 – Novos Valores Estimados de Referência para os Benefícios Ambientais por unidade de área das propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo, Viçosa/Porto Firme-MG

Propriedades	Área (ha)	Cenário 1		Cenário 2	
		VERB _p R\$.ano ⁻¹	VERB _p R\$. (ha.ano) ⁻¹	VERB _p R\$.ano ⁻¹	VERB _p R\$. (ha.ano) ⁻¹
1	14	27.945,52	1.996,11	23.773,65	1.698,12
2	5	7.494,62	1.498,92	16.051,22	3.210,24
3	4	19.531,58	4.882,90	27.415,31	6.853,83
4	15	3.113,64	207,58	10.532,50	702,17
5	36	22.693,11	630,36	8.603,21	238,98
6	35	556,12	15,89	6.299,70	179,99
7	65	5.604,89	86,23	8.731,85	134,34
8	9	1.790,82	198,98	6.580,14	731,13
9	30	334,81	11,16	1.181,53	39,38
10	10	620,87	62,09	6.296,40	629,64
Média	22,30	8.968,60	959,02	11.546,55	1.441,78
		Média ponderada	402,18	Média ponderada	517,78

4.3. Estratégias de sistema de Pagamento por Serviços Ambientais

Segundo Burstein *et al.* (2002), os sistemas de pagamento por Serviços Ambientais (PSA) apresentam quatro estratégias básicas: são de longo prazo; o mercado pode ser internacional e estar sujeito a acordos internacionais; requerem colaboração múltipla de atores sociais; e têm como produto um aspecto intangível que é a consciência dos provedores e pagadores dos serviços ambientais.

A viabilidade de implantação de sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) está relacionada à capacidade organizacional de associações da

sociedade civil, em longo prazo. Em síntese, trabalhar com pequenos produtores provavelmente implica custos de transação mais altos que, por exemplo, para o mesmo serviço ambiental oferecido por um latifundiário. O trabalho com grupos voluntários dentro de comunidades, regiões ou bacias hidrográficas propicia melhores resultados, entretanto é preciso considerar a necessidade de fortalecimento organizacional para construção de alianças estratégicas efetivas entre a sociedade civil, órgãos públicos e outros setores que possam participar dos esquemas de PSA.

Os sistemas de PSA tendem a construir um mercado diferenciado, portanto é importante atentar para a demanda e oferta de serviços ambientais, considerando que a demanda geralmente lidera a construção de mercados formais. A apropriação dos projetos de PSA por parte dos produtores de serviços ambientais apresenta grande potencial de conscientização ambiental, através da mudança de comportamento e atitude dos atores envolvidos. Além disso, as receitas geradas pelos sistemas de PSA passam a compor a fonte de renda de famílias rurais, que, geralmente, apresentam grande diversificação de produção e baixa lucratividade.

As fontes de recursos para o Pagamento por Serviços Ambientais são diversas e peculiares. Segundo a ANA (2008), os recursos financeiros necessários para o funcionamento de um programa de PSA poderão vir das mais variadas fontes, entre elas: recursos da cobrança pelo uso da água; empresas de saneamento e companhias de abastecimento de água, empresas de geração de energia elétrica e usuários; Fundos Estaduais de Recursos Hídricos; Fundo Nacional de Meio Ambiente; orçamento Geral da União; orçamento de Estados, Municípios e Comitês de Bacias; Compensação financeira por parte de usuários beneficiados; mecanismo de Desenvolvimento Limpo/Protocolo de Quioto; organismos internacionais; e financiamento de bancos de investimento oficiais (Banco do Brasil e BNDES). Outras fontes de recurso para os sistemas de PSA poderiam ser obtidas dos *royalties* de usinas exploradoras de petróleo, carvão mineral, indústrias químicas, indústrias de papel e celulose, siderúrgicas ou empresas de transportes em geral.

Existem outras formas possíveis de compensação, além da remuneração em espécie pela prestação de serviços ambientais. Entre essas destacam-se a redução ou isenção de impostos, o subsídio agrícola, o favorecimento na obtenção de créditos, a disponibilização de capacitação técnica, os subsídios a produtos, o fornecimento preferencial de serviços públicos e a garantia de acesso a mercados ou programas especiais.

Segundo Jantzi *et al.* (1999), a Costa Rica apresenta uma história de políticas governamentais de conservação florestal que data de mais de 50 anos. Estas incluem: 1) sistema governamental que permite o corte de árvores e a conversão de florestas em áreas agrícolas em todas as terras privadas; 2) restrições em cortes de florestas ou árvores em zonas ripárias e em áreas com declividade íngremes; e 3) incentivo monetário e assistência técnica para o reflorestamento. Muitas políticas públicas desse país restringem o uso da terra e não são acatadas por produtores rurais pobres que ocupam terras marginais. Apesar da execução dessas políticas, elas foram consideradas limitadas e arruinadas pela corrupção do país. Mesmo assim, comunitários com boas orientações sobre conservação tendem a respeitar as políticas florestais do governo, mesmo reconhecendo que muitas pessoas não acatam essas leis. Os autores citados acreditam que o apoio geral do governo pela legislação sobre conservação florestal reconhece os valores da floresta para as comunidades. Existe uma indicação clara que o interesse em conservação florestal cresceu nos últimos anos, e esta vem acompanhada de ações como conservação de florestas e reflorestamentos.

No Brasil, ultimamente, o nível de exigência dos órgãos ambientais para licenciamentos e autorizações para intervenção ambiental tem se tornado cada vez maior e menos acessível. Os produtores rurais estão se deparando com inúmeras cobranças e exigências desses órgãos e não recebem orientação técnica para cumprimento das novas formalidades. Além disso, os custos para efetivação das novas exigências legais (georreferenciamento de imóveis rurais, averbação e recomposição de áreas de Reserva Legal, outorga de uso da água, recomposição e preservação de Áreas de Preservação Permanente, entre outros) são altos e deverão ser arcados pelos próprios produtores rurais. Os custos e a falta de orientação técnica se apresentam como grandes entraves para o cumprimento da legislação ambiental. Os sistemas de Pagamento ou Compensação por Serviços Ambientais (PSA ou CSA) anunciam uma mudança política e buscam incentivar os produtores rurais pelas boas práticas de manejo ambiental. Espera-se que, com esses sistemas, possa haver um auxílio governamental para que os produtores rurais consigam cumprir a legislação e serem reconhecidos por isto.

O aumento do interesse em conservação florestal está relacionado ao sentimento de perda de alguns valores florestais – incluindo produtos florestais, conservação de bacias hidrográficas, e biodiversidade – como resultado do desflorestamento. As experiências de Pagamento por Serviços Ambientais sugerem que a regeneração da floresta possa estar relacionada à mudança de valores ambientais, bem como a

mudanças nas condições econômicas e políticas das comunidades (JANTZI *et al.*, 1999).

4.4. Considerações gerais acerca dos sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais

É de extrema importância definir a natureza do serviço ambiental para as comunidades que serão compensadas pela sua provisão. Além disso, metodologias-padrão para valoração dos serviços ambientais tornam-se ferramentas fundamentais para o sucesso dos sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Segundo Corbera *et al.* (2009), todos os sistemas de PSA devem assegurar que os intermediários são responsáveis por suas ações e que os contratos definam os direitos e deveres dos atores envolvidos.

A inclusão de múltiplos parceiros torna viável a análise das desvantagens dos sistemas de PSA, que, juntamente com avaliações independentes, fortalece os processos de aprendizagem contínua e adaptação institucional. O item mais importante desses sistemas é o desenvolvimento de um fundo de financiamento sustentável em que os usuários compensam os provedores de serviços ambientais durante um período longo de tempo e o apoio contínuo para administração dos recursos é esperado.

É necessário enfatizar que os programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) podem optar por um foco exclusivo na provisão de serviços ambientais, deixando em outros planos as preocupações com o bem-estar individual. Mesmo neste caso, é importante valorar a extensão para qual o programa contribui direta ou indiretamente para os aspectos socioeconômicos de desenvolvimento, para além dos incentivos econômicos. Este é um teste importante para a hipótese, frequentemente assumida, de que os programas de PSA podem ser considerados como ferramentas de conservação e desenvolvimento sustentável. Deve-se considerar ainda que os sistemas de PSA não operam individualmente e, conseqüentemente, são extremamente influenciados por outros instrumentos como direito de propriedades privadas e políticas de uso da terra (CORBERA *et al.*, 2009).

Acima de tudo, os programas de PSA precisam assegurar um nível mínimo de capacidade e entendimento entre os atores envolvidos, para que estes entendam o que realmente é esse sistema e quais são os seus resultados. A capacidade destes atores é consideravelmente influenciada pelos sistemas de PSA nas etapas iniciais de

implementação, e estes, por sua vez, afetam a eficiência do PSA e a confiança a longo prazo dos atores envolvidos.

Os resultados dos sistemas de PSA são consequências da combinação de fatores institucionais, alguns dos quais são extrínsecos ao *design* institucional. Isto significa que não basta existir a política pública para que resultados tangíveis sejam obtidos. É preciso o envolvimento dos comunitários e dos diferentes atores envolvidos nesses sistemas, visto que os produtores rurais, prestadores de serviços ambientais, podem beneficiar a sociedade como um todo.

Segundo Fearnside (2006), é importante distinguir o valor verdadeiro de um serviço ambiental do valor representado pela disposição a pagar. Esta última é limitada pela quantidade de dinheiro que os indivíduos ou países têm e pelas prioridades que os indivíduos ou países apresentam para utilização deste dinheiro. Considerando os preços sem os efeitos de escala, tem-se um ponto de partida para pensar no problema da comercialização dos serviços ambientais. Entende-se que a disposição a pagar pode aumentar bastante no futuro quando o valor do dano potencial do aquecimento global se tornar mais aparente para os tomadores de decisões e o público em geral.

5. Conclusões

A nova matriz de valoração econômica dos serviços ambientais indicou valores que servem como referência para implantação de políticas públicas que incentivem o produtor rural a manter os serviços ambientais. Entretanto, essa técnica deve ser testada com a inclusão dos novos indicadores sugeridos pelos especialistas.

A Matriz de Valoração Ponderada indicou valores estimados por área da propriedade rural de R\$402,18.(ha.ano)⁻¹, no cenário 1 (água valorada conforme preço da cobrança pelo uso da água na Bacia do Rio Paraíba do Sul), e de R\$517,78.(ha.ano)⁻¹, no cenário 2 (metodologia de pagamento por serviços hidrológicos em Apucarana-PR).

Os valores encontrados pelo aprimoramento da matriz de valoração ambiental podem ser balizadores para a tomada de decisões referente à implantação de sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais. Entretanto, deve-se assegurar recursos para que os contratos de prestação de serviços ambientais sejam fundamentados em bases reais e contem com a credibilidade dos diversos atores envolvidos.

Considerando algumas experiências bem-sucedidas de metodologias participativas para estabelecimento de programas de pagamento por Serviços Ambientais, é interessante

realizar estudos que contemplem consultas aos produtores rurais para avaliação dos critérios e indicadores levantados. A partir de então, pode-se definir um plano de incentivo ambiental que englobe opiniões de diferentes atores do processo.

6. Referências bibliográficas

AMAZONAS. **Lei nº 3.135/2007**, de 5 de junho de 2007. Institui a Política Estadual sobre Mudanças Climáticas, Conservação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável. Manaus, AM: Governo do Estado. Disponível em: <http://www.florestavivaamazonas.org.br/download/Lei_est_n_3135_de_050607.pdf>. Acesso em: 25 Maio 2009.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Manual operativo do Programa Produtor de Água**. Brasília-DF: Superintendência de Usos Múltiplos, 2008. 58 p.

APUCARANA-PR. **Lei nº 058/2009**, de 18 de março de 2009. Dispõe sobre a criação no Município de Apucarana, do “Projeto Oásis”, autoriza o Executivo Municipal a prestar apoio técnico e financeiro aos proprietários rurais, conforme especifica e dá outras providências. Prefeitura Municipal de Apucarana-PR. Disponível em: <http://www.cma.pr.gov.br/leis/ /copy_of_index_html>. Acesso em: 11 Maio 2009.

ASQUITH, N. M.; VARGAS, M. T.; WUNDER, S. Selling two environmental services: in-kind payments for bird habitat and watershed protection in Los Negros, Bolivia. **Ecological Economics**, v. 65, p. 675-684, 2008.

ASQUITH, N.; WUNDER, S. **Payments for watershed services: the Bellagio conversations**. Santa Cruz de la Sierra, Bolívia: Fundación Natura, 2008.

BDMG – Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais. **Minas Gerais do século XXI**. Desenvolvimento Sustentável: apostando no futuro. Vol. 7. Belo Horizonte-MG: Editora Rona Ltda., 2002. 238 p. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/ /minasinvest/volume-7-desenvolvimento-sustentavel>>. Acesso em: 11 Maio 2009.

BORN, R. H.; TALOCCHI, S. Compensações por Serviços Ambientais: sustentabilidade ambiental com inclusão social. In: _____. **Proteção do capital social e ecológico por meio de Compensações por Serviços Ambientais (CSA)**. São Paulo-SP: Vitae Civilis, 2002, p. 27-45.

BRASIL. **Lei nº 4.771/1965**, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 1965.

BRASIL. **Lei nº 9.433/1997**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 1997.

BURSTEIN, J.; MENDOZA, G. C.; AGUILAR, J.; LEÓN, E. **Informe sobre la propuesta de Pago por Servicios Ambientales en México**. 2002. In: ROSA, H.; KANDEL, S. Fundación FORD e PRISMA. Disponível em: <http://www.undp.org/cu/eventos/aprotegidas/Pago_Serv_Amb_Mexico_Fund_Ford.pdf>. Acesso em: 12 Maio 2009.

CARDOSO, A. R. A. **A degradação ambiental e seus valores econômicos associados**. Porto Alegre-RS: Sérgio Antônio Fabris Editor, 2003. 96 p.

CORBERA, E.; SOBERANIS, C. G.; BROWN, K. Institutional dimensions of Payments for Ecosystem Services: An analysis of Mexico's carbon forestry programme. **Ecological Economics**, v. 68, Issue 3, p. 743-761. Jan. 2009.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, v. 65, p. 663-674, 2008.

ESPÍRITO SANTO. **Lei nº 8.960/2008**, de 18 de julho de 2008. Dispõe sobre a criação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo - Fundágua. Vitória- ES: Governo do Estado, 2008.

ESPÍRITO SANTO. **Lei nº 8.995/2008**, de 22 de setembro de 2008. Institui o Programa de Pagamento por Serviços Ambientais – PSA e dá outras providências. Vitória-ES: Governo do Estado, 2008.

EXTREMA-MG. **Lei nº 2.100/2005**, de 21 de dezembro de 2005. Cria o Projeto Conservador das Águas, autoriza o executivo a prestar apoio financeiro aos proprietários rurais e dá outras providências. Prefeitura Municipal de Extrema-MG. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Programa-Conservador-Aguas_Extrema-MG.pdf>. Acesso em: 10 Maio 2009.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazônica**, Manaus-AM, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FUNDAÇÃO O BOTICÁRIO. **Projeto Oásis**. Disponível em: <http://internet.boticario.com.br/portal/site/fundacao/menuitem.e747c775b885c43fe4e25afce2008a0c?epi_menuGrafico=Sobre_Fundacao&IDNoticia=881186110a281210VgnVCM1000006f04650aRCRD>. Acesso em: 13 Set. 2009.

ISAKSON, R. S. **Payments for environmental services in the catskills: a socioeconomic analysis of the agricultural strategy in New York City's watershed management plan**. Ford Foundation y Fundación Prisma, 2002.

JANTZI, T.; SCHELHAS, J.; LASSOIE, J. P. Environmental values and forest patch conservation in a rural Costa Rican community. **Agriculture and Human Values**, v. 16, p. 29-39, 1999.

KITAMURA, P. C. **Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais: métodos, problemas e perspectivas**. Jaguariúna-SP: Embrapa Meio Ambiente, 2003. Disponível em: <www.agencia.cnptia.embrapa.br>. Acesso em: 30 Abr. 2008.

MAYRAND, K.; PAQUIN, M. **Pago por servicios ambientales**: estudio y evaluación de esquemas vigentes. Informe presentado por: Unisféra International Centre. 2004. 65 p. Disponível em: <http://www.cec.org/files/pdf/ECONOMY/PES-Unisfera_es.pdf>. Acesso em: 18 Maio 2009.

MEJÍA, J. W. A. **Planificación del manejo de los recursos naturales con base en los servicios ambientales prioritarios en la subcuenca del Lago de Yojoa, Honduras**. 2005. 65 f. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Florestas Tropicais e Biodiversidade) – Escuela de Posgrado, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

MINAS GERAIS. **Lei nº 17.727/2008**, de 14 de Agosto de 2008. Dispõe sobre a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de Bolsa Verde, para os fins que especifica, e altera as Leis nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre as políticas florestais e de proteção da biodiversidade no Estado. Belo Horizonte-MG: Governo do Estado.

MINAS GERAIS. **Decreto nº 45.113**, de 5 de junho de 2009. Estabelece normas para a concessão de incentivo financeiro a proprietários e posseiros rurais, sob a denominação de Bolsa Verde, de que trata a Lei nº 17.727, de 13 de agosto de 2008. Belo Horizonte-MG: Governo do Estado.

MONTES CLAROS-MG. **Lei nº 3.545/2006**, de 12 abril de 2006. Estabelece política e normas para o ECOCRÉDITO no Município de Montes Claros, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.montesclaros.mg.gov.br/publica_legais/leis_pdf/leis_2006/abr-06/lei_3545_06.pdf>. Acesso em: 25 Maio 2009.

PAGIOLA, S. Payments for environmental services in Costa Rica. **Ecological Economics**, v. 65, p. 712-724, 2008.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of natural resources and the environment**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1990. 378 p.

SIENA, O. Método para avaliar desenvolvimento sustentável: técnicas para escolha e ponderação de aspectos e dimensões. **Produção**, v. 18, n. 2, p. 359-374, 2008.

SILVA, L. F. **Índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISAGRI): uma proposta metodológica**. 2007. 234 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2007.

YOUNG, C. E. F. **Pagamento por Serviços Ambientais**. Pólo de Excelência em Florestas. Centro de Inteligência em Florestas. Sociedade Brasileira de Silvicultura. Disponível em: <www.ciflorestas.com.br/conteudo.php?id=633>. Acesso em: 5 Maio 2009.

2. CONCLUSÃO GERAL

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Os estoques de carbono e a produção de água nas propriedades rurais estudadas são considerados importantes parâmetros para valoração econômica dos serviços ambientais prestados nessas propriedades.

- Os estoques médios de biomassa e de carbono encontrados nos fragmentos florestais foram de 119,44 e 59,72 t.ha⁻¹, respectivamente. Estes valores foram superiores àqueles encontrados em áreas ocupadas por gramíneas. Nestas áreas, os estoques médios de biomassa e de carbono foram de 7,74 e 3,87 t.ha⁻¹, respectivamente.

- As áreas de floresta, além da biodiversidade apresentada, promovem o serviço ecossistêmico de fixação e estocagem de carbono com maior intensidade, beneficiando a sociedade como um todo.

- Os dados florísticos indicaram que as áreas estudadas devem ser valorizadas, visto que apresentam grande diversidade de espécies arbóreas, dentre as quais se destacaram *Dalbergia nigra* e *Ocotea odorífera*, espécies que se encontram na lista oficial de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção.

- As nascentes localizadas nas dez propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo produzem em média 65.375,16 m³.ano⁻¹ de água e consomem em média 1.635,59 m³.ano⁻¹.

- As propriedades rurais estudadas são autossuficientes no que diz respeito à produção de água, e se apresentam como grandes produtoras de água para a Bacia

Hidrográfica do Rio Turvo Limpo e, conseqüentemente, para a Bacia Hidrográfica do Rio Doce-MG/ES.

- O Método da Matriz de Valoração de Danos Ambientais pode ser adaptado para estimativa de valores de referência para os serviços ambientais.

- Os valores médios atribuídos aos serviços ambientais prestados nas propriedades rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Turvo Limpo foram de R\$1.395,29.(ha.ano)⁻¹ no cenário 1 (valor da água referente à cobrança pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul) e de R\$2.117,86.(ha.ano)⁻¹ no cenário 2 (valor da água referente ao Pagamento por Serviços Ambientais utilizado em Apucarana-PR).

- O aprimoramento da Matriz de Valoração através da técnica Delphi gerou novos valores estimados por área da propriedade rural de R\$402,18.(ha.ano)⁻¹ no cenário 1 (água valorada conforme preço da cobrança pelo uso da água na Bacia do Rio Paraíba do Sul) e de R\$517,78.(ha.ano)⁻¹ no cenário 2 (metodologia de pagamento por serviços hidrológicos em Apucarana-PR).

- Esses valores não são estáticos e servem como referência para adoção de políticas públicas de proteção ambiental que devem garantir a qualidade do meio ambiente.

- Entretanto, a simples valoração não significa o sucesso da implantação dos sistemas de incentivo ambiental. Para que isso ocorra é necessário haver o envolvimento de todos os atores que participarão desse processo, e certamente os benefícios serão notados por ambos produtores rurais e consumidores de serviços ambientais.

- Ao efetivar um sistema de incentivo à preservação ambiental incorporam-se os recursos naturais ao sistema econômico e minimizam-se os efeitos da utilização indiscriminada dos bens e serviços fornecidos pelo meio ambiente.

3. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Acredita-se que este trabalho tenha contribuído para a discussão sobre a valoração econômica de serviços ambientais como base para implantação de sistemas de incentivo à proteção ambiental. Entretanto, recomenda-se algumas ações futuras:

- Realização de trabalhos participativos que contemplem consultas aos produtores rurais para avaliação dos critérios e indicadores utilizados na matriz de valoração econômica de benefícios ambientais.

- Avaliação da aplicabilidade do método da Matriz de Valoração Econômica de Benefícios Ambientais.

- Avaliação e monitoramento das possíveis mudanças ambientais e sociais decorrentes da implantação dos sistemas de Pagamento por Serviços Ambientais.

- Avaliação de mais parâmetros de qualidade da água para monitoramento do manejo adotado nas propriedades rurais estudadas.

- Monitoramento do incremento de carbono nas Áreas de Preservação Permanente estudadas.

ANEXOS

ANEXO A

Tabela 1A – Tarifas de cobrança por metro cúbico de água do Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Viçosa-MG (SAAE) para abastecimento domiciliar de água tratada

Faixa de Consumo (m³)	Residência Social (R\$/m³)	Residencial (R\$/m³)	Comercial (R\$/m³)	Industrial (R\$/m³)
01 – 10	0,237	0,565	0,870	1,390
11 – 15	0,355	0,565	0,870	1,390
16 – 20	1,492	1,492	0,870	1,390
21 – 25	1,966	1,966	0,870	1,390
26 – 30	2,158	2,158	0,870	1,390
31 – 40	2,373	2,373	2,373	1,390
41 – 50	2,565	2,565	2,565	1,390
51 – 60	2,780	2,780	2,780	1,390
61 – 75	2,780	2,780	2,780	2,780
76 – 100	2,950	2,950	2,950	2,950
101 – 200	3,040	3,040	3,040	3,040
> 201	3,175	3,175	3,175	3,175

ANEXO B

ROTEIRO DA CONSULTA AOS ESPECIALISTAS

Na sua opinião, qual o grau de importância de cada um dos indicadores abaixo descritos para a determinação do valor econômico de serviços ambientais prestados por produtores rurais, visando o estabelecimento de sistemas de pagamento por serviços ambientais? Favor atribuir um valor de 0 a 10 para cada serviço ambiental (ar, solo, água e biodiversidade) e para cada indicador destes serviços.

Tabela 1B – Grau de importância dos serviços ambientais e seus respectivos indicadores utilizados na matriz de valoração

Serviço Ambiental	Grau médio de Importância	Indicadores	Grau médio de Importância
Qualidade do ar	7,07	Presença de florestas	9,40
		Curva de nível	7,27
Conservação do Solo	8,33	Cordão de contorno	6,93
		Bacia de captação	7,27
		Presença de Erosão	8,20
		Condutividade da água	7,53
Qualidade da Água	9,00	pH da água	8,27
		Turbidez da água	9,07
		Coliformes totais presentes na água	8,93
		Índice de Shannon-Weaver (H')	6,80
Biodiversidade	7,67	Espécies ameaçadas de extinção	8,47

Considerando outros indicadores para determinação de valores a serem pagos em sistemas de pagamento por serviços ambientais, qual o percentual de redução neste valor para produtores que:

- usam agrotóxicos em suas propriedades rurais:
- não residem na propriedade rural:
- não possuem fonte de renda exclusiva da atividade rural, ou seja, possuem fontes alternativas de renda:
- residem em propriedades rurais consideradas médias ou grandes (> 30 ha):

Você sugere algum outro indicador a ser considerado na valoração econômica de serviços ambientais? Quais são eles?

ANEXO C

CÁLCULOS DA ETAPA DE PONDERAÇÃO DA MATRIZ DE VALORAÇÃO

$$fp = \frac{7,07 * QAR + 8,33 * CONS + 9,00 * QAGUA + 7,67 * BIO}{91,74}$$

em que

fp = fator de ponderação

QAR = qualidade do ar;

CONS = conservação do solo;

QAGUA = qualidade da água; e

BIO = biodiversidade.

$$QAR = 9,4 * PFL$$

em que

PFL = quantificador da presença de florestas;

$$CONS = \frac{7,27 * CN + 6,93 * CC + 7,27 * BC + 8,20 * ERO}{29,67}$$

em que

CN = quantificador da presença de curva de nível;

CC = quantificador da presença de cordão de contorno;

BC = quantificador da presença de bacias de captação; e

ERO = quantificador da presença de erosão.

$$QAGUA = \frac{7,53 * COND + 8,27 * PH + 9,07 * TURB + 8,93 * CT}{33,80}$$

em que

COND = quantificador da condutividade elétrica da água;

PH = quantificador do pH da água;

TURB = quantificador da turbidez da água; e

CF = quantificador dos coliformes totais presentes na água.

$$BIO = \frac{6,80 * H' + 8,47 * EEx}{15,27}$$

em que

H' = quantificador para o Índice de Shannon-Weaver; e

EEx = quantificador para as espécies ameaçadas de extinção.

Os fatores de multiplicação dos serviços ambientais e de seus indicadores são resultantes do grau de importância atribuído pelos especialistas consultados aos parâmetros avaliados (Tabela 3 – 4º artigo).

- Exemplo de cálculo para a propriedade 1:

Tabela 1C – Valores dos quantificadores atribuídos aos serviços ambientais prestados na propriedade 1

Serviço Ambiental	Indicadores	Quantificadores
Qualidade do ar	Presença de florestas (PFL)	3
Conservação do Solo	Curva de nível (CN)	0
	Cordão de contorno (CC)	0
	Bacia de captação (BC)	0
	Presença de erosão (ERO)	2
Qualidade da Água	Condutividade (COND)	4
	pH	3
	Turbidez (TURB)	4
	Coliformes Totais (CF)	3
Biodiversidade	Índice de Shannon-Weaver (H')	1
	Espécies ameaçadas de extinção (EEx)	2
Somatório in		22

$$QAR = 9,4 * 3 \rightarrow QAR = 28,2$$

$$CONS = \frac{7,27 * 0 + 6,93 * 0 + 7,27 * 0 + 8,20 * 2}{29,67} \rightarrow CONS = 0,55$$

$$QAGUA = \frac{7,53 * 4 + 8,27 * 3 + 9,07 * 4 + 8,93 * 3}{33,80} \rightarrow QAGUA = 3,49$$

$$BIO = \frac{6,80 * 1 + 8,47 * 2}{15,27} \rightarrow BIO = 1,55$$

$$fp = \frac{7,07 * 28,2 + 8,33 * 0,55 + 9,00 * 3,49 + 7,67 * 1,55}{91,74} \rightarrow fp = 2,69$$

- Regra de Três Simples

fp - %

4 - 100

2,69 - 67,4 %

- Somatório *in* ponderado = 67,4% de 22

- Somatório *in* ponderado para Propriedade 1 = 14,83

ANEXO D

Tabela 1D – Roteiro contendo princípios, critérios e indicadores para avaliação de serviços ambientais prestados em propriedades rurais

Critério	Indicador	Verificador		
Princípio 1 –Caracterização Ambiental: Qualidade do Ar				
Critério 1: O proprietário deve manter áreas de floresta conservada na propriedade rural de forma a garantir a estabilidade do clima	Indicador 1.1. Porcentual de floresta na propriedade		%	
	Indicador 1.2. Área de reserva legal conservada e protegida	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.3. APP no entorno de nascentes preservada e protegida (50 m de raio com vegetação)	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.4. APP de topo de morro preservada e protegida	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.5. APP em declividades > 45° preservada e protegida	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.6. APP em várzeas preservada e protegida	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.7. Áreas de florestas excedentes à APP e Reserva Legal	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.8. Estágio sucessional das áreas de mata nativa	Inicial	Médio	Avançado
Critério 2: O proprietário pratica atividades de alto impacto ambiental	Indicador 2.1. Não produz carvão	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.2. Não possui serraria	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.3. Não possui mineração ou cascalheira	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.4. Não possui suinocultura, nem granja	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.5. Não realiza queimadas de resíduos vegetais	Sim	Não	Não se aplica

Continua...

Tabela 1D, Cont.

Critério	Indicador	Verificador		
Princípio 2 – Caracterização Ambiental: Conservação do Solo				
Critério 1 - O proprietário rural deve adotar um manejo da propriedade de forma a manter a conservação do solo	Indicador 1.1. Presença de curva nível	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.2. Presença de cordão de contorno	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.3. Utilização de cultivo mínimo	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.4. Ausência de erosão	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.5. Não realiza queimadas	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.6. Não utiliza herbicidas para controle de plantas daninhas	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.7. Percentual de ocupação da propriedade com culturas temporárias		%	
	Indicador 1.8. Percentual de utilização da propriedade com culturas permanentes		%	
	Indicador 1.9. Percentual de áreas de pastagem na propriedade		%	
	Indicador 1.10. Presença de árvores nas áreas de pastagem na propriedade	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.11. Pastagem conservada	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.12. Presença de bacias de captação de água de chuva	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.13. Manejo agroecológico	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.14. Destino adequado do lixo inorgânico	Sim	Não	Não se aplica

Continua...

Tabela 1D, Cont.

Critério	Indicador	Verificador		
Princípio 3 – Caracterização Ambiental: Qualidade da Água				
Critério 1 – Qualidade da água	Indicador 1.1. Condutividade elétrica da água, $C < 100 \mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C^*	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.2. pH da água entre 6,0 e 9,0*	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.3. Turbidez (T) da água, $T < 90,0 \text{ UNT}^*$	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.4. Coliformes totais (CT) presentes na água, $\text{CT} < 1000^*$	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.5. Presença de fossa séptica	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.6. Lixo nos cursos d' água	Sim	Não	Não se aplica
Critério 2 – O proprietário deve adotar medidas para proteção dos cursos d' água e nascentes em sua propriedade	Indicador 2.1. Presença de nascentes	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.2. Nascente protegida	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.3. Presença de cursos d' água	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.4. Curso d' água protegido	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.5. Não utiliza herbicida	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.6. Não utiliza inseticidas e fungicidas	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.7. Não despeja nenhum tipo de esgoto ou resíduo nos cursos d' água	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.8. Gado não acessa os cursos d' água	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.9. Vazão dos cursos d' água			l/s
Princípio 4 – Caracterização Ambiental: Biodiversidade				
Critério 1 – Diversidade de espécies vegetais existentes na propriedade rural	Indicador 1.1. Índice de Shannon-Weaver (H'), $3,8 \leq H' < 4,2^{**}$	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.2. Espécies raras ou ameaçadas de extinção.	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.3. Diversificação de culturas agrícolas	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.4. Presença de espécies nobres	Sim	Não	Não se aplica

Continua...

Tabela 1D, Cont.

Critério	Indicador	Verificador		
Princípio 5 – Obediência à Legislação Ambiental				
Critério 1 – Demonstração dos direitos de posse da terra	Indicador 1.1. Possui escritura e registro do imóvel rural	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.1. Licenciamento para implantação de empreendimentos (granja, suinocultura,...)	Sim	Não	Não se aplica
Critério 2 – Demonstração do cumprimento das leis ambientais	Indicador 2.2. Presença de Reserva Legal	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.3. Área de reserva legal averbada	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.4. Autorização para exploração florestal	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.5. Outorga de uso da água ou de uso insignificante	Sim	Não	Não se aplica
Princípio 6: Caracterização Socioeconômica				
Critério 1 – Tamanho da propriedade rural	Indicador 1.1. Pequena propriedade rural (< 50 hectares)	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.2. Propriedade rural média (50 - 100 hectares)	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.3. Grande propriedade rural (> 100 hectares)	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 1.4. Família reside na propriedade rural	Sim	Não	Não se aplica
Critério 2 – Renda do produtor rural	Indicador 2.1. Renda exclusiva da atividade rural	Sim	Não	Não se aplica
	Indicador 2.2. Trabalhadores rurais são membros da família	Sim	Não	Não se aplica

* Parâmetros desejados para enquadramento dos cursos d'água nas classes 1 ou 2.

** Índice de Shannon-Weaver (H') significativo para a Zona da Mata de Minas Gerais. Floresta Estacional Semidecidual.