

IV-101 - ANÁLISE DO IMPACTO DA ATIVIDADE AGRÍCOLA SOBRE O APORTE DE FÓSFORO NAS ÁGUAS

Claudia Maria Gomes de Quevedo⁽¹⁾

Doutoranda em Saúde Pública pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo - USP. Analista do Núcleo de Gestão Ambiental do Médio Tietê da Superintendência de Gestão Ambiental da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP.

Wanderley da Silva Paganini

Professor Associado do Departamento de Saúde Ambiental da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo - USP. Superintendente de Gestão Ambiental da Diretoria de Tecnologia, Empreendimentos e Meio Ambiente da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP.

Endereço⁽¹⁾: Rua Dr. Costa Leite, 2000 – Vila Guimarães - Botucatu – São Paulo - SP - CEP: 18606-720 - Brasil - Tel: (14) 3811-8313 - e-mail: claugomes@usp.br

RESUMO

O controle do aporte de fósforo tem sido considerado, cada vez mais, de grande importância para a gestão da qualidade das águas. Atentos a essas questões, diversos países buscam reduzir os impactos das atividades humanas sobre as fontes de fósforo e diminuir os níveis de eutrofização dos corpos d'água através da aplicação de medidas voltadas para a redução da quantidade de tripolifosfato de sódio (STPP) utilizada nos detergentes em pó, planejamento da melhoria gradativa na eficiência dos sistemas de tratamento dos esgotos domésticos, fiscalização dos despejos industriais e adoção de processos de produção agrícola mais controlados e sustentáveis. Face ao exposto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar informações sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente e os impactos da atividade agrícola para aumento da concentração de fósforo nas águas. Visando contribuir para uma melhor visualização do assunto, incorporando-o na realidade do Estado de São Paulo, efetua-se um estudo de caso sobre o rio Tietê. Os resultados obtidos demonstram a importância da introdução ferramentas para gerenciamento do uso do fósforo em áreas cultivadas, especialmente pelo controle da utilização de fertilizantes, de forma a minimizar seus impactos sobre os recursos hídricos e garantir as condições ambientais e de saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: Atividade agrícola, fósforo, fertilizantes, qualidade das águas e meio ambiente.

INTRODUÇÃO

Classificado como um macronutriente primário, o fósforo é considerado um elemento vital para o funcionamento dos sistemas biológicos de todos os organismos vivos.

Para o crescimento vegetal, condições limitantes de fósforo resultam em baixo desenvolvimento das raízes e reduzido nível de brotação. A aplicação de fósforo no solo oferece condição mais balanceada de desenvolvimento, garantindo maior produtividade e, por consequência, maior lucratividade. (STAUFER e SULEWSKI, 2004)

LANTMANN e CASTRO (2004) citando Malavolta (1978) acrescentam que, no caso da soja, por exemplo, que é atualmente a principal cultura consumidora de fertilizante fosfatado no Brasil, a falta desse nutriente compromete a produtividade de forma absoluta, não permitindo o seu crescimento e alterando todos os processos metabólicos.

Entretanto, a utilização de fertilizantes nas áreas cultivadas, apesar de essencial para a garantia da produtividade agrícola, pode contribuir para a deterioração da qualidade dos recursos hídricos, acelerando o processo de eutrofização, ou fertilização das águas. Além disso, previsões a respeito do possível esgotamento das fontes de fósforo no meio ambiente e à impossibilidade de sua substituição por outro elemento químico disponível, têm promovido debates a respeito da necessidade de desaceleração no ritmo de exploração de suas fontes naturais, com vistas à preservação do ciclo do nutriente.

O uso criterioso da adubação fosfatada e a adoção de medidas visando a recuperação do nutriente surgem, assim, como medidas para a diminuição dos seus efeitos indesejados no meio ambiente e para maior eficiência no aproveitamento dos recursos naturais; o aprofundamento dos estudos relacionados à utilização de fósforo pelas plantas caminha de forma paralela à necessidade de controle da quantidade de fósforo lançada nos corpos d'água.

Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é apresentar informações sobre o elemento químico fósforo e sua presença nos solos. Efetua-se uma avaliação do potencial de contribuição das áreas cultivadas para o aporte de fósforo nas águas, utilizando o rio Tietê como estudo de caso. Busca-se demonstrar a importância de seu correto manejo para a melhoria da qualidade das águas e proteção do meio ambiente.

O CICLO DO FÓSFORO

Ao contrário do nitrogênio, cujo reservatório é o ar, a fonte de fósforo na natureza é a litosfera, fazendo parte do denominado ciclo sedimentar. Sua liberação natural ocorre principalmente por meio das erosões do solo, num processo lento em que parte do fosfato é transportada para a hidrosfera, meio onde pode sedimentar-se ou ser utilizado pelos seres vivos. (BRANCO e ROCHA, 1987; DERÍSIO, 2000; BRAGA et al., 2002)

O fósforo contido no solo, tanto na forma orgânica como inorgânica, é utilizado pelas plantas e posteriormente consumido por todos os animais; o retorno do fósforo sedimentado nos rios e mares ocorre também muito lentamente, principalmente através dos peixes e aves marinhas. (MACRAE et al., 1993)

O transporte através das águas é parte fundamental do ciclo do fósforo, correspondendo à forma predominante com que o fosfato se move através do meio ambiente. Seu comportamento em rios e reservatórios relaciona-se diretamente com o nível das contribuições, ou seja, com a intensidade das fontes, sejam elas naturais ou artificiais.

As fontes naturais estão relacionadas principalmente com as cargas difusas, como os processos erosivos da bacia de contribuição, a decomposição dos organismos aquáticos e vegetais que compõem as matas ciliares e o intemperismo das rochas, além das trocas entre o sedimento e a coluna d'água.

No entanto, em bacias mais desenvolvidas economicamente, a presença de fósforo nas águas está mais relacionada com as fontes denominadas artificiais ou antrópicas. Nesses locais, apesar de ocorrer o aporte de fósforo por influência dos processos naturais, estima-se que as fontes artificiais sejam sensivelmente mais importantes e, dentre essas fontes, destacam-se os esgotos domésticos, os efluentes industriais e o escoamento superficial de áreas cultivadas. (ESTEVES, 1988; CHAVE, 1997; PIVELLI E KATO, 2005; VON SPERLING, 2005)

A presença de fósforo nas águas está relacionada com a eutrofização, processo que corresponde às alterações qualitativas e quantitativas da produtividade biológica de um corpo hídrico em decorrência da introdução em excesso de nutrientes.

Os principais efeitos da eutrofização, relatados por TUNDISI (2003), referem-se à redução dos níveis de oxigênio, com consequente mortalidade de peixes, crescimento de algas, elevação na concentração de matéria orgânica, alteração na composição de espécies de peixes e efeitos na saúde humana, crônicos e agudos. Acrescente-se a esses, os efeitos econômicos e sociais, como a deterioração de lagos recreacionais, dificuldades no transporte e aumento nos custos do tratamento da água.

Em um ambiente eutrofizado, a floração de cianobactérias é especialmente perigosa, pois diversas espécies liberam toxinas, causando sérios prejuízos às águas utilizadas para abastecimento público. Foi a presença dessas toxinas que provocou a morte de 40 pacientes de uma clínica de hemodiálise de Caruaru, no estado de Pernambuco, no ano de 1996. (OSÓRIO e OLIVEIRA, 2001)

Nos Estados Unidos, surtos de espécie de alga microscópica, ocorridos no leste do país, estão relacionados à eutrofização. Os danos neurológicos causados nas pessoas expostas ao material altamente tóxico e volátil produzido por essa alga têm aumentado a conscientização pública em relação aos efeitos da presença de nutrientes nas águas e provocado discussões quanto à necessidade de solução. (SHARPLEY et al., 2003)

A ATIVIDADE AGRÍCOLA E PRESENÇA DE FÓSFORO NAS ÁGUAS

Os principais impactos na qualidade das águas associados com a atividade agrícola são decorrentes do transporte da matéria orgânica de origem animal, da utilização de fertilizantes e da ocorrência de processos erosivos. Estima-se que cerca de 80% das perdas de solo em áreas agrícolas estejam relacionados com o carreamento de camadas de solo pelas águas da chuva ou pela irrigação, especialmente quando utilizado o método de irrigação por sulcos. (SHARPLEY et al., 2003)

A contribuição da atividade agrícola para o processo de eutrofização das águas é considerada de difícil quantificação devido ao seu caráter difuso e à existência de alguns fatores que tornam as perdas de nutrientes bastante suscetíveis a variações, como condições hidrológicas, tipos de solo, espécies cultivadas, técnicas agrícolas utilizadas, método de irrigação adotado e manejo de fertilizantes.

Como nos solos o fósforo é um elemento de baixa mobilidade devido aos mecanismos físico-químicos que o atraem para os colóides, é considerado um nutriente de baixo aproveitamento pelas plantas, o que faz com que as quantidades de fertilizantes aplicadas sejam sempre superiores à capacidade de extração do nutriente pelas culturas. Calcula-se que, em áreas cultivadas, um aumento de cerca de 100% na quantidade de fertilizantes utilizada, pode ocasionar um acréscimo de até 80% na concentração de fósforo nas águas. (TAYLOR e KILMER, 1980; AUTOR, 1997)

Estudos efetuados ao longo dos anos apontam que a aplicação contínua e de longo prazo de fertilizantes em quantidades que excedem a necessidade das culturas, aumenta a concentração de fósforo no solo, contribuindo para a ocorrência de perdas.

Testes laboratoriais efetuados em amostras de solo de diversas regiões agrícolas dos Estados Unidos, apresentados no ano de 2000, demonstram que cerca de 53% das áreas agricultáveis daquele país possuem níveis altos de fósforo, requerendo baixa ou ausência de aplicação de fertilizante fosfatado. A maior parte dessas áreas situa-se próxima de locais suscetíveis à eutrofização, como por exemplo a Região dos Grandes Lagos e os mananciais da Costa Leste, conforme Figura 01.

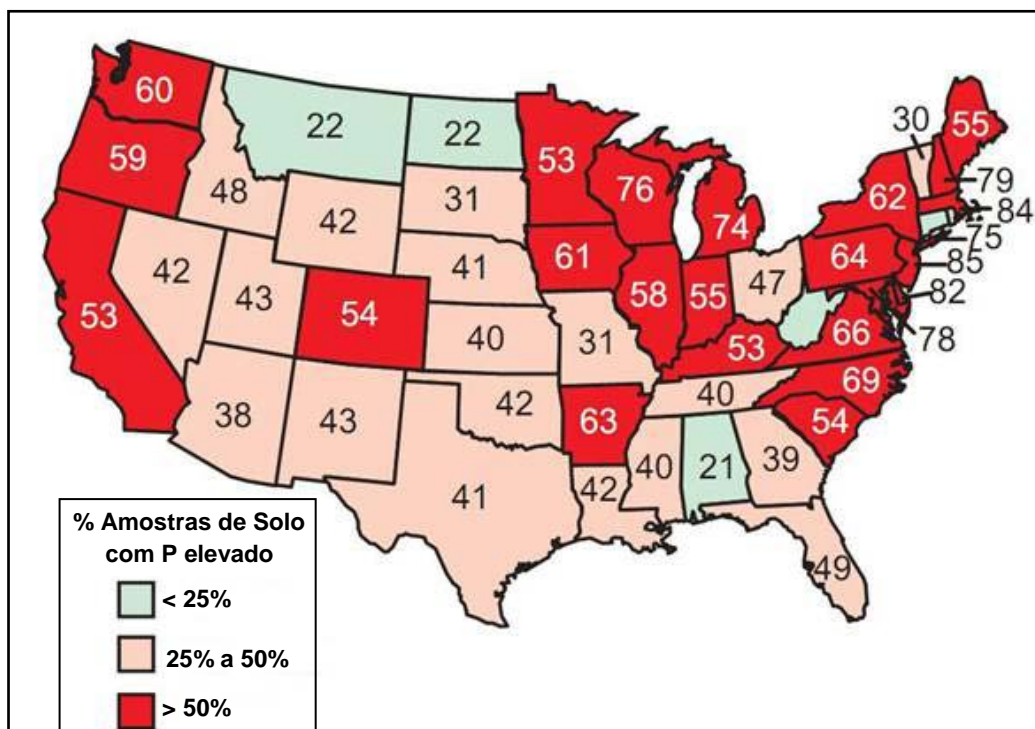


Figura 1: Porcentagem das amostras de solo em áreas agricultáveis com elevada concentração de fósforo – Estados Unidos - ano 2000.

Fonte: Adaptado de SHARPLEY et al. (2003)

O coeficiente de perdas de fósforo em áreas agrícolas é bastante variável, situando-se na faixa de 0,15 a 1,4 kg/ha/ano. (VOLLENWEIDER, 1968; GLENNIE et al., 2002; SHARPLEY et al., 2003)

No Estado de São Paulo, estudos efetuados pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) para a safra dos anos de 1987/1988, concluiu que as perdas potenciais de fósforo em áreas cultivadas podem ser estimadas em 5.045t/ano, o que corresponde a 0,20 kg/ha/ano. Para esse cálculo foram considerados o teor médio natural desse nutriente nos solos do Estado e as quantidades médias adicionadas artificialmente através da aplicação de fertilizantes, totalizando 0,002614%. Tais valores tem como base as perdas de terra decorrentes dos processos erosivos e do escoamento superficial estimadas para aquele período, calculadas em 193 milhões t/ano. (BELLINAZZI Jr et al., 1981)

Através desse trabalho, identifica-se diferenças nas perdas potenciais de fósforo entre as diversas culturas. No caso das culturas anuais, as perdas são estimadas em 0,55 kg/ha/ano; nas temporárias esse valor é de 0,34 kg/ha/ano; nas permanentes, a quantidade de fósforo perdida é estimada em 0,02 kg/ha/ano, conforme se pode visualizar na Tabela 01, a seguir.

Tabela 01: Perdas potenciais de fósforo no Estado de São Paulo, associadas ao uso agrícola.

Cultura	Área (1000 ha)	Perdas Totais de Terra (1000 t/ano)	Perdas Totais de Fósforo (t/ano)	Perdas de Fósforo (kg/ha/ano)
Culturas Anuais				
Algodão	349,25	8.661,40	226,41	0,65
Amendoim	76,63	2.046,02	53,48	0,70
Arroz	271,20	6.807,12	177,94	0,66
Feijão	428,05	16.308,71	426,31	1,00
Milho	1.285,30	15.423,60	403,17	0,31
Soja	534,60	10.745,46	280,89	0,53
Outras	386,95	9.480,28	247,81	0,64
	3.331,98	69.472,58	1.816,01	0,55
Culturas Temporárias				
Cana	2.152,05	26.685,42	697,56	0,32
Mamona	11,96	496,34	12,97	1,08
Mandioca	39,06	1.324,13	34,61	0,89
	2.203,07	28.505,89	745,14	0,34
Culturas Permanentes				
Banana	51,65	46,49	1,22	0,02
Café	732,77	659,49	17,24	0,02
Laranja	786,30	707,67	18,50	0,02
Outras	40,25	36,23	0,95	0,02
	1.610,97	1.449,87	37,90	0,02
Pastagem	10.236,13	4.094,45	107,03	0,01
Reflorestamentos	1.110,35	999,32	26,12	0,02
	11.346,48	5.093,77	133,15	0,01
Vegetação Nativa	1.243,00	497,20	13,00	0,01
Áreas Críticas (Estrada e Periurbana)	562,50	98.437,50	2.573,16	4,57
Outras	4.467,73	4.467,73	116,79	0,03
	6.273,23	103.402,43	2.702,94	0,43
Redução das perdas em função das práticas de controle da erosão (culturas anuais, temporárias e permanentes) - 15%		(-) 14.914,25		
Total das Perdas no Estado de São Paulo	24.765,73	193.010,30	5.045,29	0,20

Fonte: BELLINAZZI Jr et al., 1981; BERTOLINI e LOMBARDI NETO, 1994.

MECANISMOS PARA GERENCIAMENTO E CONTROLE

A partir das décadas de 1960 e 1970, os estudos relativos à disponibilidade de fósforo, à produtividade biológica e à fertilização têm sido aprimorados, uma vez que, na medida em que são aumentados os níveis de eutrofização das águas, se projeta um decréscimo nas reservas mundiais desse nutriente na natureza.

Preocupados com essas questões, diversos países passaram a atuar de forma mais intensiva no controle das fontes urbanas, especialmente através do gerenciamento de sua presença nos esgotos sanitários, através de medidas preventivas, pela redução da quantidade de tripolifosfato de sódio (STPP) presente nos detergentes em pó, e de medidas corretivas, pelo monitoramento dos lançamentos, pela melhoria gradativa e planejada na eficiência dos sistemas de tratamento e pela fiscalização dos lançamentos industriais. (AUTOR, 2009)

Posteriormente, especialmente a partir da década de 1990, passou-se a planejar alternativas para controle do seu aporte em áreas agrícolas através da adoção de processos de produção mais controlados e sustentáveis, uma vez que, em locais onde a atividade agrícola é intensiva, essa é considerada uma importante fonte de fósforo nas águas.

Na Comunidade Européia, a inserção da atividade agrícola e demais impactos difusos na questão do gerenciamento dos recursos hídricos está prevista nas Diretivas nº 271/1991, 676/1991 e 61/1996. A Diretiva nº 60, de 23/10/2000, conhecida como Diretiva-Quadro, une todas as legislações a respeito do assunto e estabelece um quadro jurídico para proteção da água na Europa e garantia de sua utilização sustentável. A partir desta Diretiva, os Estados-Membros passaram a ser obrigados a instituir programas de gerenciamento para cada região hidrográfica, exigindo a aplicação das melhores práticas ambientais. (EC, 2000)

Com base na Diretiva-Quadro, a Irlanda do Norte, por exemplo, que à época possuía 81% do seu território destinado à atividade agrícola, estabeleceu um limite de 25 mg/L para a concentração de fósforo nos solos, permitindo a utilização de fertilizantes quando comprovado, através de testes laboratoriais, que a disponibilidade do nutriente não é suficiente para utilização pela cultura. (GLENNIE et al., 2002; DARDNI, 2008)

Nos Estados Unidos, o Nonpoint Source Management Program, instituído em 1987 como uma emenda do Clean Water Act (CWA), programa federal criado em 1972 com objetivo de proteger as condições físicas, químicas e biológicas das águas, estabelece uma subvenção governamental aos Estados para execução de medidas de educação, assistência técnica, treinamento e transferência de tecnologia para projetos de controle da poluição difusa proveniente de áreas agrícolas. (GILINSKI et al., 2009)

Diversos estados americanos passaram a estabelecer limites para a concentração de fósforo em solos para uso agrícola, fornecendo recomendações quanto ao manejo mais adequado nas bacias hidrográficas de forma a evitar consequências ambientais. No estado de Arkansas, por exemplo, a concentração de fósforo no solo está limitada a 50 mg/L, sendo que acima de 150 mg/L devem ser providenciadas ações de controle, como execução de contenção para movimentos de terra junto aos corpos d'água e cobertura de pastagens com leguminosas para auxiliar na remoção do nutriente. Em Ohio, estado americano localizado junto ao Lago Erie, recomenda-se que não sejam utilizados fertilizantes em solos com concentração de fósforo acima de 40 mg/L. Em Michigan, situado entre os Lagos Michigan e Huron, a adição de fosfato deve ocorrer somente em solos com até 75 mg P/L, de forma controlada. (SHARPLEY et al., 2003)

No Brasil, a questão dos impactos das atividades do homem sobre a ciclagem do fósforo e seus efeitos no meio ambiente está direcionada para o seu controle em áreas urbanas, através da discussão sobre sua presença nos corpos d'água receptores de efluentes, conforme preconizado na Resolução nº 357, de 29/04/2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e pela limitação da presença de fósforo nos detergentes para uso doméstico, conforme previsto na Resolução CONAMA nº 359, 29/04/2005. (AUTOR, 2009)

No que se refere à atividade agrícola, as discussões no país são ainda bastante incipientes, não existindo legislação específica para regulamentação do assunto.

OUTROS ASPECTOS DA DINÂMICA DO FÓSFORO NO MEIO AMBIENTE

A expansão dos conhecimentos sobre a química do fósforo e as descobertas relativas aos campos de aplicação dos fosfatos, intensificaram os níveis de utilização do nutriente em produtos industrializados. Além disso, a ação predadora do homem sobre os animais marinhos, a ocupação desordenada do solo e o desmatamento, tornaram as taxas de retorno do fósforo cada vez mais reduzidas em comparação com as suas perdas.

Tal situação vem desencadeando um processo de reciclagem denominado “acíclico”. Calcula-se que de 2 milhões de toneladas de fósforo que são produzidas atualmente, somente cerca de 60 mil retornam ao meio de origem. (BRANCO e ROCHA, 1987; DERÍSIO, 2000; BRAGA et al., 2002)

Como resultado, previsões são efetuadas a respeito do possível esgotamento das fontes de fósforo no meio ambiente. De acordo com CORDELL (2008), no ritmo atual de exploração e a partir do crescimento populacional previsto, calcula-se que as reservas de rocha fosfática, conhecidas e exploráveis, estejam extintas no período de 50 a 100 anos.

Dados estimados pelo United States Geological Survey (USGS) apontam uma longevidade das reservas de fósforo de 80 a 120 anos, variável de acordo com a melhoria das técnicas de exploração. (LOPES et al., 2004)

Apesar das divergências em relação à quantidade de tempo de duração das reservas de rocha fosfática, percebe-se em todos os casos uma clara tendência de esgotamento caso não sejam adotadas ações para gerenciamento e reaproveitamento do nutriente. As preocupações quanto à possível escassez das reservas de fósforo no meio ambiente e a inexistência de qualquer outro elemento que o substitua nos processos biológicos e na produção vegetal são abordadas por MALAVOLTA (2004, p.36) da seguinte forma:

“O limite de crescimento da humanidade não será ditado pelo esgotamento dos minerais estratégicos ou pelo das reservas de combustíveis fósseis como pretende ou pretendia o Clube de Roma, pois para esses há alternativas técnicas e econômicas. A humanidade poderá crescer enquanto houver no solo fósforo para ser aproveitado e enquanto o homem puder transferir esse elemento da litosfera para a biosfera servindo como comida insubstituível para as plantas e para os animais, pois o fósforo é vida e sem ele teríamos um planeta silencioso.”

Assim, de forma paralela aos diferentes cenários relativos às dimensões, à longevidade das reservas de rocha fosfática nos diferentes países e às perspectivas de exploração frente à crescente demanda, tomam corpo as discussões inerentes ao paradoxo existente entre a essencialidade do nutriente e a sua disponibilidade limitada na natureza. São avaliadas alternativas que promovam a melhoria da qualidade das águas, a garantia da produtividade agrícola e a preservação das fontes de fósforo no meio ambiente, de forma integrada e sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento do presente trabalho, foram inicialmente levantadas informações sobre a dinâmica do fósforo no meio ambiente, seu comportamento nos solos e o potencial de perdas de fósforo na atividade agrícola. Posteriormente, foi efetuada uma análise da evolução dos dados relativos à extensão das áreas cultivadas na bacia hidrográfica do rio Tietê no período de 10 anos, compreendido entre 1998 e 2008, elaborando-se uma estimativa da carga potencial de fósforo lançada nas águas desse rio, a partir das possíveis perdas de terras.

Justifica-se a escolha do Tietê como estudo de caso devido a alguns fatores que lhe conferem características particulares, como a elevada extensão territorial, as extensas faixas de áreas cultivadas, e os contrastes relacionados com a qualidade das águas.

Para levantamento dos dados, foram utilizadas informações disponibilizadas pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) e dados contidos no Levantamento das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA), trabalho que apresenta as condições de uso agrícola do solo do Estado de São Paulo nos anos de 1998 e 2008.

De acordo com TAYLOR e KILMER (1980), a tradução do potencial de perdas de nutrientes do solo numa previsão exata das possíveis perdas envolve um estudo detalhado do impacto causado pelo conjunto das práticas agrícolas adotadas, como quantidade de fertilizante aplicada, método de irrigação empregado e forma de plantio utilizada, das condições físicas do terreno, como capacidade de escoamento artificial, erodibilidade e tipo de solo, bem como, de outras informações técnicas, como genética da cultura e taxa pluviométrica da bacia. No caso do presente trabalho, tais informações não serão abordadas, uma vez que busca-se oferecer uma visão geral do problema e fornecer informações sobre o impacto potencial da atividade agrícola para o aporte de fósforo nas águas como forma de auxiliar no planejamento de medidas para gerenciamento dos recursos naturais e proteção dos recursos hídricos.

A BACIA DO RIO TIETÊ

O Tietê é o rio mais importante do Estado de São Paulo, possuindo 1.136 km, desde sua nascente, no município de Salesópolis, até desaguar no rio Paraná. A bacia hidrográfica do rio Tietê ocupa uma área total de 71.381 km² e abrange 233 municípios, tratando-se da maior bacia hidrográfica do Estado, em termos

territoriais, correspondendo a 28,7% da área total. Na bacia do rio Tietê estão inseridas importantes áreas metropolitanas do Estado e outras regiões de alta concentração demográfica. Possui também, importantes pólos industriais e pólos de desenvolvimento no interior do Estado, caracterizados pela intensa atividade agropecuária, especialmente nas porções média e baixa. (AUTOR, 2007)

Conforme estabelecido pela Lei 9.034/94, que instituiu o Plano Estadual de Recursos Hídricos, a bacia do Tietê está dividida em seis Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGRHs): Alto Tietê, Piracicaba/Capivari/Jundiaí, Tietê/Sorocaba, Tietê/Jacaré, Tietê/Batalha e Baixo Tietê. A localização das UGRHs do Tietê e a caracterização de acordo com as suas diferentes vocações econômicas podem ser visualizadas na Figura 02, a seguir.



Figura 02: Localização e caracterização econômica das UGRHs do Tietê.

No que se refere à qualidade das águas, a priorização do uso do Tietê para geração de energia elétrica, ao longo dos anos, resultou em um impacto negativo. Além das profundas alterações em seu regime hídrico causadas pela construção das represas, a intensa ocupação urbana e agrícola das bacias provocou alterações em suas características físico-químicas, com diversos pontos caracterizados pelos baixos índices de qualidade da água, como na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

A esse respeito, AUTOR (2007) acrescenta que os ecossistemas formados pelos grandes lagos construídos ao longo do caudal do Tietê associados à ampliação das ações voltadas ao tratamento dos esgotos domésticos na bacia e à autodepuração, processo proporcionado pela exposição dos espelhos d'água e pela simbiose entre algas e bactérias, tem contribuído para a melhoria da qualidade do rio após a RMSP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A extensão das áreas cultivadas na bacia do Tietê foi alterada de 4,3 milhões de ha no ano de 1998 para 5,3 milhões de ha em 2008, um crescimento que corresponde a cerca de 24%. Em termos percentuais, a UGRHI Tietê/Sorocaba foi a que apresentou a maior expansão das áreas cultivadas, sendo alterada de 427 mil ha em 1998 para 675 mil ha em 2008, uma ampliação que corresponde a 58%; a menor expansão é verificada na UGRHI Alto Tietê, que sofreu uma redução de 7%. Em termos numéricos, entretanto, a maior expansão se dá na UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí, com um aumento de mais de 292 mil ha nas áreas cultivadas.

Nas UGRHIs Tietê/Jacaré e Tietê/Batalha, apesar das ampliações terem sido percentualmente menores, de 29% e 24%, respectivamente, a expansão em termos numéricos foi bastante próxima à observada no Tietê/Sorocaba e Piracicaba/Capivari/Jundiá, de 281 mil ha e 191 mil ha, respectivamente. No Baixo Tietê, onde o índice de crescimento apresentado foi baixo, de 1%, encontra-se a maior extensão de área cultivada das UGRHIs do Tietê, de mais de 1.529 mil ha em 2008. Em comparação com a área total dessa UGRHI, que é de 16.669 km², verifica-se que quase 92% do seu território é atualmente ocupado pela atividade agrícola.

O comparativo das extensões de áreas cultivadas nas diferentes bacias, bem como a evolução observada nos anos de 1998 e 2008 em termos percentuais, pode ser observado na Figura 03.

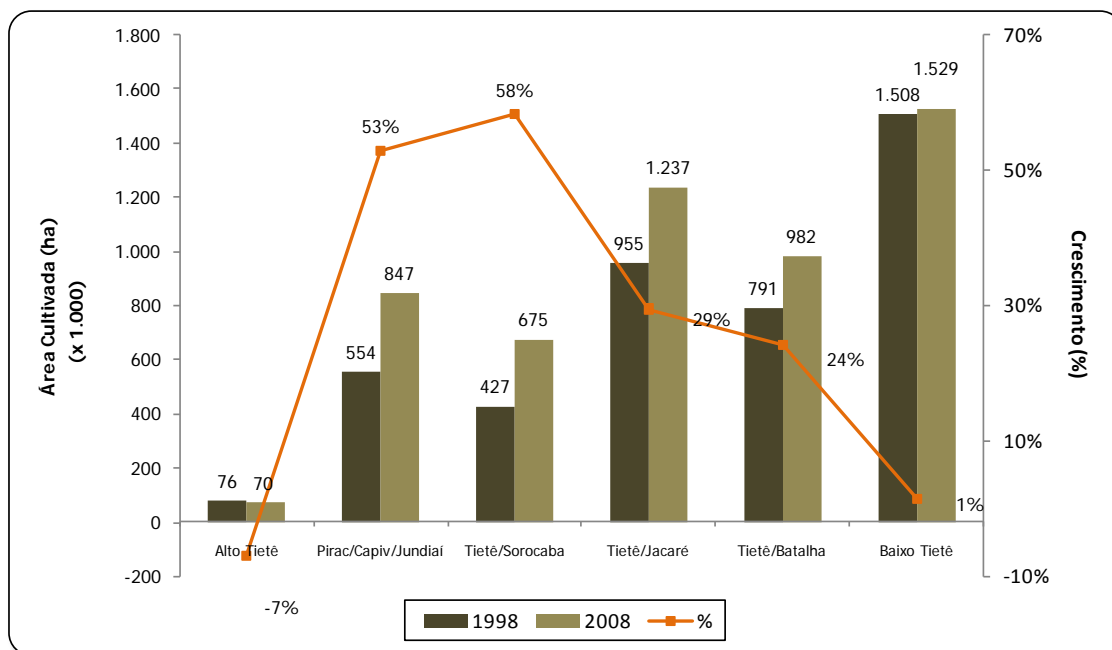


Figura 03: Extensão das áreas cultivadas da bacia do Tietê, em ha – Período de 1998 a 2008.

Na bacia do Tietê, as maiores extensões de área são atualmente ocupadas pelas culturas da cana-de-açúcar (2.093 mil ha), braquiárias (1.914 mil ha), eucalipto (330 mil ha), laranja (308 mil ha) e milho (160 mil ha). Pode-se citar ainda, as gramíneas (112 mil ha), o capim colômbio (69 mil ha) e o cultivo de frutas diversas (37 mil ha). A somatória dessas culturas corresponde, hoje, a 94% das áreas cultivadas da bacia do Tietê. Em 1998, esse percentual era de 90%.

Dentre as culturas que se destacam pelo aumento das áreas cultivadas na bacia, pode-se citar as gramíneas (de 9,8 mil ha para 111,8 mil ha), o sorgo (de 7,9 mil ha para 10,7 mil ha) e a cana-de-açúcar (de 1,1 milhão ha para 2,1 milhões ha). Quanto à redução da extensão da área cultivada, pode-se citar o algodão (de 19,2 mil ha para 362 ha), o arroz (de 13,4 mil ha para 983 ha) e o milho (de 265,7 mil ha para 151 mil ha).

Percebe-se, ainda, que no decorrer de 10 anos, as pastagens e a cultura do milho cederam lugar à cana-de-açúcar. No Baixo Tietê, inclusive, essa situação é bastante representativa, pois a redução de 463 mil ha de pastagens e milho foi concomitante com o aumento de 476 mil ha de cana-de-açúcar. A diferença na extensão das áreas ocupadas pelas pastagens, cana-de-açúcar e milho nos anos de 1998 e 2008 na bacia do rio Tietê, bem como a sua curva de tendência pode ser visualizada na Figura 04, a seguir.

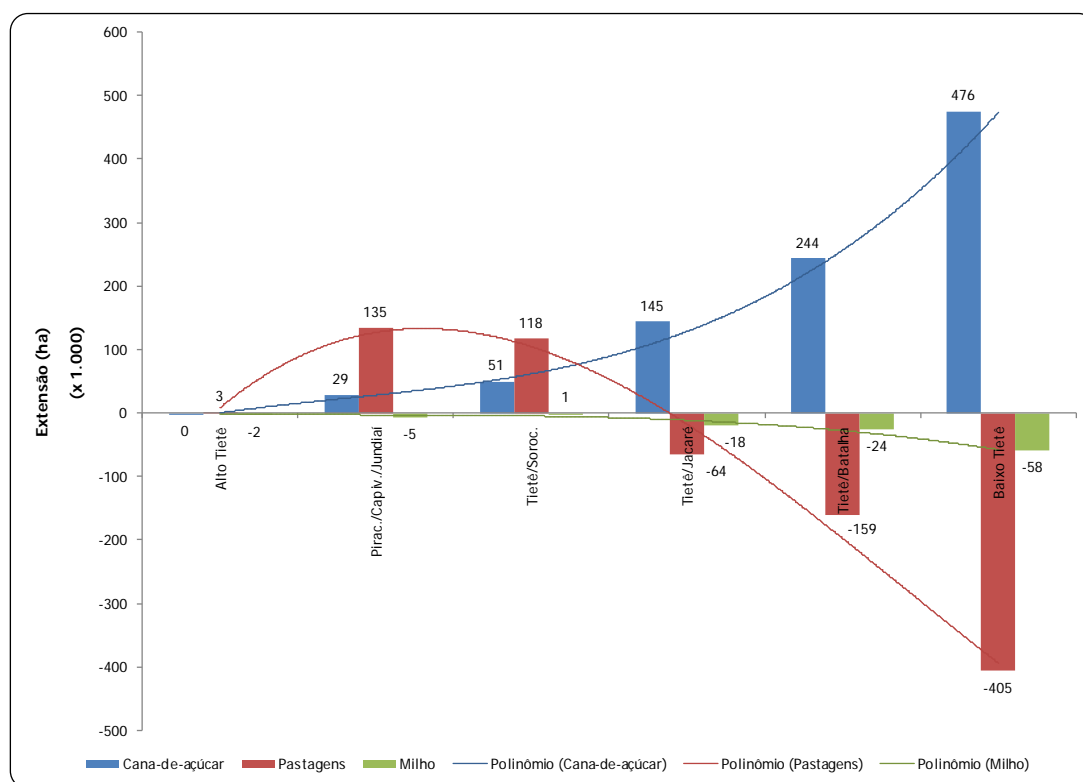


Figura 04: Extensão das áreas utilizadas para plantio da cana-de-açúcar, milho e pastagens na bacia do Tietê – Diferença verificada entre os anos 1998 e 2008.

Em decorrência da extensão das áreas cultivadas e da capacidade de perdas de terra estimada para os solos do Estado de São Paulo nas áreas cultivadas, da ordem de 7,852 t/ha, calcula-se que em 1998, cerca de 92,7 mil toneladas de terra eram perdidas diariamente nas bacias do rio Tietê; em 2008, essa quantidade passou para cerca de 114,8 mil de toneladas diárias.

Em relação ao fósforo, cuja concentração média nas terras do Estado é estimada em 0,002614%, as quantidades perdidas diariamente foram alteradas de 2,42 t/dia para 3 t/dia no período de 10 anos. As informações referentes à extensão das áreas cultivadas e às quantidades estimadas de terra e de fósforo perdidas por UGRHI na bacia do Tietê, nos anos de 1998 e 2008, pode ser verificada na Tabela 02.

Tabela 02: Extensão das áreas cultivadas e quantidades de terra e fósforo perdidas na bacia do Tietê, por cultura – Comparativo entre os anos de 1998 e 2008.

Bacia	1998			2008		
	Área (ha)	Perdas de Terra (t/dia)	Perdas de Fósforo (t/dia)	Área (ha)	Perdas de Terra (t/dia)	Perdas de Fósforo (t/dia)
Alto Tietê	75.679	1.628	0,04	70.435	1.515	0,04
Piracicaba/Capivari/Jundiá	553.634	11.910	0,31	846.600	18.212	0,48
Tietê/Sorocaba	426.610	9.177	0,24	675.067	14.522	0,38
Tietê/Jacaré	955.471	20.554	0,54	1.237.115	26.613	0,70
Tietê/Batalha	791.043	17.017	0,44	981.791	21.121	0,55
Baixo Tietê	1.507.837	32.437	0,85	1.528.903	32.890	0,86
Total	4.310.274	92.724	2,42	5.339.911	114.874	3,00

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização intensiva e de longo prazo de fertilizantes como ferramenta para aumento da produtividade pode elevar a concentração de fósforo no solo para níveis altos ou até excessivos, com importantes consequências econômicas, sociais e ambientais.

Ainda que a presença de fósforo nas águas tenha relação também com outras ações antrópicas, podendo-se destacar o lançamento de esgotos sanitários, especialmente devido à utilização doméstica de detergentes e sabões em pó contendo tripolifosfato de sódio (STPP) em suas formulações, as medidas para controle do seu aporte em áreas agrícolas demonstram ser de grande importância para a redução da eutrofização e melhoria da qualidade das águas, bem como para a conservação das fontes de fósforo no meio ambiente.

A exemplo de outros países, necessita-se evoluir com as discussões a respeito da contribuição da atividade agrícola para o aporte de fósforo nas águas, de forma a serem planejadas medidas de gerenciamento e controle, levando-se em conta a realidade sócio-econômica brasileira, e buscando alinhar a necessidade de garantia da produtividade agrícola às questões ambientais e de saúde pública. Face ao exposto, recomenda-se:

- Avaliar e determinar valores para a concentração de fósforo no solo, por bacia hidrográfica, através do aprofundamento dos estudos relacionados à redução das suas perdas em áreas agrícolas;
- Fiscalizar e controlar a quantidade de fertilizantes utilizada, levando-se em conta os valores desejados para concentração de fósforo nos solos, com vistas à manutenção da eficiência agrônômica, garantia da produtividade e melhoria da qualidade das águas;
- Buscar melhorias operacionais e tecnológicas que permitam a otimização das formas de uso e manejo do solo, visando reduzir a quantidade de fertilizante aplicada, de acordo com as características fisiológicas de cada cultura;
- Aprimorar os estudos relacionados com a utilização agrícola dos resíduos industriais e urbanos, auxiliando no aumento das taxas de retorno do fósforo ao seu ciclo natural;
- Buscar o envolvimento e comprometimento dos produtores rurais quanto à importância da redução da quantidade de fertilizantes utilizada para preservação das fontes de fósforo, através de um efetivo trabalho de educação e conscientização ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BELLINAZZI Jr. R.; BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Ocorrência de erosão rural no Estado de São Paulo. In: II Simpósio sobre o Controle da Erosão. Anais... São Paulo, 1981. São Paulo: ABGE, 1981, p.117-137
2. BERTOLINI, D.; LOMBARDI NETO, F. Embasamento técnico do programa estadual de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F, DRUGOWICH, M. I. Manual técnico de manejo e conservação do solo e água. Relatório Técnico 38. Secretaria de Agricultura e Abastecimento. Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. v 1. Campinas: CATI, 1994, p. 1-15.
3. BRAGA, B.; HESPANHOL, I; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Prentice Hall, 2002.
4. BRANCO, S. M.; ROCHA, A. A. Elementos de ciência do ambiente. 2 ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.
5. CHAVE, P. A. Legal and regulatory instruments. In: HELMER, R.; HESPANHOL, I. (Coord.). Water pollution control: a guide to the use of water quality management principles. Londres: WHO/UNEP, 1997. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resources/resquality/en/index.html>. Acesso em: 25 nov. 2007.
6. CORDELL, D. The story of phosphorus: missing global governance of a critical resource. Suécia: Global Phosphorus Research Initiative, 2008. Disponível em: <http://phosphorusfutures.net/files/DCordell_SENSEpaper.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2008.
7. DARDNI – Department of Agriculture and Rural Development. The code of good agriculture practice for the prevention of pollution of water, air and soil. Northern Ireland: DARDNI, 2008. Disponível em: <http://www.dardni.gov.uk/code_of_good_agricultural_practice_cogap_august_2008.pdf>.

8. DERÍSIO, J. C. Introdução ao controle da poluição ambiental. 2 ed. São Paulo: Signus Editora, 2000.
9. EC - European Commission. Council Directive nº 60, of 23 Oct 2000. Establishing a framework for Community action in the field of water policy. Disponível em: < <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ> >.
10. ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: FINEP, 1988.
11. GLENNIE, E. B.; LITTLEJOHN, C.; GENDEBIEN, A.; HAYES, A.; PALFREY, R.; SIVIL, D.; WRIGHT, K. Phosphates and alternative detergent builders: final report. Wiltshire: EU Environment Directorate, 2002.
12. GILINSKY, E.; CAPACASA, J. M.; BAKER, M. G.; KING, E. S. An urgent call to action: report of the State-EPA nutrient innovations task group. United States Environmental Protection Agency. Washington: USEPA, 2009. Disponível em: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/waterquality/standards/criteria/aqlife/pollutants/nutrient/upload/2009_08_27_criteria_nutrient_nitgreport.pdf>.
13. LANTMANN, A. F.; CASTRO, C. Resposta da soja à adubação fosfatada. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 223-239.
14. LOPES, A. S.; SILVA, C. A. P.; BASTOS, A. R. R. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no Mundo. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 2004, p.13-33.
15. MACRAE, R.; ROBINSON, R. K.; SADLER, M. J. (Coord.). Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition. v. 6. Londres: Academic Press Limited, 1993.
16. MALAVOLTA, E. O fósforo na planta e interações com outros elementos. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Coord). Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: Potafos, 2004, p. 35-98.
17. OSÓRIO, V. K. L.; OLIVEIRA, W. Polifosfatos em detergentes em pó comerciais. Revista Eletrônica Química Nova, São Paulo, v. 24, n. 5, 2001. Disponível em: <<http://scielo.br/pdf/qn/v24n5/a19v24n5.pdf>>. Acesso em: 08 set 2008.
18. PAGANINI, W. S. Disposição de esgotos no solo: escoamento à superfície. São Paulo: Fundo Editorial AESABESP, 1997.
19. PAGANINI, W. S. A identidade de um rio de contrastes: o Tietê e seus múltiplos usos. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2007. PIVELLI, R. P.; KATO, M. T. Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos. São Paulo: ABES, 2005.
20. QUEVEDO, C. M. G. As atividades do homem e a evolução da dinâmica do fósforo no meio ambiente. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009SHARPLEY, A. N.; DANIEL, T.; SIMS, T.; LEMUNYON, J.; STEVENS, R.; PARRY, R. Agricultural phosphorus and eutrophication. United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. 2 ed. Washington: USDA-ARS, 2003. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/is/np/Phos&Eutro2/agphoseutro2ed.pdf>>.
21. TAYLOR, A. W.; KILMER, V. J. Agricultural phosphorus in the environment. In: KHASAWNEH, F. E. et al (Coord). The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980, p. 545-557.
22. TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos, SP: RiMa, IIE, 2003.
23. VAN RAIJ, B. Avaliação da fertilidade do solo. Piracicaba: Potafos, 1983.
24. VOLLENWEIDER, R. A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus factors in eutrophication. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Tech. Report. DAS/CSI6827, 1968.
25. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. v. 1. 3 ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.