

Estimativas de cargas poluidoras difusas em bacias hidrográficas, com ênfase nas cargas geradas para o parâmetro fósforo

Estimation of nonpoint pollution loads in watersheds with emphasis on the loads generated for the parameter phosphorus

Diego Magalhães Borges Santanna*
Antonio Sérgio Ferreira Mendonça**

Resumo

Este trabalho tem por objetivo contribuir para a compreensão da problemática da qualidade de água relacionada com fontes de poluição difusa. Foi usado o modelo ArcView Generalized Watershed Loading Function (AVGWLF) para demonstração das cargas de fósforo total simuladas em um microbacia rural, localizada no município de Aracruz, estado do Espírito Santo. Foram gerados mapas (formatos “shape” e “grid”) tais como: uso e ocupação do solo, tipos de solos, malha hídrica, concentração de fósforo total no solo, entre outros, usados como arquivos de entrada do modelo. Também foram construídos 4 cenários sobre o uso e ocupação do solo, sendo um preexistente (mata+eucalipto) e 3 hipotéticos (pastagem, café e solo descoberto), considerando o período entre 1998 e 2002. Os resultados foram separados por períodos secos (abril a setembro) e períodos chuvosos (outubro a março), e comparados com os dados de chuva mensal de estação pluviométrica localizada próxima à região de estudo. O parâmetro MU_AWC (capacidade de retenção de água no solo) apresenta forte influência na geração de carga de fósforo total nas águas subterrâneas, nas simulações, sendo que o aumento do valor do parâmetro reduz a carga simulada. Os resultados simulados pelo modelo para as cargas mensais de fósforo total acompanham as variações sazonais pluviométricas. As cargas simuladas de fósforo total variam quantitativamente na seguinte ordem crescente, considerando os cenários de uso do solo: mata+eucalipto, pastagem, café e, por último, solo descoberto.

Palavras-chave: Fósforo. Poluição Difusa. Uso e Ocupação do Solo.

Abstract

Water is an essential factor in the formation and maintenance of life. However, the water sources have suffered a strong impact on the quantitative and qualitative aspects. This paper aims at contributing to the understanding of the water quality

* Professor Titular do Instituto Federal Fluminense, câmpus Campos-Guarus, Campos dos Goytacazes, RJ, Brasil. Mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitória, ES, Brasil. E-mail: santannaborjes@gmail.com.

** Professor Titular do DEA/CT/UFES, Vitória, ES, Brasil. Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos pela Colorado State University, CSU, Estados Unidos. E-mail: anserfm@terra.com.br.

problem related to nonpoint pollution sources. ArcView Generalized Watershed Loading Function (AVGWLF) model was used to demonstrate the phosphorus loads generated in an experimental watershed. Maps were created such as: land use and land cover, soil types, rivers, phosphorus concentration in the soil, among others, used as input files of the model. Four scenarios of land use and land cover were also created, namely, native and eucalyptus forest, pasture, coffee and bare soil and then the loads of phosphorus generated for each scenario were compared between 1998 and 2002. The parameter MU_AWC has a strong influence on the generation of the phosphorus load in groundwater, in simulations, because the increase of the parameter value reduces the simulated load. The results simulated by the model for the monthly charges follow seasonal variations in rainfall. The simulated values of phosphorus vary quantitatively in the following order, considering the scenarios of land use: native and eucalyptus forest, pasture, coffee and bare soil.

Key words: Phosphorus. Nonpoint Pollution. Land use and land cover.

Introdução

Branco (1991) relata que a água desempenha funções fisiológicas fundamentais, como: dissolver e diluir todos os componentes solúveis que entrem no organismo; constituir veículo de elementos e compostos a serem excretados; regular a temperatura corporal pelo processo de absorção de calor. O autor descreve que nenhum outro solvente possui, considerando as temperaturas e pressões normais de nosso planeta, propriedades físicas, químicas e físico-químicas tão compatíveis com os processos biológicos terrestres.

Entretanto, cada dia tem se percebido o comprometimento dos recursos hídricos nos quesitos quantitativos e qualitativos. Quantitativo, pois há um crescente desmatamento, bem como a construção de barragens e canais tecnicamente e ambientalmente inadequados, alterações no regime hídrico e de oferta de água. Qualitativo, devido a lançamento de efluentes industriais e domésticos e de compostos carregados no solo pelas chuvas até aos corpos d'água, os quais alteram significativamente os aspectos físicos, químicos e bacteriológicos, ocasionando o comprometimento para abastecimento urbano e industrial ou outros usos.

Silva (2003) cita que, apesar dos esforços feitos em várias partes do mundo para reverter a degradação da qualidade da água, estes não terão eficácia se não forem definidas estratégias relativas ao uso e ocupação do solo, que apresenta grande influência sobre cenários de poluição.

Dentre os impactos sofridos pelas bacias hidrográficas, os ocasionados pela poluição difusa merecem destaque devido às suas altas complexidades, difíceis delimitações dos locais de origem e trabalhosas quantificações dos poluentes que

ocasionam significativos impactos ambientais. Reimold (1998) relata o notório reconhecimento de que a poluição difusa é a maior contribuinte, quanto aos sedimentos, bactérias e cargas de nutrientes, para os ecossistemas aquáticos.

Mediante a esses cenários, os modelos de qualidade de água e Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) podem ser usados no auxílio à gestão dos recursos hídricos no Brasil e em grande parte no mundo. Considerando a importância das fontes de poluição difusa no comprometimento qualitativo de recursos hídricos, justificam-se estudos relacionados com o uso de ferramentas computacionais que permitam melhor entendimento das relações entre condições de uso e ocupação do solo e a qualidade de água em bacias hidrográficas.

Essas ferramentas têm como fundamentos a utilização de bases de dados, modelos matemáticos e a facilidade do diálogo entre usuário e computador e, sendo assim, podem contribuir para uma melhor compreensão do comportamento dos sistemas de recursos hídricos em seus aspectos quali-quantitativos, para o aprimoramento e a implementação de modelos utilizados na análise de outorga de direitos de uso da água no Brasil.

O presente estudo busca contribuir para a compreensão a respeito da modelagem de qualidade de água relacionada com fontes difusas, especificadamente do parâmetro fósforo total, do modelo ArcView Generalized Watershed Loading Function (AVGWLF), e das dificuldades encontradas na sua aplicação em bacias brasileiras, considerando a carência de informações a respeito de características relativas a bacias hidrográficas.

Métodos e Materiais

A microbacia estudada neste trabalho está inserida na área da antiga empresa Aracruz Celulose S.A. (hoje conhecida como Fibria), sendo localizada na costa do estado do Espírito Santo, no município de Aracruz, pertencendo à bacia hidrográfica do Córrego Guaxindiba e apresentando as seguintes coordenadas geográficas: latitudes: entre 19° 51' 16" S e 19° 52' 18" S e longitudes: entre 40° 13' 15" W e 40° 11' 44" W (ARACRUZ, 1995).

A implantação da referida bacia ocorreu em 1994, possuindo área aproximada de 286 ha, sendo que 190 ha destinados a plantações de eucalipto e 86 ha recobertos por remanescentes de floresta da Mata Atlântica em estágio avançado e médio de regeneração. Os 10 ha restantes pertencentes a estradas vicinais não pavimentadas. Atualmente, por diversas questões, esta microbacia encontra-se desativada.

A versão utilizada do AVGWLF foi a 7.2.0, elaborada pelo Penn State Institute of Energy and the Environment (PSIEE), ligado à Universidade da Pensilvânia, EUA. O download foi feito a partir do site www.avgwlf.psu.edu. Na Figura 1 é apresentada a página principal do software AVGWLF com os dados georreferenciados da bacia em estudo. Clicando no link "GWLF" foi acessado o módulo do Generalized Watershed Loading Function (GWLF) para realização da modelagem propriamente dita, a partir dos dados inseridos (Figura 1).

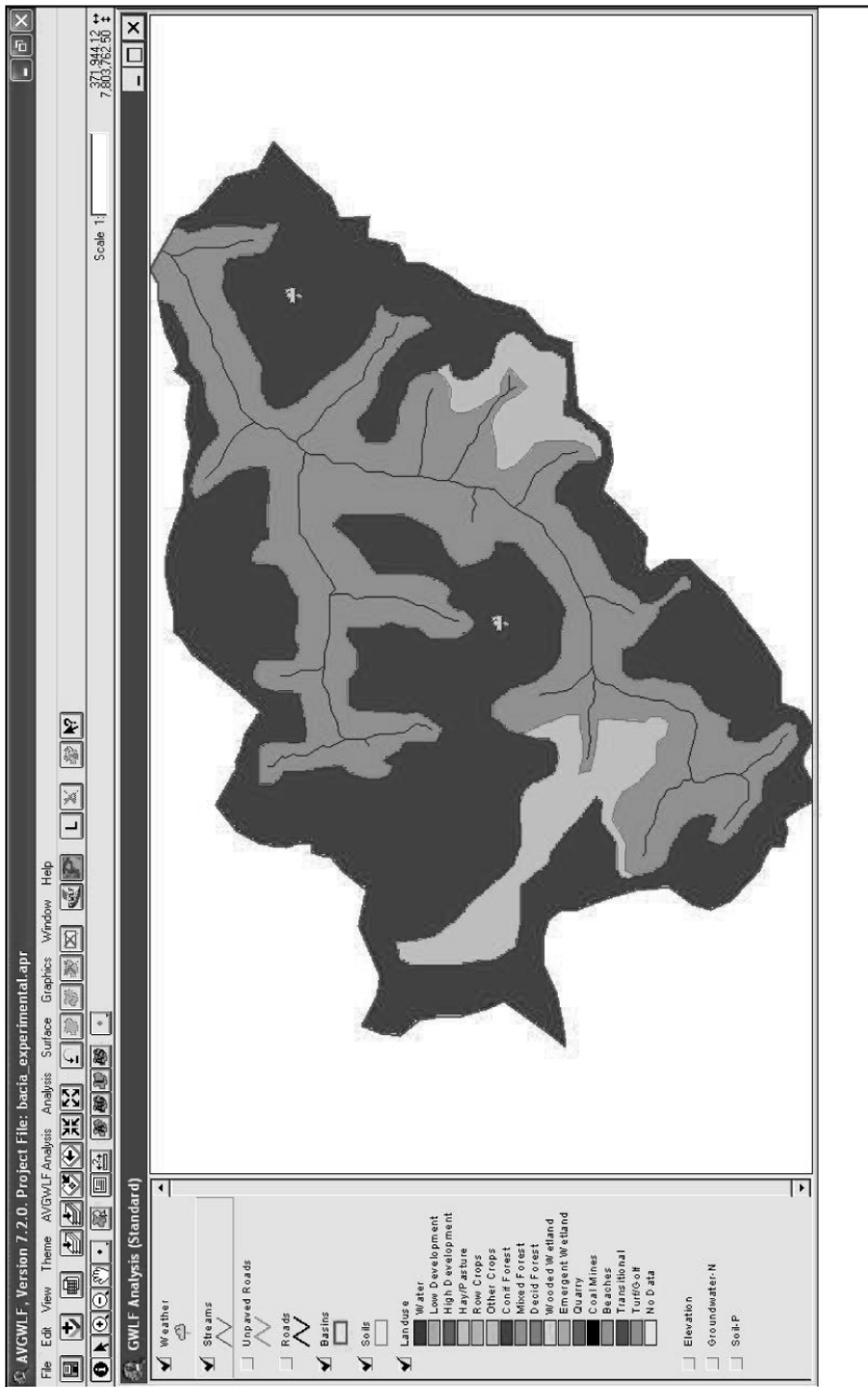


Figura 1: Vista da página principal do software AVGWLIF com os dados georreferenciados da bacia experimental

Para entrada de dados no modelo foi necessária, primeiramente, a construção de mapas temáticos georreferenciados. Para isto, utilizou-se o *software* ArcView, versão 3.2, o mesmo utilizado como plataforma para funcionamento do AVGWLF.

Construções dos mapas temáticos da microbacia em estudo

As camadas georreferenciadas construídas para desenvolver o presente estudo foram: estações climatológicas, bacia hidrográfica, rios, vias não pavimentadas, tipo de solo, uso do solo, Modelo Digital de Elevação (MDE) e fósforo total no solo. Essas camadas foram criadas usando funções do *software* ArcView 3.2, tais como digitalização e vetorização de mapas, alimentação de informações nas tabelas de atributos e conversão de alguns tipos de arquivos.

Simulações para diferentes cenários de uso e ocupação do solo

Para análise da influência do uso e ocupação do solo sobre as concentrações de fósforo total nos corpos hídricos, foram criados 3 cenários hipotéticos. Foram analisados 4 cenários para uso e ocupação do solo. No primeiro cenário, optou-se pela digitalização e vetorização do mapa existente, que apresentava parte da área ocupada por eucalipto e outra parte ocupada por floresta nativa em estágio avançado de regeneração. Para o segundo, criou-se um cenário hipotético que considerou toda a área da bacia experimental ocupada por pastagem. No terceiro cenário idealizou-se que toda a área fosse ocupada por cultivo de café. No quarto cenário, também imaginário, foi considerado que a área não tivesse qualquer tipo de vegetação, ou seja, que o solo estivesse totalmente descoberto. Os valores para a tabela de atributos (ArcView 3.2), para cada mapa em formato *grid*, foram 4 (pastagem), 5 (café), 7 (eucalipto), 8 (mata) e 15 (solo descoberto). Vale ressaltar que estes valores (4, 5, 7, 8 e 15) não são fatores multiplicadores das cargas de nutrientes gerados, sendo, tão somente, números identificadores para cada tipo de uso de solo.

No modelo utilizado, os resultados foram separados relativos aos períodos secos (abril a setembro) e períodos chuvosos (outubro a março) e confrontados com as precipitações mensais da estação pluviométrica gerenciada pela ANA, a mesma utilizada na modelagem, porém para o período entre 1998 e 2002. Gráficos de barras foram elaborados para se mostrarem os resultados obtidos.

Resultados e Discussão

Mapas gerados

A seguir serão apresentados alguns mapas confeccionados.

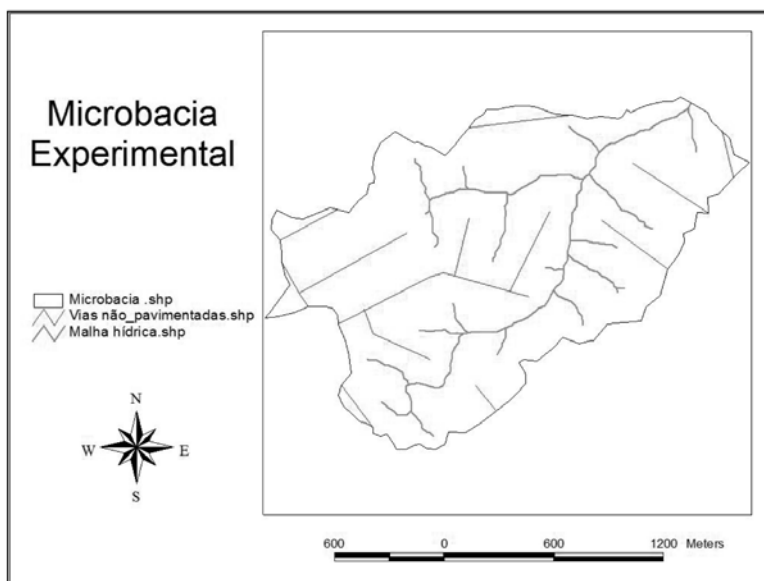


Figura 2: Mapa da microbacia experimental contendo informações como córregos existentes e vias não pavimentadas

A área total da microbacia estudada é de, aproximadamente, 286 ha, possuindo ainda, 5.476 m de estradas vicinais não pavimentadas. A malha hídrica da área de estudo está em torno de 7.900 m.

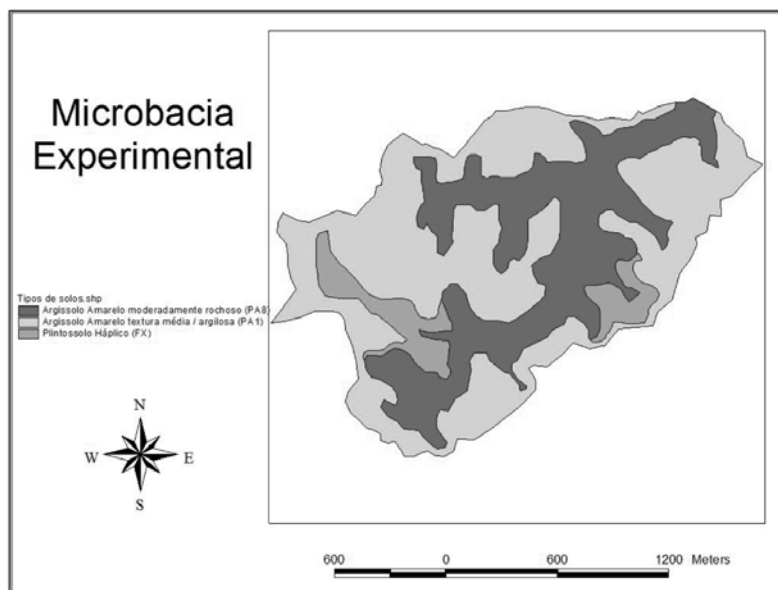


Figura 3: Mapa da microbacia experimental contendo informações sobre o tipo de solo encontrado na região

O solo predominante na área de estudo é o Argissolo Amarelo de textura média/ argilosa (PA1), seguido do Argissolo Amarelo moderadamente rochoso (PA8), e por último o Plintossolo Háptico (Fx).

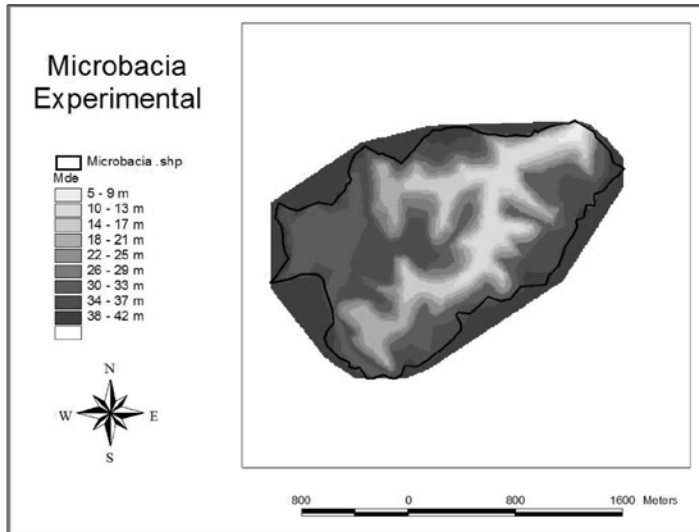


Figura 4: Mapa da microbacia experimental mostrando o Modelo Digital de Elevação (MDE)

Com a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE), foi possível visualizar que as cotas do solo na área de estudo podem variar de 5 m a 42 m, ou seja, não possuindo áreas com grandes altitudes.

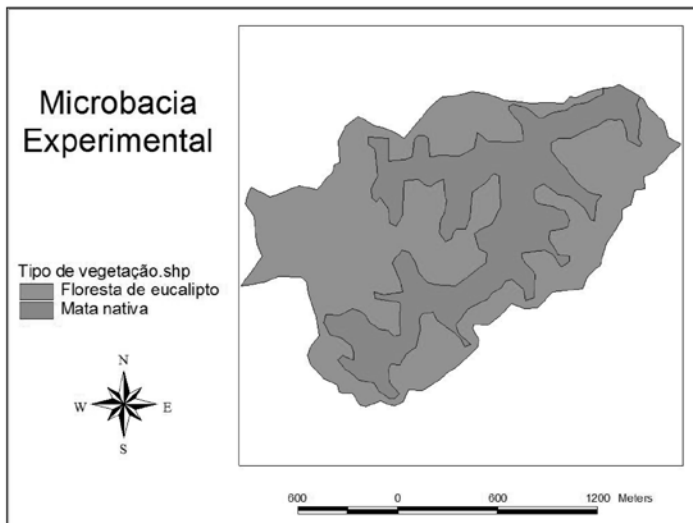


Figura 5: Mapa da microbacia experimental contendo informações sobre uso e ocupação do solo

No original, a área de estudo possuía uma distribuição vegetacional próxima à apresentada na Figura 5. A predominância era a ocupação por eucaliptos, com 190 ha, seguido por mata nativa em estágio secundário de formação, com 85 ha.

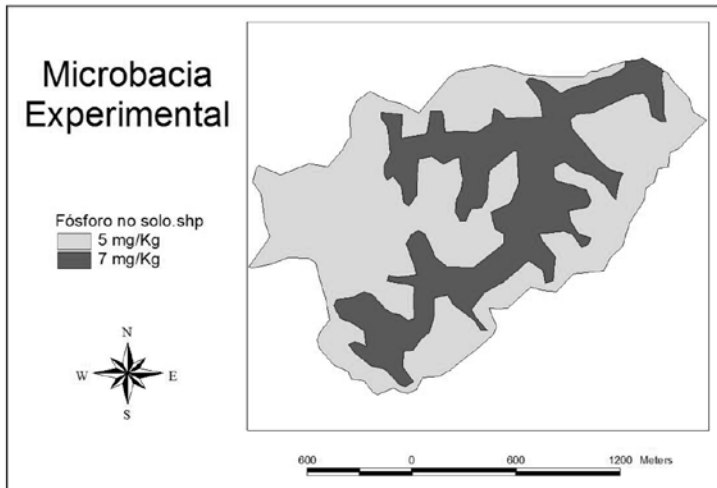


Figura 6: Mapa da microbacia experimental contendo informações sobre a concentração de fósforo total no solo

De acordo com os dados de monitoramento do solo apresentados por Martins (2005), foi elaborado o mapa contendo as concentrações médias aproximadas de fósforo no solo na microbacia em estudo. Segundo o autor, foram encontrados valores médios de fósforo total no solo para mata nativa e floresta de eucalipto de 7mg/kg e 5mg/kg, respectivamente.

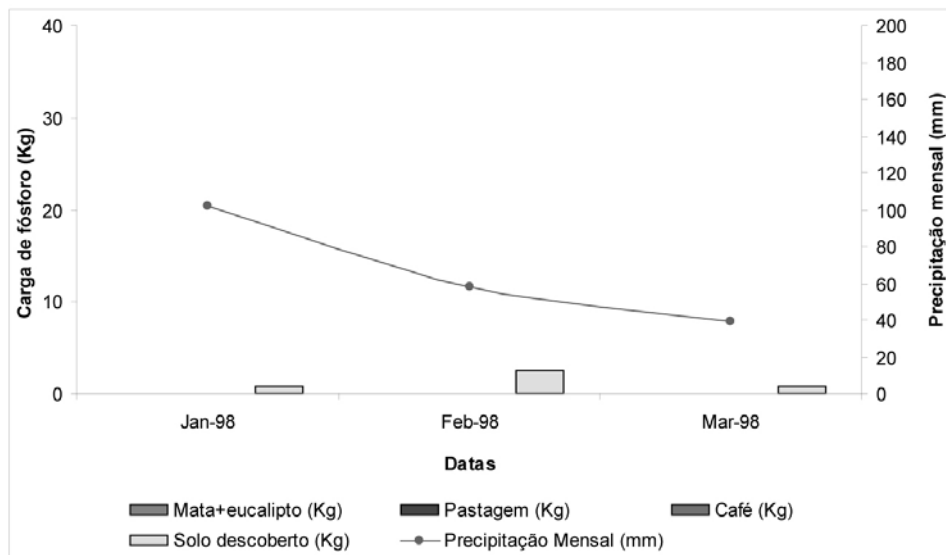
Construções dos cenários

São mostrados nas figuras 7 a 17, os resultados das simulações feitas para os 4 cenários, sendo um preexistente (mata+eucalipto) e 3 hipotéticos (pastagem, café e solo descoberto), para o período entre os anos de 1998 e 2002, na microbacia em estudo. Os resultados foram separados por estações secas (abril a setembro) e estações chuvosas (outubro a março), e confrontados com os dados de chuva mensal retirados da estação pluviométrica usada na referida modelagem.

Na Tabela 1 são apresentadas as cargas de fósforo totais geradas para os 4 cenários criados. A soma das cargas no período de jan/08 a mar/08 foram de 0, 0, 0,04 kg e 4,08 kg para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, respectivamente. A precipitação pluviométrica acumulada para o período foi de, aproximadamente, 199,0 mm. Na figura 7, observa-se que a carga que mais se evidencia para o período é a gerada pelo cenário de solo descoberto.

Tabela 1: Valores das cargas de fósforo total simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período chuvoso

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Jan-98	0,00	0,00	0,00	0,81	102,00
Feb-98	0,00	0,00	0,04	2,45	57,80
Mar-98	0,00	0,00	0,00	0,82	39,50
Soma Parcial	0,00	0,00	0,04	4,08	199,30
Média Parcial	0,00	0,00	0,01	1,36	66,43
Desv. Padrão	0,00	0,00	0,02	0,94	32,13

**Figura 7:** Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período chuvoso

No período entre abril/98 e set/98 as somas das cargas de fósforo foram 0, 0, 0,07 kg e 1,21 kg para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, respectivamente (Tabela 2). A soma das precipitações registradas para o período foi de 125,0 mm. Pela figura 8 é possível observar que para este período entre abril/98 e set/98, o índice pluviométrico não possui significativa influência sobre as cargas de fósforos simuladas.

Tabela 2: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período seco

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Apr-98	0,00	0,00	0,07	1,11	28,60
May-98	0,00	0,00	0,00	0,09	4,00
Jun-98	0,00	0,00	0,00	0,01	13,00
Jul-98	0,00	0,00	0,00	0,00	39,20
Aug-98	0,00	0,00	0,00	0,00	7,90
Sep-98	0,00	0,00	0,00	0,00	32,40
Soma Parcial	0,00	0,00	0,07	1,21	125,10
Média Parcial	0,00	0,00	0,01	0,20	20,85
Desv. Padrão	0,00	0,00	0,03	0,45	14,45

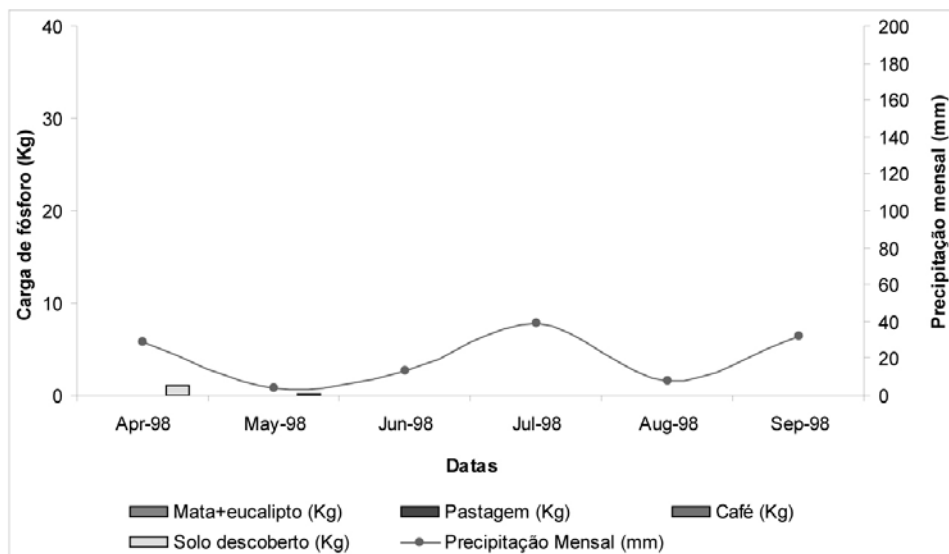
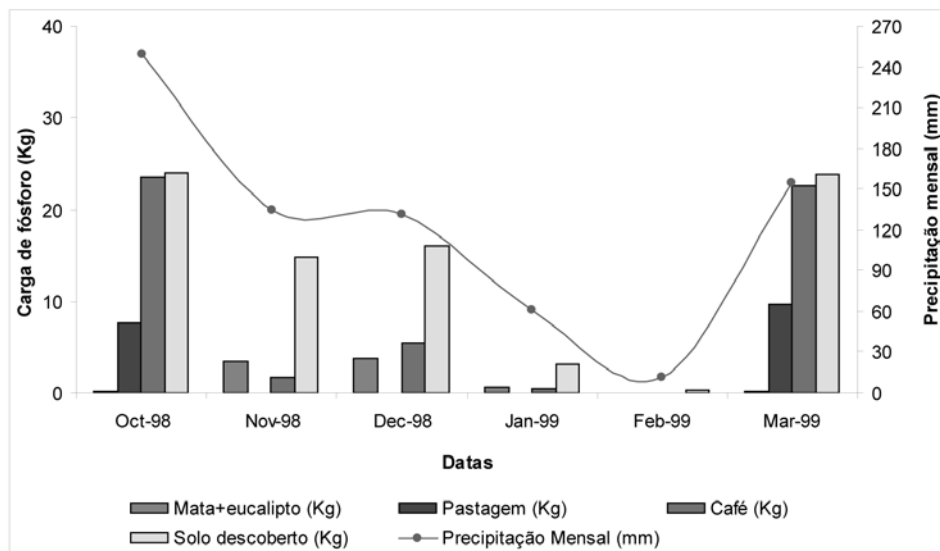


Figura 9: Comparação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período seco

Para o período de out/98 a mar/99 as cargas de fósforo total somadas foram de 8,13 kg, 17,25 kg, 53,57 kg e 82,07 kg, obedecendo a ordem de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto (Tabela 3). O índice pluviométrico no período foi de 741,50 mm. Na Figura 9 é possível visualizar as cargas geradas para os 4 cenários simulados. Para o período entre outubro/1998 e março/1999, a carga simulada para o cenário de solo descoberto se sobrepõe às demais cargas simuladas. Os índices de chuva acompanham, significativamente, as cargas de fósforo simuladas.

Tabela 3: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período chuvoso

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Oct-98	0,14	7,65	23,56	23,95	249,40
Nov-98	3,47	0,00	1,67	14,83	134,00
Dec-98	3,81	0,00	5,40	16,01	130,90
Jan-99	0,57	0,00	0,42	3,17	60,50
Feb-99	0,02	0,00	0,02	0,28	11,8
Mar-99	0,12	9,60	22,50	23,83	154,90
Soma Parcial	8,13	17,25	53,57	82,07	741,50
Média Parcial	1,36	2,88	8,93	13,68	123,58
Desv. Padrão	1,78	4,50	11,09	10,05	81,79

**Figura 9:** Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período chuvoso

Na Tabela 4 são mostradas as cargas de fósforo simuladas para o período seco, compreendido entre os meses de abril/99 a set/99. As somas das cargas simuladas foram 0,55 kg, 38,24 kg, 57,82 kg e 46,88 kg, respectivamente, para mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto. A soma das precipitações para o período foi de 314,30 mm. Pela figura 10, observa-se que em julho/1999, ocorreu um pico nas cargas de fósforo simuladas, sendo que foram acompanhadas pelo índice pluviométrico mensal. Neste mês, a carga simulada para o cenário café, superou as cargas para solo descoberto e pastagem.

Tabela 4: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período seco

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Apr-99	0,00	0,00	0,00	0,72	32,60
May-99	0,00	0,00	0,00	0,04	38,80
Jun-99	0,55	38,24	57,82	44,60	154,00
Jul-99	0,00	0,00	0,00	1,33	45,10
Aug-99	0,00	0,00	0,00	0,18	25,70
Sep-99	0,00	0,00	0,00	0,01	18,10
Soma Parcial	0,55	38,24	57,82	46,88	314,30
Média Parcial	0,09	6,37	9,64	7,81	52,38
Desv. Padrão	0,22	15,61	23,60	18,03	50,68

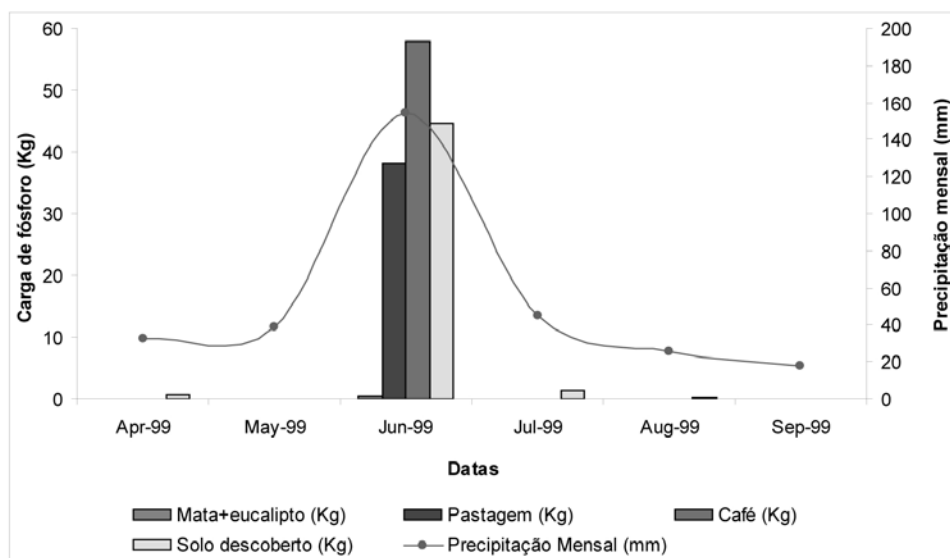
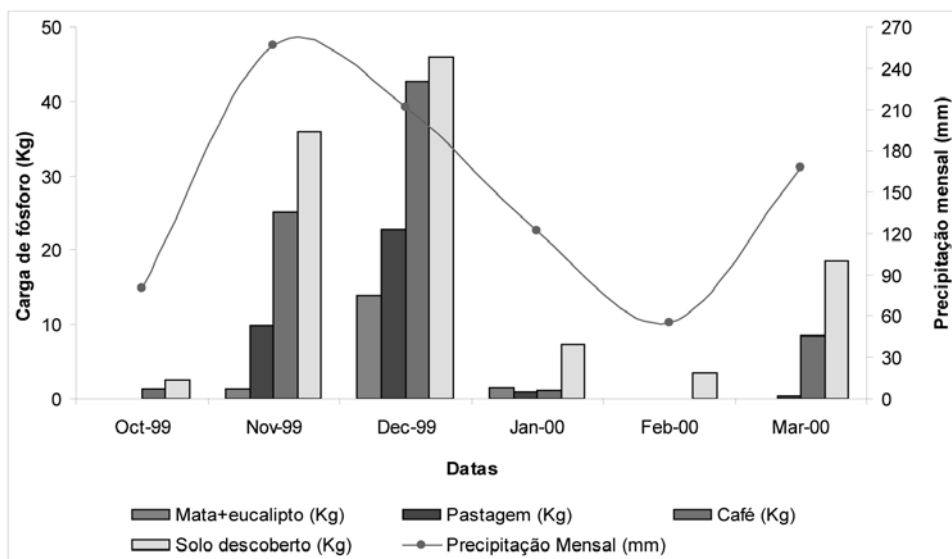


Figura 10: Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período seco

Na Figura 11 são apresentados as cargas de fósforo simuladas para mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, com valores de 16,82 kg, 34,10 kg, 78,73 kg e 113,56 kg, respectivamente, para o período chuvoso, compreendido entre outubro/99 e março/00. A soma das precipitações para este período foi de 892,30 mm. Pela Figura 11, pode ser observado que as cargas de fósforo simulada para os 4 cenários se concentram, principalmente, nos meses de novembro/1999 e dezembro/1999, sendo que foi obedecida a seguinte ordem crescente quantitativa dos cenários: mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto. Novamente para este período, os índices de chuva acompanham a geração das cargas de fósforo total simuladas para os quatro cenários.

Tabela 5: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período chuvoso

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Oct-99	0,00	0,00	1,39	2,57	80,4
Nov-99	1,29	9,79	25,06	35,82	256,20
Dec-99	13,99	22,87	42,68	46,01	211,20
Jan-00	1,48	1,01	1,15	7,28	122,10
Feb-00	0,06	0,04	0,04	3,41	55,00
Mar-00	0,00	0,39	8,41	18,47	167,40
Soma Parcial	16,82	34,10	78,73	113,56	892,30
Média Parcial	2,80	5,68	13,12	18,93	148,72
Desv. Padrão	5,52	9,23	17,27	18,24	77,41

**Figura 11:** Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período chuvoso

Na Tabela 6 é mostrada a soma das cargas do parâmetro fósforo, obedecendo a sequência de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, com valores 2,01 kg, 17,11 kg, 39,25 kg e 53,17 kg, respectivamente. A precipitação total para o período foi de 420,50 mm. Pela figura 12, as cargas de fósforo total simuladas para os 4 cenários se concentraram nos meses de abril/2000 e setembro/2000, os quais foram os meses que tiveram os mais altos índices pluviométricos para este período seco.

Tabela 6: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período seco

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Apr-00	1,73	9,87	18,94	25,08	118,90
May-00	0,19	0,00	0,00	0,83	16,60
Jun-00	0,01	0,00	0,00	0,72	51,50
Jul-00	0,00	0,00	0,00	2,68	50,30
Aug-00	0,00	0,00	0,00	0,26	30,70
Sep-00	0,08	7,24	20,31	23,60	152,50
Soma Parcial	2,01	17,11	39,25	53,17	420,50
Média Parcial	0,34	2,85	6,54	8,86	70,08
Desv. Padrão	0,69	4,50	10,14	12,03	53,52

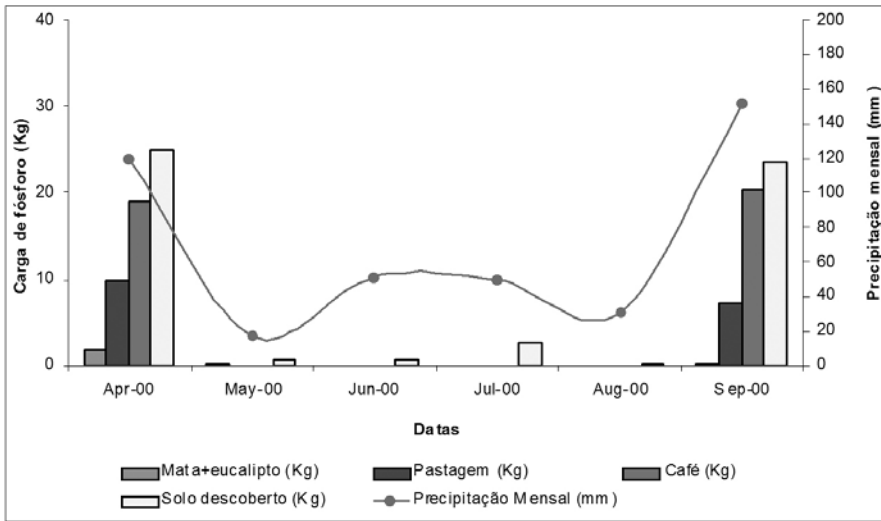
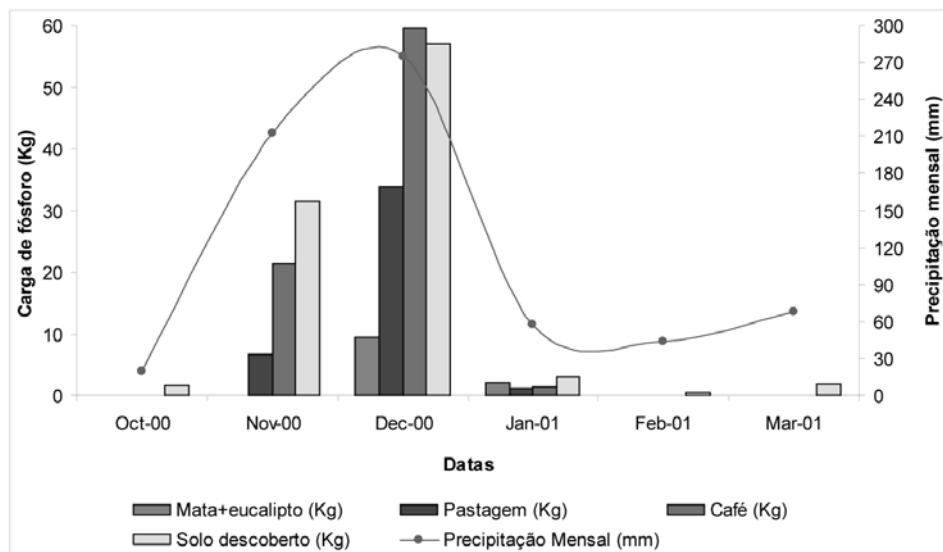


Figura 12: Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período seco

Na Tabela 7 é apresentado o gráfico que mostra as cargas de fósforo total simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, apresentando valores de 11,71 kg, 41,82 kg, 82,42 kg e 95,40 kg, respectivamente, para o período chuvoso entre out/00 e mar/01. As somas das precipitações para o período foram de 675,60 mm. Na Figura 13, os picos de carga de fósforo total simulada ocorreram, quantitativamente, na ordem decrescente, nos meses de dezembro/2000, novembro/2000 e janeiro/2001, acompanhados da evolução dos registros pluviométricos.

Tabela 7: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período chuvoso

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Oct-00	0,00	0,00	0,00	1,64	20,10
Nov-00	0,08	6,77	21,45	31,59	212,70
Dec-00	9,44	33,87	59,61	57,01	274,20
Jan-01	2,11	1,14	1,31	2,91	57,20
Feb-01	0,08	0,04	0,05	0,36	43,9
Mar-01	0,00	0,00	0,00	1,89	67,5
Soma Parcial	11,71	41,82	82,42	95,40	675,60
Média Parcial	1,95	6,97	13,74	15,90	112,60
Desv. Padrão	3,76	13,44	24,01	23,44	104,42

**Figura 13:** Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período chuvoso

Na Tabela 8 são apresentadas as cargas de fósforo total para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, possuindo valores de 0, 0, 1,71 kg e 18,49 kg, respectivamente, para o período seco, compreendido entre abril/01 e set/01. A precipitação total registrada para o período foi de 395,90 mm. Na Figura 14, vê-se que para o período citado, o cenário de solo descoberto apresenta carga de fósforo total significativa, seguido do cenário de café. Neste período, as evoluções pluviométricas não acompanharam, significativamente, as cargas de fósforo simuladas.

Tabela 8: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período seco

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Apr-01	0,00	0,00	0,00	0,40	33,8
May-01	0,00	0,00	1,71	3,64	104,9
Jun-01	0,00	0,00	0,00	6,67	62,2
Jul-01	0,00	0,00	0,00	0,73	11,9
Aug-01	0,00	0,00	0,00	1,34	82,7
Sep-01	0,00	0,00	0,00	5,71	100,4
Soma Parcial	0,00	0,00	1,71	18,49	395,90
Média Parcial	0,00	0,00	0,29	3,08	65,98
Desv. Padrão	0,00	0,00	0,70	2,68	37,29

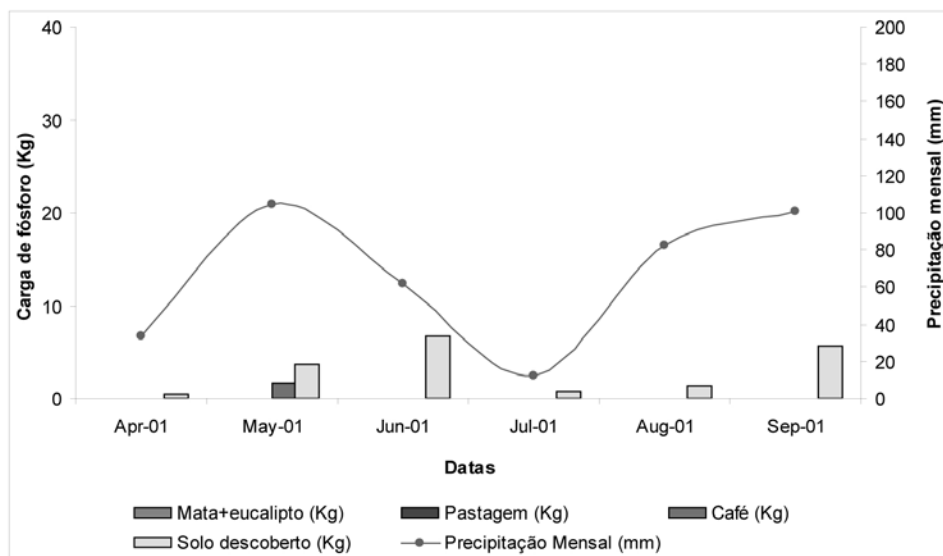
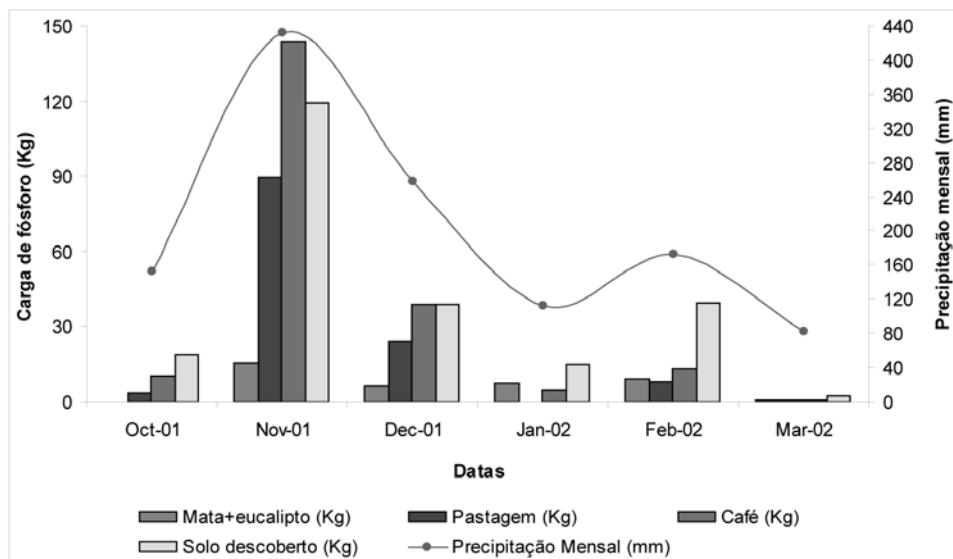


Figura 14: Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período seco

Na Tabela 9, é possível visualizar as cargas geradas pelos cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, tendo valores de 38,51 kg, 125,33 kg, 211,58 kg e 232,96 kg, respectivamente, para o período entre outubro/01 e março/02. A soma da precipitação foi de 1206,40 mm. Vale ressaltar que tanto a precipitação como as cargas de fósforo simuladas, ambos tiveram no mês de novembro/2001, os maiores picos para todo o período analisado (Figura 15). Isso possibilita o entendimento de que o aumento da precipitação pluviométrica pode possuir forte influência na geração de cargas de fósforo, para qualquer um dos cenários em análise.

Tabela 9: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período chuvoso

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Oct-01	0,04	3,69	10,27	18,87	151,6
Nov-01	15,14	89,33	143,86	118,94	430,80
Dec-01	6,30	23,98	39,02	38,90	258,40
Jan-02	7,33	0,15	4,66	14,77	111,4
Feb-02	9,03	7,76	13,33	39,14	171,80
Mar-02	0,67	0,42	0,44	2,34	82,4
Soma Parcial	38,51	125,33	211,58	232,96	1206,40
Média Parcial	6,42	20,89	35,26	38,83	201,07
Dev. Padrão	5,61	34,67	54,89	41,78	127,66

**Figura 15:** Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período chuvoso

Os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto apresentaram valores de 0,06 kg, 2,93 kg, 12,43 kg e 28,65 kg, respectivamente, para o período seco entre abril/02 e setembro/02, conforme mostrado na Tabela 11. A soma da precipitação para este período foi de 431,70 mm. Conforme mostrado na Figura 16, em setembro/2002 foi obtida a maior carga de fósforo simulada para os 4 cenários analisados, sendo que os índices de chuva acompanharam o crescimento das cargas.

Tabela 10: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período seco

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Apr-02	0,03	0,02	0,02	2,29	92,50
May-02	0,00	0,00	0,00	4,25	38,20
Jun-02	0,00	0,00	0,00	0,48	42,60
Jul-02	0,00	0,00	0,00	0,88	16,30
Aug-02	0,00	0,00	0,00	1,05	78,50
Sep-02	0,03	2,91	12,41	19,70	163,60
Soma Parcial	0,06	2,93	12,43	28,65	431,70
Média Parcial	0,01	0,49	2,07	4,78	71,95
Desv. Padrão	0,02	1,19	5,06	7,44	52,84

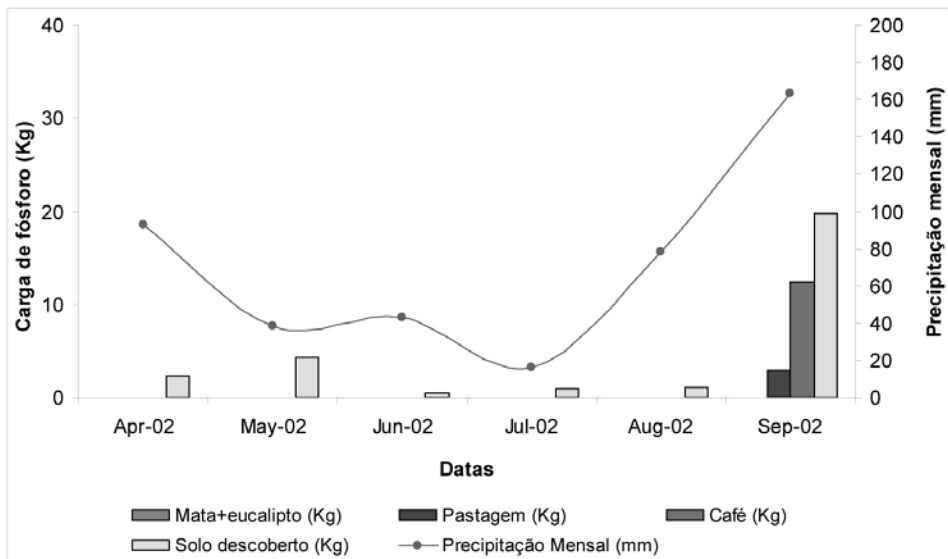
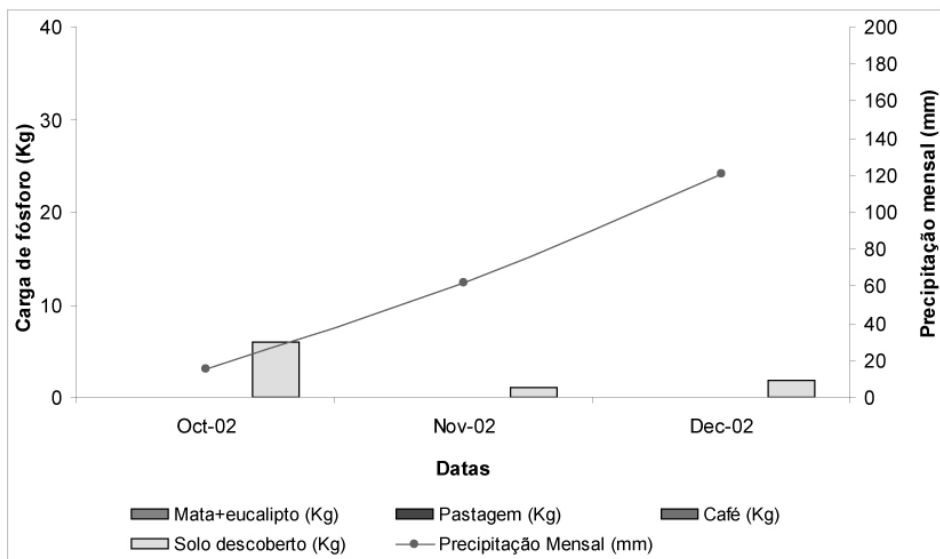


Figura 16: Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período seco

Por final, na Figura 17 são apresentados os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, com valores de 0, 0, 0,12 kg e 8,83 kg, respectivamente, para o último trimestre de 2002. A soma da precipitação para esse período foi de 197,10 mm. Na Figura 17, observa-se que as cargas de fósforo total simuladas aqui não acompanharam, significativamente, os índices pluviométricos.

Tabela 11: Valores das cargas de fósforo simuladas para os cenários de mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto, considerando o período chuvoso

Datas	Mata+eucalipto (Kg)	Pastagem (Kg)	Café (Kg)	Solo descoberto (Kg)	Precipitação Mensal (mm)
Oct-02	0,00	0,00	0,00	5,93	15,10
Nov-02	0,00	0,00	0,06	1,02	61,7
Dec-02	0,00	0,00	0,06	1,88	120,3
Soma Parcial	0,00	0,00	0,12	8,83	197,10
Média Parcial	0,00	0,00	0,04	2,94	65,70
Desv. Padrão	0,00	0,00	0,03	2,62	52,71

**Figura 17:** Confrontação das cargas de fósforo geradas para os 4 cenários criados com os registros pluviométricos para o período chuvoso

Conclusão

Este trabalho teve por objetivo principal, contribuir para o entendimento da problemática da poluição difusa na geração de cargas de nutrientes. Foi usado o modelo ArcView Generalized Watershed Loading Function (AVGWLF) para demonstração das cargas de fósforo geradas em um microbacia experimental, para 4 cenários de uso e ocupação do solo. Algumas conclusões podem ser tiradas:

- O parâmetro MU_AWC apresenta forte influência na geração de carga de fósforo nas águas subterrâneas, nas simulações. Aumento do valor do parâmetro reduz a carga simulada.

- Os resultados simulados pelo modelo para as cargas mensais de fósforo acompanham as variações sazonais pluviométricas. Os valores simulados de fósforo variam quantitativamente na seguinte ordem crescente, considerando os cenários de uso do solo: mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto.
- Os resultados simulados pelo modelo para as cargas mensais de fósforo acompanham as variações sazonais pluviométricas. Os valores simulados de fósforo variam quantitativamente na seguinte ordem crescente, considerando os cenários de uso do solo: mata+eucalipto, pastagem, café e solo descoberto.
- Os resultados das simulações mostraram a grande influência do uso e ocupação do solo sobre as concentrações fósforo.
- Os resultados obtidos com o uso do modelo devem ser usados com reservas, devido às grandes simplificações realizadas na modelagem e as dificuldades de obtenção dos parâmetros representativos de bacias hidrográficas.
- Recomenda-se a realização de monitoramentos extensivos, em bacias experimentais, para definição de parâmetros a serem utilizados no modelo, no Brasil, para condições tropicais.
- O modelo não deve ser utilizado caso seja necessária precisão nas previsões de concentrações de fósforo. Contudo, o modelo pode ser muito útil, em termos qualitativos, para comparações entre concentrações previstas para diferentes sub-bacias e definição de prioridades de ações para controle de poluição e eutrofização de lagos e reservatórios.

Referências

ARACRUZ. Projeto monitoramento de microbacia. Relatório anual das atividades realizadas em 1994. Aracruz. ES. 1995. 176 p.

BRANCO, S. M. Hidrologia ambiental. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. São Paulo. SP: Editora da Universidade de São Paulo, 1991

REIMOLD, R. J. Watershed Management: Practice, Policies and Coordination. New York: McGraw-Hill, 1998.

SILVA, A. L. A utilização do modelo WinHSPF no estudo das cargas difusas de poluição da bacia do Ribeirão da Estiva, SP. 2003. Dissertação – (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, 2003.