

A conservação de bacias e os desafios para a sustentabilidade da agricultura



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

DOCUMENTOS 120

**A conservação de bacias e os desafios para
a sustentabilidade da agricultura**

*Ricardo de Oliveira Figueiredo
Timothy Richard Green*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Meio Ambiente
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
Caixa Postal 69, CEP: 13820-000, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2700
Fax: +55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br/meio-ambiente/>
SAC: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva
Cristina Tiemi Shoyama

Membros
Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo Marques Simão, Marco Antônio Gomes, Joel Leandro de Queiroga (suplente), Vera Lúcia Ferracini (suplente)

Revisão de texto
Nilce Chaves Gattaz

Normalização bibliográfica
Victor Paulo Marques Simão, CRB-8/5139

Editoração eletrônica
Gabriel Pupo Nogueira

Fotos da Capa
Ricardo de Oliveira Figueiredo

1ª edição
2019

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente

Figueiredo, Ricardo de Oliveira

A conservação de bacias e os desafios para a sustentabilidade da agricultura / Ricardo de Oliveira Figueiredo e Timothy Richard Green. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019.
PDF (19 p.) : il. color. (Documentos / Embrapa Meio Ambiente , 1516-4691 ; 120).

1. Bacia hidrográfica. 2. Uso da terra. 3. Qualidade da água. 4. Sustentabilidade ambiental.
I. Figueiredo, Ricardo de Oliveira. II. Green, Timothy Richard. III. Série.

CDD (21.ed.) 333.73

Autores

Ricardo de Oliveira Figueiredo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Biociências e Biotecnologia,
pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Timothy Richard Green

Engenheiro-civil, doutor em Hidrologia, pesquisador da USDA-ARS, Centro de
Pesquisa de Recursos Agrícolas, Fort Collins, Colorado, Estados Unidos da América

Apresentação

Esta publicação aborda a complexidade e os desafios para que se alcance a sustentabilidade no uso da terra, no tocante à conservação dos recursos hídricos e respectivas bacias hidrográficas. Trata da dinâmica de alterações nos processos biogeoquímicos e hidrológicos presentes nas bacias onde o ecossistema natural é modificado. Considera, também, as variações temporais e espaciais distintas, dependendo das características biofísicas e biogeoquímicas originais da bacia, ao lado do uso da terra presente.

Como fator importante relacionado ao uso da terra, destaca-se as atividades agropecuárias, as quais possuem potencial de promover significativas alterações em ecossistemas terrestres e aquáticos, incluindo os fluxos de nutrientes, carbono e água. Considerando a relativa carência de literatura técnico-científica que aborda o tema, especialmente no Brasil, o estudo pretende atender à crescente demanda por estratégias e planejamento para uma agricultura sustentável. Assim, são discutidos, de forma breve, os principais aspectos quanto aos desafios da sustentabilidade da agricultura no que se refere à conservação das bacias hidrográficas.

Observa-se que o manejo do solo e os diferentes sistemas de produção só atendem a demanda por um desenvolvimento sustentável, quando implementados com as devidas considerações sobre suas ligações com fluxos de água e nutrientes nas bacias. Dada a dependência às condições do clima, incluindo pluviosidade e temperatura, a conservação de recursos hídricos apresenta forte relação com as mudanças climáticas em curso no Planeta.

Neste contexto, os autores abordam como e porque a bacia hidrográfica deve ser considerada a unidade de estudo primordial nas análises ambientais que visam a conservação de recursos hídricos. São, assim, considerados os processos naturais, o manejo agropecuário, a necessidade de medições e simulações, as mudanças do clima e do uso da terra e suas relações com a sustentabilidade das bacias hidrográficas.

A presente publicação visa atender à geração de conhecimento relativa ao sexto Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, que é o de “*Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos*” - e em especial às metas 6.5 e 6.6 referentes à gestão integrada dos recursos hídricos e à proteção e restauração de ecossistemas relacionados com a água.

Marcelo Augusto Boechat Morandi
Chefe-Geral

Sumário

INTRODUÇÃO	7
A agricultura e a conservação das bacias	8
Complexidade através das escalas no espaço e no tempo	10
Desafios para o manejo sustentável	12
Necessidade de medições e simulações	13
Mudanças projetadas	15
Considerações finais	16
Referências	17

INTRODUÇÃO

O propósito deste trabalho é apresentar, de maneira breve, a complexidade dos desafios para que seja alcançada a sustentabilidade no setor agropecuário, no tocante ao meio ambiente, mais especificamente relacionado à conservação dos recursos hídricos. Não se pretende neste texto esgotar o assunto, mas sim destacar sua complexidade, em muito, relacionada à multidisciplinaridade e interdisciplinaridade para a abordagem científica do tema em questão - a conservação da bacia hidrográfica no contexto dos desafios da sustentabilidade nas atividades agrícolas.

Processos socioeconômicos, no entanto, não são abordados, embora de variadas formas são estes propulsores de diversas atividades produtivas que promovem alterações nos processos biogeoquímicos e hidrológicos presentes nas bacias. Destaca-se em tais processos o transporte de material particulado e dissolvido nos rios e respectivas variações temporais e espaciais, as quais são reguladas tanto pela composição química e volume das águas das chuvas, quanto pelas características biofísicas e biogeoquímicas da bacia - geologia, solos, relevo, vegetação e uso da terra. Dentre os fatores relacionados ao uso da terra encontram-se as atividades agropecuárias, que têm o potencial de promover significativas alterações nas estruturas e funções de ecossistemas terrestres e aquáticos, incluindo os fluxos de nutrientes, carbono e água.

Neste País, no entanto, observa-se uma carência de literatura técnico-científica que aborde o tema da agricultura no contexto dos funcionamentos ecossistêmico e hidrológico na bacia hidrográfica, apesar da demanda crescente de atendimento às estratégias que objetivam uma agricultura sustentável. Observa-se que, de maneira geral, orientações e descrições sobre temas como manejo do solo e sistemas de produção agropecuário não apresentam considerações sobre suas estreitas ligações com fluxos hídricos e biogeoquímicos nas bacias onde são praticados. Essa prática não atende plenamente à demanda de conservação ambiental e aos desafios da sustentabilidade.

Destaca-se que tais desafios são potencializados frente às mudanças climáticas em curso, haja vista suas implicações na quantidade e na qualidade da água e seu respectivo uso múltiplo pelas sociedades. Assim sendo, pretende-se aqui, de maneira resumida e didática, introduzir os principais aspectos quanto aos desafios da sustentabilidade da agricultura no tocante à conservação das bacias hidrográficas.

No presente documento, a bacia hidrográfica é destacada como a unidade de estudo utilizada nas análises ambientais relacionadas à hidrologia de bacias. A partir da compreensão dos fluxos hidro-biogeoquímicos na bacia são abordados quatro aspectos inerentes a uma avaliação da sustentabilidade na agricultura que atenda a conservação dos atributos hídricos de qualidade e quantidade de uma bacia. São eles: (1) a complexidade dos processos naturais em diferentes escalas no espaço e no tempo; (2) os desafios inerentes ao próprio manejo sustentável em seus aspectos técnicos e sócio-econômicos; (3) a necessidade indispensável de medições confiáveis e simulações dos fluxos hídricos; e (4) a intensidade com que as mudanças projetadas do clima e do uso da terra podem afetar a sustentabilidade.

A AGRICULTURA E A CONSERVAÇÃO DAS BACIAS

Pesquisas científicas realizadas em bacias hidrográficas são importantes em todo o planeta para avaliar possíveis alterações nas estruturas e funcionamentos de ecossistemas terrestres e aquáticos, incluindo os impactos da agricultura sobre os fluxos de nutrientes, carbono e água. A ciência agropecuária frequentemente realiza seus estudos em recursos hídricos enfocando prioritariamente a segurança alimentar e econômica. Entretanto, os avanços no conhecimento de técnicas de irrigação e drenagem podem não representar avanços do conhecimento sobre possíveis impactos ambientais e na degradação do ambiente rural.

Os desafios de relacionar os sistemas de produção agropecuária com os recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica são grandes no presente, quando são aceleradas as mudanças no uso da terra, e podem aumentar ainda mais se consideradas as mudanças climáticas projetadas. Neste contexto torna-se ainda maior a complexidade de estudos sobre os ciclos de água, nutrientes e carbono, e suas relações com as entradas antropogênicas de agroquímicos, práticas de manejo agrícola e programas de conservação para prover serviços ecossistêmicos. Por sua vez, a busca pela sustentabilidade em bacias agrícolas é essencial para mitigar os efeitos negativos sobre a quantidade e qualidade da água, assim como sobre a saúde dos ecossistemas terrestres e aquáticos.

A bacia hidrográfica tem sido apontada como a unidade geográfica ideal para a pesquisa, o planejamento e o gerenciamento ambiental (Green; Schilfgaarde, 2002). Isto decorre do fato de que esta representa uma área com limites topográficos definidos, onde todos os componentes da paisagem interagem: atmosfera e vegetação, plantas e solo, rocha e água subterrânea, cursos d'água ou lagoas e suas áreas circundantes (Moldan; Cerný, 1994). Por sua vez, os rios dependem, para sua existência, da água da chuva que precipita nas áreas de captação de suas bacias. Essa água carrega o que possa ser mobilizado pela sua ação física e/ou química, resultando nos produtos solúveis ou particulados transportados pelos rios (Morisawa, 1968; Sioli, 1975) nas diversas escalas espaciais (Gustafson et al., 2004). Na Figura 1 pode-se observar os diferentes fluxos hídricos em uma bacia até alcançar um pequeno rio.

O tema da sustentabilidade, por sua vez, exige uma abordagem interdisciplinar que envolve várias áreas do conhecimento científico e avaliações de médio a longo prazo do ambiente em diferentes tamanhos de bacias. Sendo assim, a integração de equipes e instituições é indispensável para o sucesso dessas pesquisas. É fato também que muitos estudos desenvolvidos no Brasil já diagnosticaram a necessidade de se buscar uma melhor gestão no uso das terras, a restauração de ecossistemas e, no caso das bacias agrícolas, sistemas de produção mais sustentáveis (Prado et al., 2017), porém isentando-se de análises sobre a ciclagem biogeoquímica nesses ambientes.

Para estudos de processos hidrobiogeoquímicos, as microbacias onde encontram-se apenas rios de primeira e segunda ordem são mais recomendáveis. Por outro lado, para estudos sobre a disponibilidade de recursos hídricos e dinâmicas relacionadas à variabilidade climática regional, as bacias maiores são as mais indicadas.

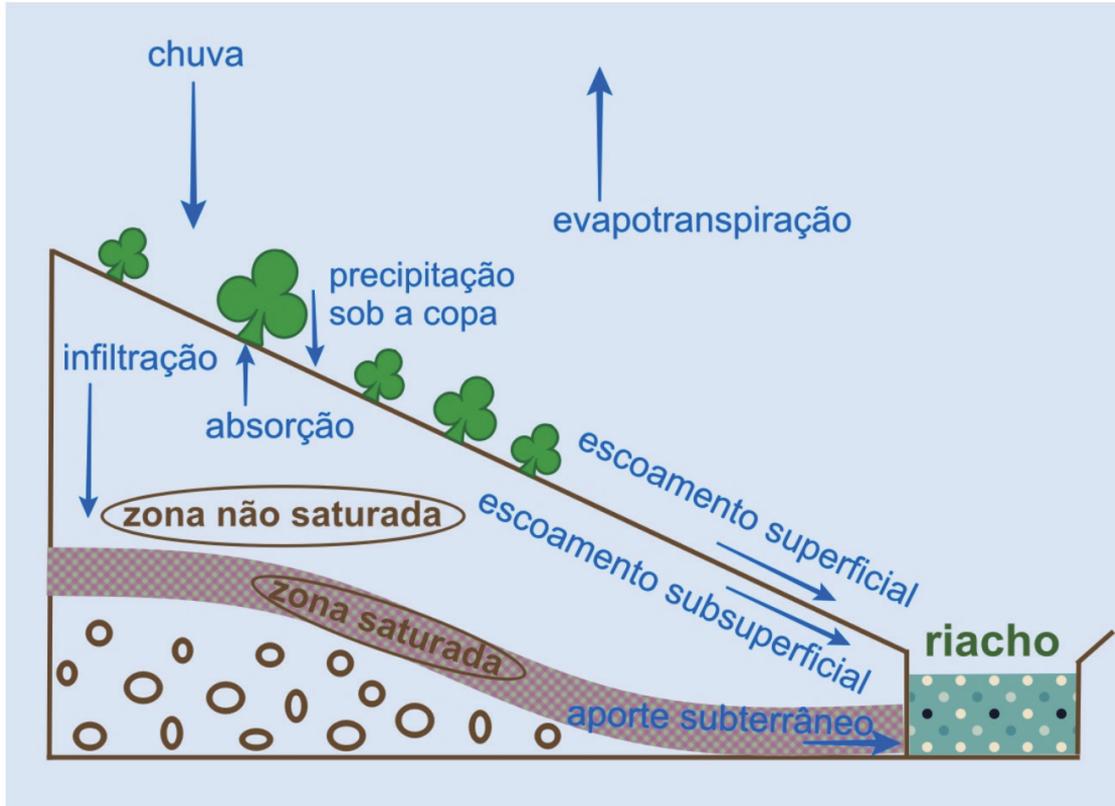


Figura 1. Quando a água da chuva atinge a superfície terrestre de uma bacia parte da água é retida pela vegetação e outra parte segue para o solo. No solo a água infiltra podendo ser absorvida pelas raízes das plantas, ou seguir em fluxo sub-superficial para as áreas mais baixas ou ainda alcançar a zona saturada do solo formando o lençol freático, cujo estoque hídrico supre os cursos d'água nos períodos de estiagem. Por outro lado, a água ao invés de infiltrar pode formar o escoamento superficial até atingir o leito do rio.

Entende-se que para realizar uma avaliação da sustentabilidade na agricultura que atenda à conservação dos atributos hídricos de qualidade e quantidade de uma bacia é necessário observar quatro aspectos (Figura 2) que são detalhados a seguir: (1) a complexidade dos processos naturais em diferentes escalas no espaço e no tempo na bacia; (2) os desafios inerentes ao próprio manejo sustentável da bacia em seus aspectos técnicos e socioeconômicos; (3) a necessidade indispensável de medições confiáveis e simulações dos fluxos hídricos na bacia; (4) a intensidade com que as mudanças projetadas do clima e do uso da terra podem afetar a sustentabilidade no futuro.



Figura 2. Quatro aspectos relacionados à sustentabilidade agrícola e a conservação de bacias.

Complexidade através das escalas no espaço e no tempo

A escassez de recursos hídricos é hoje notadamente uma das maiores preocupações de cunho ambiental em muitas nações do planeta. A qualidade deste recurso natural, assim como seu volume disponível, surge como ponto estratégico ao desenvolvimento e qualidade de vida dos diversos povos. Por conseguinte, cresce a demanda por pesquisas científicas que abalzem a utilização destes recursos e a ocupação de áreas produtivas que compreendam bacias hidrográficas de importância local, regional e global. Tal demanda se impõe devido à complexidade de estudos dessa natureza. É necessário compreender uma gama de processos naturais que regem a quantidade total de um determinado elemento (por ex. carbono, nitrogênio e fósforo), entrando ou saindo da bacia. As mais importantes entradas de materiais para os rios são: a deposição atmosférica (composta da deposição úmida e seca, e a deposição das nuvens), os produtos do intemperismo (liberação de material das rochas) e as interferências antropogênicas (mineração, agropecuária, urbanização, industrialização, entre outros).

A pesquisa interdisciplinar é recomendada para que biólogos, geólogos e outros cientistas não trabalhem isoladamente, mas juntos, a fim de estudar as diversas paisagens e ecossistemas da Terra, incluindo água, energia, gases e elementos químicos, e sua dinâmica temporal e espacial nos sistemas bióticos e abióticos do planeta (Richter et al., 2018).

A variação temporal e espacial do transporte desse material pelos rios é regulada pela composição química e intensidade/duração das chuvas, e pelas características da bacia - rochas, solos, relevo, estoques hídricos subterrâneos e vegetação (Drever, 1982; Trudgill, 1986). A composição química fluvial refletirá sempre as interações entre a água e esses fatores que caracterizam a bacia.

Em períodos chuvosos ocorrem maiores entradas de sedimentos perdidos da área agrícola da bacia para os cursos d'água, prejudicando a qualidade da água, causando assoreamento e enchentes relacionadas, e impactando processos relacionados ao funcionamento do ecossistema aquático que depende da transparência do leito dos rios. Por sua vez, durante os períodos de estiagem os elementos químicos são exportados da parte terrestre para esses cursos na forma dissolvida, tanto pelos fluxos dos estoques hídricos subterrâneos como pelo escoamento subsuperficial nos solos da bacia. Portanto, avaliações sobre os efeitos das áreas agrícolas sobre os recursos hídricos precisam considerar as mudanças sazonais e interanuais que ocorrem no clima, principalmente nos índices pluviométricos, e seus efeitos associados sobre os fluxos hídricos.

Os diferentes usos da terra presentes nos limites dessa bacia poderão promover alterações substanciais nessa hidroquímica fluvial e, por conseguinte, na qualidade da água disponível para os múltiplos usos que a sociedade faz do corpo d'água (Solbé, 1986). Richter et al. (2018) recentemente afirmaram que “a ciência de ecossistemas de bacias hidrográficas não é nada senão biogeociências”. Não se pode entender os processos que ocorrem em agroecossistemas sem avaliar a bacia onde estes estão presentes. A perturbação da estrutura e funcionamento dos ecossistemas é detectável nas situações de micro e meso escalas, com alterações significativas na ciclagem de nutrientes nas bacias. No entanto, essas mudanças que constituem “sinais biogeoquímicos” gerados pelo processamento do material nas áreas terrestres da bacia, não são mais observadas à medida que os rios evoluem para ordens superiores, e assim os sinais persistentes tornam-se mais associados às características da bacia em termos de tipos de solos e classes de uso da terra predominantes (Krusche et al., 2005). Devido a isso, como já dito anteriormente, para se observar mudanças em processos biogeoquímicos as microbacias devem ser a unidade de estudo.

Portanto, as iniciativas de produção agrícola precisam ser pensadas como atividades que interagem também com os processos naturais que ocorrem na escala da bacia hidrográfica onde essas atividades são desenvolvidas. Como resultado, os elementos químicos presentes nos solos e na vegetação original de uma bacia, junto àqueles que constituem os agroquímicos aplicados, são disponibilizados com o preparo dos solos (aração, gradagem e outras práticas), sendo em parte transportados pelos escoamentos subsuperficial e superficial até os rios, ou lixiviados até os estoques subterrâneos que eventualmente suprem os corpos d'água superficiais em épocas de baixa pluviometria. Na Figura 3 é apresentada uma imagem como exemplo de uma cena vista a partir da parte alta de uma microbacia para a nascente de um pequeno córrego que ali se forma em uma área agrícola.



Figura 3. A água que precipita-se sobre a área agrícola em diferentes fases de cultivo ou que é aplicada por sistemas de irrigação em uma microbacia, após interagir com os solos e as plantas carrega sedimentos, agroquímicos, matéria orgânica e nutrientes dissolvidos, formando uma solução que se infiltra nos solos ou escoar até o leito do curso d'água após interagir com a zona ripária.

Desafios para o manejo sustentável

Para atingir a sustentabilidade ambiental em sistemas de produção é preciso que seja considerado o quadro completo das interações promovidas pelos fluxos de água dentro da bacia, e todo o material por esta água transportado. Temos cursos d'água com problemas de regulação de vazões que já não atendem as demandas da sociedade e a saúde do ecossistema afetado. A qualidade da água fluvial tem sido impactada pela entrada de sedimentos e de elementos biogeoquímicos dissolvidos, tanto os de origem natural afetados pelo desequilíbrio ambiental, como os de origem antrópica, incluindo os impactos pelo uso de agroquímicos, fato este que requer respostas efetivas dos setores produtivo e governamental para seu enfrentamento. Leite et al. (2014) afirmam que “o complexo de processos concebido pela agricultura conservacionista constitui a base de sustentação da agricultura, conservando o solo, a água, o ar e a biota dos agroecossistemas, bem como prevenindo a poluição e a degradação dos sistemas do entorno”.

Soluções existem, mas essas precisam ser adotadas com urgência, pois de outro modo a crise hídrica experimentada ocasionalmente na região sudeste, e frequentemente na região nordeste, poderá atingir uma magnitude sem precedentes na história do País.

São variadas as maneiras de se enfrentar os desafios para um manejo sustentável nas bacias agrícolas. Um exemplo é o sistema plantio direto (SPD) (Leite et al., 2014), que pode ser entendido como um complexo de processos tecnológicos destinado à exploração de sistemas agrícolas produtivos, que compreende a mobilização de solo apenas na linha ou na cova de semeadura, na manutenção permanente da cobertura do solo e na diversificação de espécies, via rotação e/ou consorciação de culturas. Embora concorra para impactos positivos no aspecto hidrológico da bacia, o SPD, dado ao seu manejo que inclui a utilização de herbicidas, tem sido responsabilizado por modificações na biodiversidade de plantas daninhas, em inóculos de doenças, assim como mudanças na ocorrência de insetos-praga (Silva et al., 2009).

Outra solução para uma agricultura sustentável são sistemas agroflorestais (SAFs) que preconiza o manejo sustentável da terra buscando aumentar a produção de forma geral, combinando culturas agrícolas com árvores e plantas da floresta e/ou animais simultânea ou sequencialmente, e aplica práticas de gestão que são compatíveis com os padrões culturais da população local (Bene et al., 1977). A adoção de SAFs tem sido utilizada com sucesso para a restauração de áreas degradadas (ou alteradas), de maneira a conciliar conservação ambiental com benefícios sociais e econômicos, dentre os quais pode-se destacar os serviços ambientais hídricos, tanto na Caatinga como no Cerrado (Miccolis et al., 2016).

Uma alternativa mais recente na busca da sustentabilidade dos agroecossistemas é a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Trata-se de um sistema de produção agrícola e de produção animal, em rotação, que interagem e se completam em aspectos do manejo, da fertilidade, da física e da biologia do solo, e que contam ainda com florestas de árvores de cultivo exótico com espécies, como eucalipto e pinus, ou mesmo espécies nativas (Leite et al., 2014).

Outra estratégia para a sustentabilidade é a chamada transição agroecológica que, segundo Gliessman (2000), deve passar por diversas etapas, dependendo da distância em que o sistema produtivo estiver da sustentabilidade. São três os passos sugeridos pelo referido autor: (1) redução e racionalização do uso de insumos químicos; (2) substituição de insumos; e (3) manejo da biodiversidade e redesenho dos sistemas produtivos. Com o objetivo de embasar e incentivar a Agroecologia foi lançada em 2006 uma obra coletiva, que dentre outros temas aponta para a sis-

tematização e análise das tecnologias e processos empíricos para a construção de desenhos de agroecossistemas na perspectiva da transição agroecológica (Marco..., 2006).

De maneira geral, a agricultura orgânica tem avançado bastante no âmbito da agricultura familiar como revisado e descrito por Peigné et al. (2007), o que de fato atenua a entrada de agroquímicos nos fluxos hidrogequímicos da bacia. Na agricultura familiar amazônica, por sua vez, a prática de preparo de área por meio do uso do fogo, o que promove impactos na qualidade do solo, água e ar, pode ser substituída pelo corte da vegetação de pousio (capoeira) seguida da trituração dessa vegetação derrubada (Shimizu et al., 2014). Alguns resultados de duas décadas de pesquisas têm apresentado bons efeitos na produção agrícola aliada à conservação dos solos e dos recursos hídricos (Figueiredo, 2009).

A adoção de pagamento por serviços ambientais (PSA) se destaca, atualmente, como uma maneira interessante para enfrentamento dos desafios mencionados, sendo esta um importante instrumento para a implementação de ações relacionadas à recuperação hidroambiental das bacias hidrográficas (Fidalgo et al., 2017). Para que o proprietário rural receba tal pagamento, algumas iniciativas exigem que estes adotem práticas de conservação de solos e reflorestamento de nascentes e áreas marginais dos cursos d'água.

Necessidade de medições e simulações

De extrema importância no funcionamento das bacias hidrográficas, porém de difícil quantificação, são os fluxos internos redistribuindo a massa dentro do próprio sistema (entre solo e vegetação, por exemplo). Quanto às saídas de material das bacias, a mais significativa é o escoamento superficial através dos rios. Outras saídas, no entanto, ocorrem, como emissões gasosas pelo solo e vegetação, e remoção de vegetação. Através do lençol freático (Moldan; Cerný, 1994), ao monitorar-se a quantidade e qualidade da água de um determinado curso d'água, todos os aspectos relacionados à dinâmica de entrada e saída de materiais da bacia precisam ser considerados no escopo das características naturais da bacia e do uso da terra.

Para avaliar-se determinado impacto que uma atividade agrícola promove sobre um trecho de rio, pode-se ainda trabalhar com a abordagem de monitorar as características dos fluxos hídricos e hidrobiogeoquímicos a montante e a jusante da referida atividade. Caso tenha-se uma bacia de características naturais semelhantes à bacia alvo da atividade agrícola, mas que não possua alterações antrópicas importantes, pode-se usar como uma bacia-controle a ser comparada com aquela que é alvo principal da avaliação. Esse tipo de abordagem de monitoramento pode ser chamado de estudos de “bacias pareadas”.

Uma das dificuldades para a geração de conhecimento de qualidade no tema aqui abordado relaciona-se à necessidade de que os estudos desenvolvidos sejam de médio a longo prazo, de maneira que a variabilidade entre os diferentes anos (mais secos ou chuvosos) possa ser avaliada. Além disso, é essencial que as áreas estudadas estejam protegidas de ações antrópicas não desejadas, fato que pode ser controlado pelo estabelecimento de bacias experimentais que funcionam como laboratórios em céu aberto, como os que existem na Europa e na América do Norte (Moldan; Cerný, 1994; Hudson et al., 1997; Swank et al., 2001; Holmes; Likens, 2016). Tais estratégias de avaliações em períodos mais longos acarretam em elevação de custos para a pesquisa, algo que a nação brasileira precisaria estar disposta a custear em prol da conservação dos recursos hídricos e de

seus ecossistemas aquáticos, restando apenas algumas iniciativas pontuais como, por exemplo, no estado de São Paulo (Arcova et al., 1998).

O monitoramento dos fluxos fluviais pode ser realizado não apenas através de campanhas eventuais para coleta de dados (semanalmente, quinzenalmente, mensalmente, e outros), mas também por meio de equipamentos automáticos instalados no campo para coletas de amostras e medições registradas continuamente em *dataloggers*. Na Figura 4 observam-se cenas de um exemplo do uso desses equipamentos automáticos.

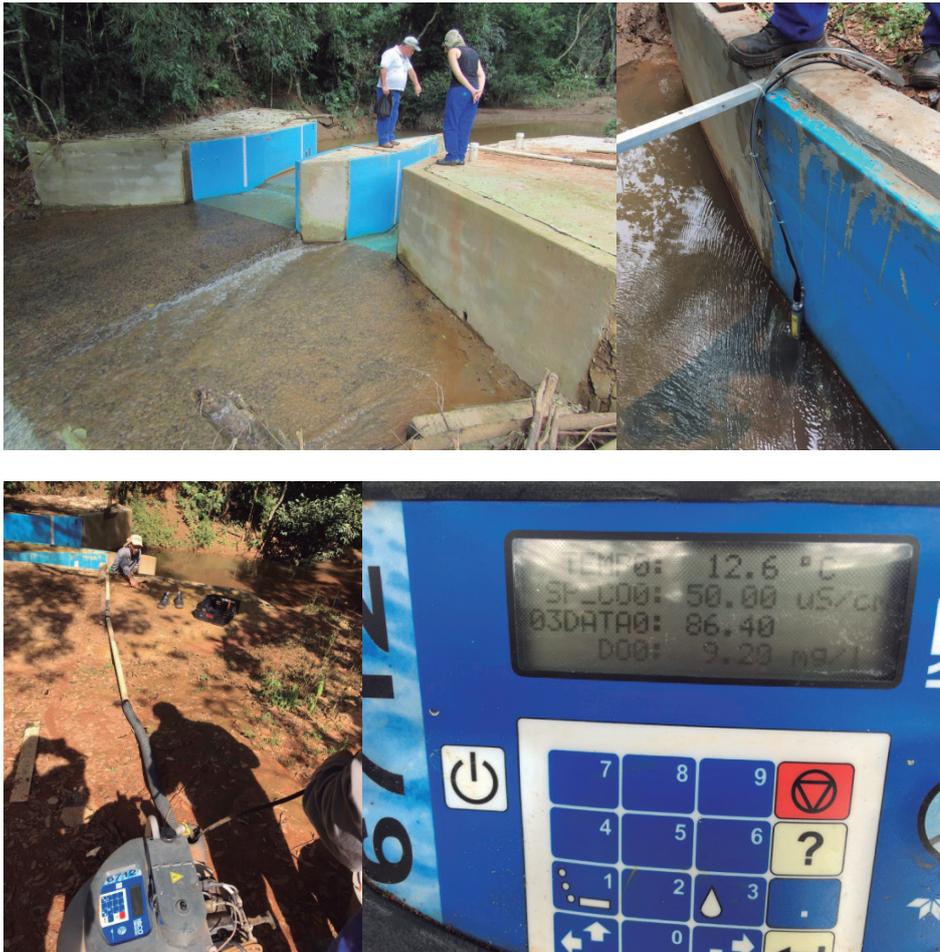


Figura 4. Coletas de dados realizadas automaticamente a cada cinco minutos: uma calha parshal é instalada para medidas de vazão por meio de um medidor automático de nível de água; um medidor multiparâmetros registra mudanças de variáveis físico-químicas (temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido) conectados a um amostrador automático de água que coleta amostras da água fluvial a cada 48 horas.

Fotos: Ricardo Figueiredo

Mudanças projetadas

Em virtude do crescimento populacional e das mudanças climáticas aprofundam-se as crises globais de conservação e gerenciamento da quantidade e qualidade de água para as diferentes demandas (Toward..., 2010). Dessa maneira, ferramentas de modelagem matemática e computacional, que abordem aspectos agro-hidrológicos, são essenciais na compreensão das interações de sistemas complexos no espaço e no tempo em diferentes situações de uso da terra e clima. Os impactos do manejo de nutrientes e de água, assim como das práticas conservacionistas em áreas agrícolas precisam ser avaliadas em relação à quantidade e qualidade de água nas bacias avaliadas.

Diante desse quadro, a Agência Nacional de Águas (Agência Nacional de Águas, 2007), em sua publicação Caderno de Recursos Hídricos, em 2007, observa que o desenvolvimento da agricultura no País, nas duas últimas décadas, está diretamente relacionado ao aumento da área cultivada e da produtividade, e que este último fator está associado mais diretamente ao uso de fertilizantes e agrotóxicos. A mesma publicação menciona que a extensão do problema ainda não é conhecida no Brasil. No entanto, como citado em documento mais recente da própria ANA - Conjuntura dos Recursos Hídricos 2018 - os dados de monitoramento de qualidade da água estão sendo, paulatinamente, incorporados ao banco de dados do monitoramento hidrometeorológico (Agência Nacional de Águas, 2018). Fica evidente, de qualquer maneira, que estes não atendem demandas relativas às necessidades de se ter conhecimento sobre a qualidade da água de muitos rios de médio e pequeno porte, e conseqüente conhecimento das fontes poluidoras. Além disso, existem poucos trabalhos que avaliam a presença de fertilizantes e agrotóxicos em áreas de recarga, onde os aquíferos tendem a ser mais vulneráveis (Silva; Fay, 2004; Gomes; Barizon, 2014), e em um quadro preocupante e de dimensão nacional (Bombardi, 2017).

Modelos hidrológicos são usados para simular respostas hidrológicas às mudanças no uso da terra, no manejo dos solos e no clima, o que faz com que tais modelos sejam muito úteis para a gestão de bacias e outras políticas públicas. Até hoje, a maioria das bacias hidrográficas agrícolas tem sido simuladas usando o modelo SWAT (Arnold et al., 1998) em suas várias formas e versões. Diferentes porções do solo da bacia são delineadas em unidades de resposta hidrológica (HRUs) com base no uso da terra, práticas de manejo e atributos do terreno. No SWAT, cada HRU é simulada de forma independente, e suas saídas de água e elementos químicos seguem diretamente para o trecho fluvial ou um determinado corpo d'água. Este modelo semi-distribuído, ou parcialmente aglutinado, das reais respostas hidrológicas das bacias tem funcionado relativamente bem para grandes bacias hidrográficas agrícolas, como demonstrado em todo o mundo, inclusive no Brasil (Bressiani et al., 2015), China (Wu et al., 2017), Europa (Abbaspour et al., 2015) e EUA (Beeson et al., 2011).

Por outro lado, modelos menos conhecidos de bacias hidrográficas agrícolas, como J2000 (Fink et al., 2007) e AgES (Ascough II et al., 2015; Green et al., 2015), permitem a simulação de interação espaciais e temporais em bacias menores, e considera diferentes operações de manejo agrícola no sistema que potencialmente influenciam processos de geração de fluxos de água e/ou nutrientes. Alguns estudos de caso no Brasil aplicaram o modelo J2000 (Machado et al., 2017) e o modelo AgES (Cruz et al., 2017). Um exemplo de resultado de simulação do AgES para a bacia do rio Southfork Iowa é apresentado na Figura 5.

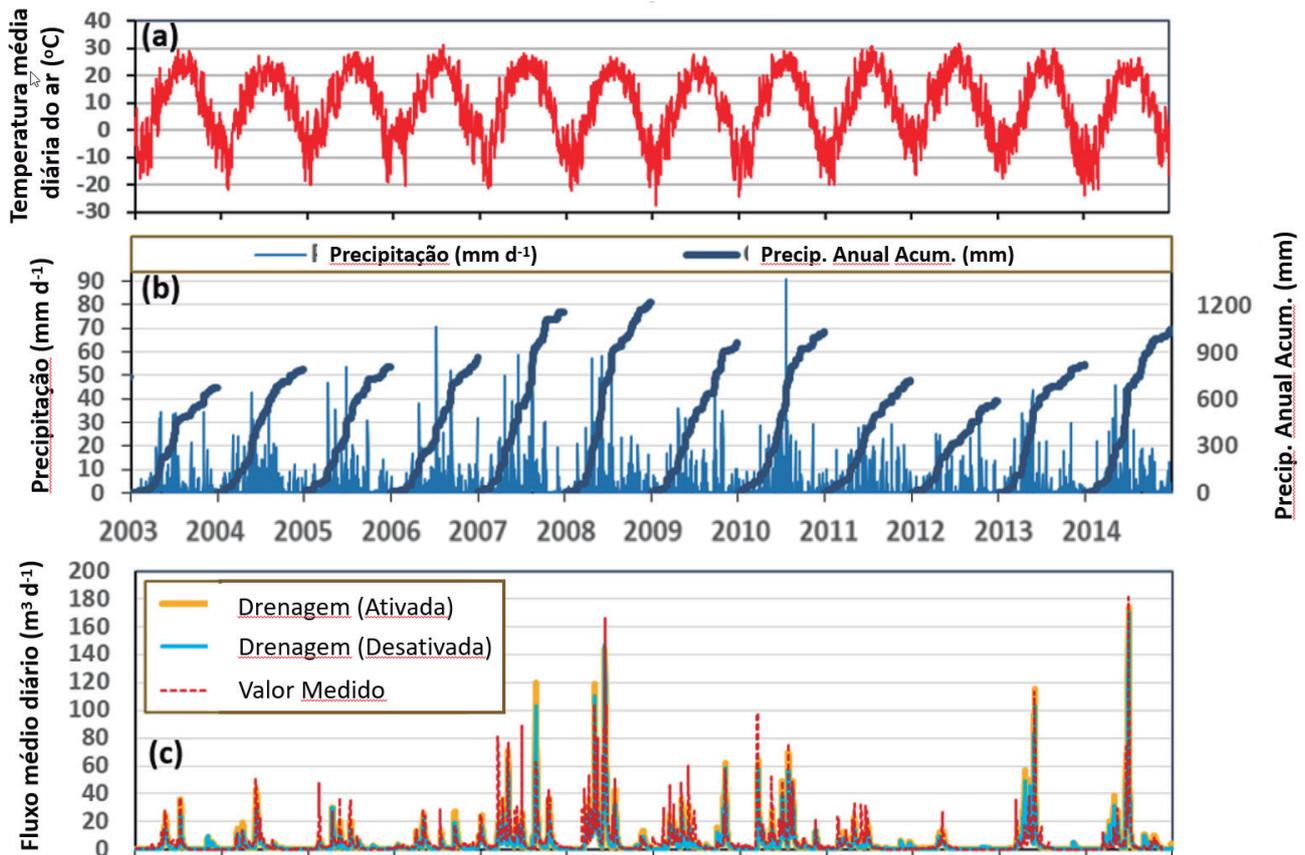


Figura 5. Exemplo de simulações de variáveis climáticas diárias médias da bacia: (a) temperatura média do ar; (b) precipitação (chuva e neve/granizo), mostrando precipitação cumulativa para cada ano e variáveis de resposta hidrológica da bacia; (c) vazões diárias medidas versus vazões simuladas da bacia com drenagem ativadas e desativadas no modelo AgES. (Extraído de Green et al., 2015).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da relação entre uso da terra e recursos hídricos é uma questão crucial para a manutenção da quantidade e qualidade da água. O ambiente rural é a parte principal das bacias hidrográficas que contribui com fluxos hídricos para córregos e rios, que podem ou não ser benéficos, dependendo do solo, nutrientes e manejo da água. Portanto, a busca pela sustentabilidade na agricultura é essencial para mitigar os efeitos negativos desta atividade sobre a quantidade e a qualidade da água, bem como sobre a saúde dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Isso significa estudar os ciclos de água, nutrientes e carbono, juntamente com a entrada de contaminantes antropogênicos (ex: pesticidas) em bacias hidrográficas.

A geração de conhecimento e tecnologias é essencial para a implementação de planos de agricultura sustentável e para a mitigação dos impactos ambientais resultantes das práticas agrícolas sobre os recursos hídricos do País. Neste aspecto é preciso considerar a necessidade de incentivos e capacitação para a adoção de sistemas de manejo conservacionista pelos agricultores. A pesquisa, por sua vez, deve se concentrar nas interações entre componentes terrestres e aquáticos, no âmbito dos diferentes cenários de uso da terra. Tais pesquisas devem abranger escalas de micro a grandes bacias, incluindo o manejo agrícola com sistemas convencionais e de conservação, bem como áreas não agrícolas.

Referências

- ABBASPOUR, K. C.; ROUHOLAHNEJAD, E.; VAGHEFI, S.; SRINIVASAN, R.; YANG, H.; KLOVE, B. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. **Journal of Hydrology**, v. 524, p. 733-752, 2015.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil e panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Brasília, DF, 2007. 124 p. (Cadernos de Recursos Hídricos, 5).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018**: informe anual. Brasília, DF, 2018. 72 p.
- ARCOVA, F. C. S.; LIMA, W. P.; CICCIO, V. Balanço hídrico de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, v.10, n. 1, p. 39-51,1998.
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, n. 1, p. 73-89,1998.
- ASCOUGH II, J. C.; GREEN, T. R.; DAVID, O.; KIPKA, H.; MCMASTER, G. S.; LIGHTHART, N. P. (2015). The AgroEcoSystem-Watershed (AgES-W) model: overview and application to experimental watersheds. In: 2015 ASABE Annual International Meeting, 2015, St Joseph, MI. Jt. Joseph, MI: Asabe, 2015. Paper n.152163051.
- BEESON, P. C.; DORAISWAMY, P. C.; SADEGHI, A. M.; DI LUZIO, M.; TOMER, M. D.; ARNOLD, J. G.; DAUGHTRY, C. S. T. Treatments of precipitation inputs to hydrologic models. **Transactions of the ASABE**, v. 54, n. 6, p. 2011-2020, 2011.
- BENE, J. G.; BEALL, H. W.; CÔTÉ, A. **Trees, food, and people: land management in the tropics**. Ottawa: International Development Research Centre, 1977. 52 p.
- BOMBARDI, L. M. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia**. São Paulo: FFLCH-USP, 2017. 296 p. Disponível em: <<https://www.larissabombardi.blog.br/atlas2017>>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- BRESSIANI, D. A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMÁ, N. B.; MENDIONDO, E. M. Review of Soil and Water Assessment Tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 8, n. 3, p. 9-35, 2015.
- CRUZ, P. P. N.; GREEN, T. R.; FIGUEIREDO, R. O.; PEREIRA, A. S.; KIPKA, H.; SAAD, S. I.; SILVA, J. M.; GOMES, M. A. F. Hydrological modeling of the Ribeirão das Posses – An assessment based on the Agricultural Ecosystem Services (AgES) watershed model. **Ambiente & Água**, v. 12, n. 3, p. 351-364, 2017.
- DREVER, J. I. **The Geochemistry of natural waters**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982. 388 p.
- FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; SCHULER, A. E. **Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 80 p.
- FIGUEIREDO, R. de O. Processos hidrológicos e biogeoquímicos em bacias hidrográficas sob usos agrícola e agroflorestal na Amazônia brasileira. In: PORRO, R. (Ed.). **Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 477-500.
- FINK, M.; KRAUSE, P.; KRALISCH, S.; BENDE-MICHL, U.; FLÜGEL W. A. Development and application of the modelling system J2000-S for the EU-water framework directive. **Advances in Geosciences**, v. 11, p. 123-130, 2007.
- GOMES, M. A. F.; BARIZON, R. R. M. **Panorama da contaminação ambiental por agrotóxicos e nitrato de origem agrícola no Brasil: cenário 1992/2011**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2014. 35 p. (Documentos / Embrapa Meio Ambiente; 98).
- GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS, 2000. 654 p.
- GREEN, T. R.; ERSKINE, R. H.; COLEMAN, M. L.; DAVID, O.; ASCOUGH, J. C.; KIPKA, H. The AgroEcoSystem (AgES) response-function model simulates layered soil-water dynamics in semi-arid Colorado: sensitivity and calibration. **Vadose Zone Journal**, v. 14, n. 8, p. 2015. DOI:10.2136/vzj014.09.0119.
- GREEN, T. R.; SCHILFGAARDE J. van. Watershed approach: context, strategy and practice. In: **ENCYCLOPEDIA of Soil Science**. New York: Marcel Dekker, 2002. p. 1874-1878.
- GUSTAFSON, D. I.; CARR, K. H.; GREEN, T. R.; GUSTIN, C.; JONES, R. L.; RICHARDS, R. P. Fractal-based scaling and scale-invariant dispersion of peak concentrations of crop protection chemicals in rivers. **Environmental Science & Technology**, v. 38, n. 11, p. 2995-3003, 2004.

HOLMES, R. T.; LIKENS, G. E. **Hubbard brook: the story of a forest ecosystem**. New Haven: Yale University Press, 2016. 288 p.

HUDSON, J. A.; CRANE, S. B.; BLACKIE, J. R. The Plynlimon water balance 1969-1995: the impact of forest and moorland vegetation on evaporation and streamflow in upland catchments. **Hydrology and Earth System Science**, v.1, p. 409-427, 1997.

KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. C.; LEITE, N. K.; HANADA, L.; VICTORIA, D. C.; TOLEDO, A. M.; OMETTO, J. P.; MOREIRA, M. Z.; GOMES, B. M.; BOLSON, M. A.; NETO, S. G.; BONELL, N.; DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKAMPE, A. K.; RICHEY, J. E. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 197-205, 2005.

LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. (Ed.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 598 p.

MACHADO, A. R.; MELLO JUNIOR, A. V.; WENDLAND, E. C. Avaliação do modelo J2000/JAMS para modelagem hidrológica em bacias hidrográficas brasileiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 327-340, 2017 .

MARCO referencial em agroecologia. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 70 p.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, A. V. B. **Restauração ecológica com sistemas agroflorestais: como conciliar conservação com produção: opções para Cerrado e Caatinga**. Brasília, DF: Instituto Sociedade, População e Natureza: Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal, 2016. 266 p.

MOLDAN, B.; CERNÝ, J. (Ed.). **Biogeochemistry of Small Catchments: a tool for environmental research**. Chichester: J. Wiley, 1994. 419 p.

MORISAWA, M. **Streams, their dynamics and morphology**. New York: McGraw Hill Book, 1968. 175 p.

PEIGNÉ, J.; BALL, B. C.; ROGER-ESTRADE, J.; DAVID, C. Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. **Soil Use and Management**, v. 23, n. 2, p. 129-144, 2007.

PRADO, R. B.; FIGUEIREDO, R. de O.; CRUZ, M. A. S.; PARRON, L. M.; FELIZZOLA, J. F.; FRITZSONS, E.; FIDALGO, E. C. C.; PEDREIRA, B. C. C. G.; CRUZ, P. P. N. **Pesquisas sobre os impactos do uso e cobertura da terra nos recursos hídricos: caracterização, estado da arte, limitações e perspectivas futuras**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 93 p. (Embrapa Solos. Documentos, 193).

RICHTER, D. D.; BILLINGS, S. A.; GROFFMAN, P. M.; KELLY, E. F.; LOHSE, K. A.; MCDOWELL, W. H.; WHITE, T. S.; ANDERSON, S.; BALDOCCHI, D. D.; BANWART, S.; BRANTLEY, S.; BRAUN, J. J.; BRECHEISEN, Z. S.; COOK, C. W.; HARTNETT, H. E.; HOBIE, S. E.; GAILLARDET, J.; JOBBAGY, E.; JUNGKUNST, H. F.; KAZANSKI, C. E.; KRISHNASWAMY, J.; MARKEWITZ, D.; O'NEILL, K.; RIEBE, C. S.; SCHROEDER, P.; SIEBE, C.; SILVER, W. L.; THOMPSON, A.; VERHOEF, A.; ZHANG, G. Ideas and perspectives: strengthening the biogeosciences in environmental research networks. **Biogeosciences**, v. 15, p. 4815-4832, 2018.

SHIMIZU, M. K.; KATO, O. R.; FIGUEIREDO, R. de O.; VASCONCELOS, S. S.; SÁ, T. D. A.; BORGES, A. C. M. R. Agriculture without burning: restoration of altered areas with chop-and-mulch sequential agroforestry systems in the Amazon region. **Global Advanced Research Journal of Agricultural Science**, v. 3, n. 12, p. 415-422, 2014.

SILVA, A. A.; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; TIRONI, S. P.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F. da; ASPIAZÚ, I.; AGNES, E. L. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 496-506, 2009.

SILVA, C. M. M. de S.; FAY, E. F. (Ed.). **Agrotóxicos e ambiente**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 400 p.

SIOLI, H. Tropical Rivers as Expressions of Their Terrestrial Environments. In: GOLLEY, F. B.; MEDINA, E. (Ed.). **Tropical Ecological Systems: Trends in Terrestrial and Aquatic Research**. New York: Springer-Verlag, 1975. p. 275-288. (Ecological Studies, 11).

SOLBÉ, J. F. L. G. (Ed.). **Effects of land use on fresh waters**. Chichester: Ellis Horwood, 1986. p. 283-295.

SWANK, W. T.; MEYER, J. L.; CROSSLEY JUNIOR, D. A. Long-term ecological research: Coweeta history and perspectives. In: BARRETT, G. W.; BARRETT, T. L. (Ed.). **Holistic Science: The Evolution of the Georgia Institute of Ecology (1940-2000)**. Ann Arbor, MI: Sheridan Books, 2001.143-163.

TOWARD sustainable agricultural systems in the 21st century. Washington, DC: The National Academies Press, 2010. 598 p.

TRUDGILL, S. T. (Ed.). **Solutes processes**. Chichester: J. Willey, 1986. p. 251-327. (Landscape Systems).

WU, Y.; SHI, X.; LI, C.; ZHAO, S.; PEN, F.; GREEN T. R. Simulation of hydrology and Nutrient Transport in the Hetao irrigation district, Inner Mongolia, China. **Water**, v. 9, n. 3, p. 1-15, 2017.



CGPE -15416

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO

