

PARTE I

# QUALIDADE AGROAMBIENTAL E SISTEMAS PRODUTIVOS SUSTENTÁVEIS

*"Sustentabilidade é sobre viver no nosso  
planeta como se pretendêssemos ficar  
nele para sempre"*  
Sir David Attenborough

# CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA NO AMBIENTE AGRÍCOLA

*Marco Antonio Ferreira Gomes, Lauro Charlet Pereira, Ricardo de Oliveira Figueiredo e Anderson Soares Pereira*

## INTRODUÇÃO

A água e o solo são recursos naturais essenciais à manutenção da vida e particularmente fundamentais para o desenvolvimento das atividades agrícolas. A degradação dos recursos hídricos e do solo no meio rural tem se tornado um grave problema, tanto no cenário internacional quanto no nacional, afetando extensas regiões do globo, e suas causas estão relacionadas ao manejo incorreto e às práticas inadequadas adotadas na agricultura. Tal situação é agravada pela existência de graves problemas de ordem ambiental e socioeconômica, o que afeta o processo de desenvolvimento sustentável de toda a cadeia produtiva, com destaque para a agropecuária. Acrescenta-se a esse cenário as mudanças climáticas em curso, que têm influenciado substancialmente na alteração do regime de chuvas em todo o planeta, com predomínio de escassez ou redução drástica em vários países, dentre os quais está o Brasil (Artaxo, 2020).

Assim, torna-se imprescindível a adoção de técnicas de cultivo com foco sustentável, preconizadas há quase duas décadas, por diversos trabalhos no Brasil, dentre os quais se destaca o Manual de Boas Práticas Agrícolas e Sistema APPCC (MANUAL de Boas Práticas Agrícolas e Sistema APPCC, 2004; Gomes et al., 2006). É fato que muitos produtores rurais têm assimilado as orientações técnicas disponibilizadas. No entanto, existe um número expressivo que não segue adequadamente tais orientações, gerando, assim, imensos impactos negativos em suas propriedades.

Para que ocorra uma mudança de comportamento de forma mais abrangente e efetiva no ambiente agrícola, é fundamental que o produtor rural compreenda a necessidade da busca permanente da sustentabilidade neste meio, como forma de tornar o setor uma força motriz capaz de sustentar todo o processo de suprimento alimentar em caráter global, tanto para os países mais ricos quanto para aqueles mais pobres.

Para tanto, a disseminação de práticas agrícolas de baixo custo, aliadas a diversas ações governamentais, com incentivos e subsídios ao meio agrícola, tornam-se funda-

mentais, principalmente para pequenos e médios agricultores. Tais ações já estão em curso em diversos países, a exemplo do Brasil, onde alguns programas estão direcionados para a adoção dos serviços ambientais e ecossistêmicos, essenciais na viabilização e sustentação, principalmente, das pequenas propriedades rurais (Prado et al., 2015; Gomes et al., 2021a).

Frente ao exposto, o presente trabalho procura evidenciar a importância das práticas de manejo e conservação do solo e da água no ambiente agrícola brasileiro, levando em conta experiências adquiridas em alguns projetos conduzidos pela Embrapa Meio Ambiente ao longo de mais de duas décadas (1994–2017). Para tanto, são apresentados resultados de várias pesquisas desenvolvidas em algumas regiões do país, bem como uma análise dos impactos gerados, tanto do ponto de vista potencial quanto efetivo, como forma de contribuição para estudos futuros, além de oferecer, ainda, a gestores em diversos níveis (municipal, estadual e federal), subsídios na formulação de políticas públicas sustentáveis para o meio rural.

## MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA EM ÁREAS TRADICIONAIS DE CULTIVO

### Projeto Guaíra, SP: Agricultura intensiva/irrigada (1994–1998; 2010–2014)

O município de Guaíra, localizado na porção norte do estado de São Paulo, caracteriza-se pela forte vocação agrícola, sobretudo na agricultura irrigada, com amplo destaque no estado para as culturas de soja, milho, tomate e feijão, desde o início dos anos 1980. Esse cenário contribuiu para que ocorresse uma demanda de pesquisa sobre as atividades desenvolvidas no meio rural do município, notadamente em relação aos impactos gerados, tanto positivos quanto negativos. Assim, de 1994 a 1998, a Embrapa Meio Ambiente deu início à execução de um projeto de pesquisa em propriedades agrícolas irrigadas de Guaíra (Latitude 20°07'22" e 20°27'30"S e Longitude 48°38'46" e 48°08'45"W), principalmente na Fazenda Macaúbas (coordenada geográfica central da propriedade: latitude 20°19' S e longitude 48°18' W), com o propósito de avaliar as práticas agrícolas adotadas, em especial os impactos gerados, e propor alternativas de manejo no sentido de tornar o sistema agrícola mais sustentável, e, ainda, com a possibilidade de replicar tais práticas em outras regiões do país (Valarini et al., 2006). Neste trabalho foi realizado um estudo metodológico, comparando-se dois tratamentos: um sistema de manejo alternativo (SA) e outro convencional (SC), utilizado pelo produtor em sistema de preparo convencional do solo (PC) ou em sistema de plantio direto (PD), tendo a mata nativa (M) como um sistema referência autossustentável. Nessa avaliação, foram adotados vários parâmetros, tais

como: a) compactação do solo, velocidade de infiltração básica da água, agregação de partículas do solo, pH, V%, CTC e teor de matéria orgânica; e b) incidência de patógenos e pragas, grupos de microrganismos, atividade enzimática da desidrogenase, polissacarídeos e biomassa microbiana e de produtividade. Após três anos, os resultados mostraram que o PD reduziu em 50% a incidência de patógenos produtores de escleródios (*Sclerotium rolfsii* e *Sclerotinia sclerotiorum*). Observou-se também melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, verificadas pela maior quantidade de matéria orgânica incorporada, maior atividade microbiana e agregação de partículas do solo avaliadas pela quantificação de polissacarídeos, desidrogenase e biomassa em carbono (C), e, por conseguinte, menor incidência dos patógenos. Tais resultados evidenciaram que as práticas de manejo de solo adotadas permitiram a melhoria das propriedades físicas do solo e facilitaram a infiltração de água, além da redução de patógenos no solo.

Outro trabalho realizado em Guaira refere-se ao uso intensivo de agrotóxicos, no qual os principais solos (Latossolo Vermelho distroférico típico – LVdf – e Latossolo Vermelho aluminoférico típico – LVaf) atuaram como uma barreira natural, principalmente devido às suas características físicas, como grande espessura, textura argilosa, e grande capacidade de armazenamento de água, impedindo, assim, o movimento desses produtos até a água subterrânea. (Filizola et al., 2002). Esse cenário mostra que o manejo adequado de solos profundos e bem estruturados pode evitar a contaminação do lençol freático por agrotóxicos, possibilitando a manutenção da qualidade e quantidade da água em subsuperfície.

Outra abordagem sobre Guaira refere-se à avaliação direta do impacto da agricultura irrigada, que pode ser obtida pela avaliação da alteração na concentração de substâncias dissolvidas na água prévia e posteriormente à sua aplicação em áreas cultivadas, e pela consideração das restrições impostas ao uso da água em consequência destas alterações, mesmo o próprio uso para irrigação. Por exemplo, um estudo realizado na região de Guaira indicou aumentos consideráveis nas concentrações de várias substâncias dissolvidas em água utilizadas para irrigação, quando comparados os sistemas de plantio direto (SPD) e de plantio convencional (SPC), de acordo com Rodrigues e Irias (2004). Mesmo que o estudo tenha evidenciado que no sistema de plantio convencional as fontes de captação (cursos d'água) estão recebendo uma carga maior de resíduos químicos, ainda assim elas apresentam menor concentração de produtos químicos em relação à água de irrigação.

Já as práticas de cultivo com adoção do sistema de plantio direto para cana-de-açúcar no município de Guaira têm alterado diversos aspectos no manejo da cultura, devido ao não revolvimento do solo e à manutenção da palha em superfície. Assim, o trabalho desenvolvido por Gonçalves et al. (2013) avaliou a fertilidade do solo em cinco áreas cultivadas com cana-de-açúcar em sistema de plantio direto (SPD) por

diferentes períodos em solo ácrico. Foram encontradas diferenças principalmente nas camadas mais superficiais. Na camada 0–20 cm, por exemplo, os teores de Matéria Orgânica (MO), Fósforo (P), Cálcio (Ca), Soma de Bases (SB), Capacidade de Troca Catiônica (CTC) e Saturação por Bases (V%) foram maiores na área mais nova (um ano). Os resultados indicam que a queda de produtividade, que leva à reforma dos canaviais, está relacionada às alterações na fertilidade do solo, com redução do pH e diminuição de Ca, MO, SB, CTC e V%. Nessa abordagem, o manejo do solo tem como foco a palhada como uma prática vegetativa de proteção do solo, com ênfase para as propriedades de ordem química (fertilidade).

Outro estudo realizado em Guaíra está relacionado ao acompanhamento da dinâmica e das taxas de decomposição de diferentes quantidades de palhada de cana-de-açúcar mantidas sob o solo após a colheita, de acordo com Moraes et al. (2014). Foi observado que a utilização da colheita mecanizada nas lavouras gera uma massa seca, ou palhada, que, ao ser depositada sobre o solo, pode provocar mudanças significativas no manejo da cultura. Rossetto et al. (2013) admitem que, embora grande parte da palhada seja decomposta ao longo do ciclo da cana-de-açúcar, transformando-se em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), os benefícios relacionados à ciclagem de nutrientes, adição de matéria orgânica e conservação do solo são consideráveis, principalmente ao longo dos anos, tendo em vista que as adições são anuais e consecutivas (Moraes et al., 2014). Nessa abordagem, há mais uma referência aos benefícios da palhada de cana-de-açúcar na manutenção das propriedades físicas e químicas do solo, mostrando a importância das diversas práticas de manejo na sua proteção. Nesse cenário, os riscos de erosão do solo são minimizados, bem como as perdas de água por escoamento superficial (*run off*).

### Impactos potenciais e efetivos gerados pelo projeto

Para efeito de interpretação e compreensão das discussões relativas aos impactos, os mesmos serão aqui definidos da seguinte forma: impactos potenciais são aqueles presumidos ou estimados, e assim apresentam valores qualitativos sobre determinado benefício (positivo) ou dano (negativo); já os impactos efetivos ou reais são aqueles avaliados ou identificados de forma concreta sobre um determinado bem ou ambiente.

Assim, na presente abordagem, tem-se que o uso de um sistema de produção alternativo, em comparação ao sistema de produção convencional (SC), sob dois sistemas de cultivo/plantio – convencional (PC) e direto (PD) –, para as culturas de soja e milho em cinco propriedades do município de Guaíra, de acordo com Valarini et al. (2006), mostrou que o SA apresenta-se promissor, com grande impacto potencial positivo, principalmente pelas reduções de escleródios no solo, da ordem de 20% a 39% e de 81% a 100% na incidência de *S. sclerotiorum* (Ss) e *S. rolfsii* (Sr), respectivamente, com predominância no PC.

Já em relação à produtividade das culturas de soja e milho, o sistema alternativo (SA) apresentou impacto efetivo positivo, com aumento para o milho de 2,9% a 14,4% em relação ao Sistema Convencional (SC), enquanto, para a soja, ocorreu o inverso, com aumento de até 14,5% no Sistema Convencional (SC).

Em relação à influência das propriedades físico-hídricas do solo na retenção de agrotóxicos, principalmente o LVdf, que é predominante na área estudada (Fazenda Macaúba), o trabalho desenvolvido por Filizola et al. (2002) mostrou que os impactos potenciais, principalmente positivos, estão associados ao impedimento que tais solos oferecem para a movimentação de agrotóxicos, sendo, assim, de grande importância na avaliação preliminar dos riscos de contaminação da água subterrânea.

Em relação aos riscos efetivos, tem-se que os resultados das avaliações físico-hídricas, aliadas ao baixo potencial de lixiviação de vários agrotóxicos utilizados à época (período entre janeiro de 1995 e julho de 1997), indicaram baixo ou nulo potencial de contaminação das águas subterrâneas na região de Guaíra. No monitoramento da água subterrânea, por exemplo, foram selecionados poços em três profundidades distintas: 1 m a 3 m, nível mínimo e máximo, 8 m a 50 m e > 100 m de profundidade, com análise dos pesticidas Captan, Clorotalonil, Clorpirifós, Dicofol, Endosulfan, Lambda-cialotrina, Metil paration e Trifluralina. Os resultados das análises de água subterrânea, para todos os produtos citados, mostraram a ausência (ND – Não Detectável) no período amostrado entre 1995 e 1997.

De fato, uma combinação entre as características físico-hídricas do solo, as práticas mecânicas adequadas de manejo e os pesticidas com baixo potencial de lixiviação ( $Koc > 300 \text{ mLg}^{-1}$ ) mostrou-se eficiente na manutenção dos aspectos quali-quantitativos da água na área estudada, sobretudo com a ausência de pesticidas na água subterrânea da região (Aquífero Guarani).

Em relação à agricultura irrigada em Guaíra, os impactos potenciais positivos que podem ser alcançados referem-se uma análise técnica comparativa entre o sistema de plantio direto na palha e o sistema convencional de preparo do solo, a partir da qual realizou-se uma avaliação da adequação desses dois sistemas com a implantação em um projeto de irrigação (Rodrigues; Irias, 2004).

Concluiu-se, então, que a introdução da irrigação, mantendo-se o sistema convencional de cultivo, com revolvimento repetido do solo e sua exposição à erosão, tende a causar um impacto negativo. Já a irrigação sob sistema de plantio direto, que tende a conservar o solo contra erosão, traria um impacto positivo, inclusive com melhorias econômicas e sociais. A variação diferencial entre os dois sistemas, para cada parâmetro, indica quais destes apresentam vantagens em cada sistema, e aponta aqueles que trarão melhorias mais significativas, caso tenham seus problemas reduzidos, em especial por alteração e adequação tecnológica.

Em relação aos impactos efetivos da irrigação na região de Guaíra, uma medida direta foi obtida pela simples avaliação da alteração na concentração de substâncias dissolvidas na água, prévia e posteriormente à sua aplicação em áreas cultivadas, e pela consideração das restrições impostas ao uso da água em consequência destas alterações, mesmo o próprio uso para irrigação. Com os resultados desses estudos, compôs-se um índice de qualidade ambiental que expressa o impacto da agricultura irrigada na microbacia estudada (Rodrigues; Irias, 2004).

A abordagem relacionada ao impacto do manejo da palhada sobre sua decomposição em área cultivada com cana-de-açúcar, desenvolvida dentro do Projeto Qualicana, de acordo com Moraes et al. (2014), mostra que ocorre um acúmulo considerável desse resíduo na superfície do solo, com maiores taxas de decomposição até 189 dias do ciclo, sendo mais lenta desse período até 328 dias. Assim, identifica-se um impacto da palhada sob dois aspectos: potencial, como matéria prima na fabricação de etanol de segunda geração, e efetivo, como fonte de nutrientes e de proteção do solo (na forma de cobertura morta) frente aos processos erosivos e à radiação solar direta.

Já o trabalho realizado por Gonçalves et al. (2013), também dentro do Projeto Qualicana, no município de Guaíra, mostrou que as áreas cultivadas com cana-de-açúcar, sob Sistema de Plantio Direto (SPD) em cinco áreas distintas, em solos semelhantes (Latosolo Vermelho, com exceção de uma área com Latossolo Amarelo), apresentaram comportamentos variáveis em relação à fertilidade, de acordo com o período em que foi cultivado.

### **Contribuições**

As contribuições dos trabalhos realizados em Guaíra, SP, aqui sumarizados, incluem vários benefícios relacionados ao manejo do solo e da água, entre os quais se destacam:

Melhoria das propriedades físicas e químicas do solo, em função da maior quantidade de matéria orgânica incorporada, maior atividade microbiana e agregação de partículas do solo, avaliadas pela quantificação de polissacarídeos, desidrogenase e biomassa em carbono e, por consequência, menor incidência de organismos patogênicos;

Manejo adequado de solos profundos e bem estruturados, a exemplo dos LVdf e LVaf, pode evitar a contaminação do lençol freático por agrotóxicos, possibilitando a manutenção da qualidade da água em subsuperfície;

O manejo do solo e a aplicação de agroquímicos interferem na qualidade da água de irrigação, com uma carga de produtos químicos maior do que a verificada nos corpos d'água, por exemplo, em áreas sob a influência do Sistema de Plantio Convencional; e

Manejo do solo com foco na palhada de cana-de-açúcar, como uma prática vegetativa, contribui para a proteção das propriedades do solo, com ênfase para as de ordem química (fertilidade). Também contribui para reduzir os riscos de erosão do solo, bem como as perdas de água por escoamento superficial (*run off*).

### **Projeto Solos Arenosos (Município de Guaraí, TO – 2013–2015): cultivo intensivo de soja**

As terras em que predominam solos arenosos, também conhecidos como solos de textura leve, distribuem-se em extensas áreas em todas as regiões do Brasil, sendo muito utilizadas em locais de intensificação da agricultura. O uso desses solos nos sistemas agrícolas tem efeito sobre suas características e atributos. Com o objetivo de avaliar as consequências desse uso sobre algumas das suas propriedades físicas, foi elaborado o Projeto Solos Arenosos, sob a Coordenação da Embrapa Solos e com a participação da Embrapa Meio ambiente. Entre as áreas selecionadas para estudo, foi contemplada uma propriedade agrícola localizada no município de Guaraí, TO. Em amostras de solos coletadas em 18 trincheiras, foram avaliadas a textura, a estabilidade dos agregados, o grau de flocculação das argilas, a porosidade, a densidade (Ds), a condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ), a infiltração e a retenção da água no solo. Os solos avaliados não apresentam nenhum dos parâmetros físico-hídricos analisados abaixo dos valores limite de degradação física ao solo, mesmo alguns deles sendo próximos, como o Diâmetro Poros Médio (DPM), que variou de 1,90 mm a 0,55 mm, o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA), que variou de 50% a 70%, e a densidade, de 1,34 g cm<sup>-3</sup> a 1,63 g cm<sup>-3</sup>. A variação da porosidade funcional (macroporosidade) entre as áreas de soja e Cerrado é bem marcante, assim como a variação da  $K_s$  no Cerrado. Como o movimento da água no solo é dependente da sua estrutura, e como a porosidade do solo é determinada pela forma como se arranjam suas partículas sólidas, observou-se que a granulometria da fração areia é um dos fatores importantes para a compreensão de seu comportamento (Filizola et al., 2017).

Apesar das restrições existentes em relação aos solos arenosos, eles são intensamente utilizados na produção de grãos e fibras e na pecuária. Solos de textura leve são aqui considerados como os que apresentam até a profundidade de 75 cm as classes texturais areia (> 850 g kg<sup>-1</sup> de areia), areia-franca (700 g kg<sup>-1</sup> a 850 g kg<sup>-1</sup> de areia) e franco-arenosa (500 g kg<sup>-1</sup> a 700 g kg<sup>-1</sup> de areia e < 200 g kg<sup>-1</sup> de argila). Esses solos ocupam área significativa do território brasileiro, como os Neossolos Quartzarênicos, que abrangem cerca de 20% da área do bioma Cerrado, em especial nas áreas de fronteira agrícola (MS, MT, TO, PI, MA e BA) (Donagemma et al., 2016). Os resultados de pesquisa obtidos por Filizola et al. (2017) em Guaraí mostram que alguns parâmetros

físicos do solo, com destaque para a macroporosidade e a densidade, se correlacionam de diversas formas com a Condutividade hidráulica saturada (Ks). A causa desse comportamento, segundo Mesquita e Moraes (2004), seria a presença de um “megaporo”, que em uma amostra de solo afetará pouco a macroporosidade, mas muito sua Condutividade hidráulica.

### **Impactos potenciais e efetivos gerados pelo projeto**

Como impactos potenciais, os resultados integrados dos diversos parâmetros físicos podem contribuir para a melhor compreensão dos mecanismos de movimentação de água e de nutrientes no solo, permitindo a adoção de práticas mais adequadas, com o consequente aumento de produtividade desses solos.

Como impacto efetivo positivo, identifica-se no trabalho a manutenção da maior parte dos parâmetros físicos analisados dos solos cultivados – exceto a macroporosidade – dentro de um padrão aceitável, mesmo sendo intensamente utilizado, o que mostra a importância de um manejo adequado, a exemplo da fazenda Bom Jesus, onde foram realizados os experimentos de campo.

Como impactos efetivos ou reais negativos, considera-se que os solos arenosos estudados, quando comparados os dois cenários – vegetação de Cerrado e áreas cultivadas com soja –, apresentam diminuição substancial da macroporosidade nessas últimas, afetando todo o sistema solo-água-planta na faixa de abrangência do sistema radicular.

### **Contribuições**

As contribuições do projeto estão relacionadas diretamente à obtenção de informações relevantes para o manejo adequado de solos arenosos e correlatos, levando em conta a interação entre os parâmetros condutividade hidráulica saturada (Ks), macroporosidade, megaporos e densidade, além da estabilidade dos agregados e do grau de flocculação das argilas.

Outra contribuição dos solos arenosos ou de textura leve refere-se ao fracionamento da areia em diversas classes de tamanho, o que permite conhecer melhor tais solos e, assim, compreender melhor seu comportamento físico.

### **Projeto GeoVale (Município de Igaratá, SP – 2015–2016): cultivo intensivo de eucalipto.**

A eucaliptocultura é de grande importância para a região do Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, onde é desenvolvida há mais de 60 anos, devido às condições

favoráveis de infraestrutura viária, industrial, comercialização, clima e grandes extensões territoriais.

O Projeto GeoVale, liderado pela Embrapa Territorial, com a participação de pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, entre 2015 e 2016, realizou estudos de aspectos físicos, morfológicos e climáticos, denominados geoambientais, para a cultura do eucalipto, em escala regional (macro) e escala local (micro), no Vale do Paraíba Paulista. Na região, há predomínio de relevo acidentado, dos tipos ondulado a forte ondulado, com solos relativamente rasos e períodos de chuva intensos, cenário esse que exige atenção especial, para evitar perdas que possam comprometer a sustentabilidade do sistema da eucaliptocultura (Gomes et al., 2019).

Em escala local (micro), foi realizado um estudo de caso, no município de Igaratá, SP, na microbacia da Fazenda Santa Marta (Longitude 46°06'30"W; Latitude 23°10'22"S; altitude 745 m), com área total de 150 hectares, quantificando-se perdas de água e de sedimentos, pelo período de 12 meses, dentro do contexto de uso e ocupação do Vale do Rio Paraíba, com a seleção de três locais representativos das três coberturas existentes na área: eucalipto com idade de 5 anos, mata nativa e pastagem em regeneração, apresentando os solos Cambissolo Háplico, classificados em Tb Distrófico latossólico úmbrico (CX1) e Tb Distrófico latossólico A moderado (CX2), com valores de declividade de 12%; 6% e 8%, respectivamente. A precipitação pluviométrica foi de 1.373,65 mm no período.

De acordo com Gomes et al. (2019), uma comparação entre as perdas de água sob as três coberturas vegetais mostra que o valor mais elevado ocorreu na pastagem sobre o Cambissolo CX2, seguida pelo eucalipto sobre Cambissolo CX1, e o menor valor na mata nativa sobre Cambissolo CX2. Situação semelhante ocorre com as perdas de solos (sólidos em suspensão), sendo constatados os valores mais elevados na cobertura de pastagem, seguidos pelas coberturas de mata nativa e de eucalipto.

### **Impactos potenciais e efetivos gerados pelo projeto**

Como impacto potencial, verifica-se que a caracterização pedogeomorfológica, aliada a uma avaliação dos componentes geoambientais, tanto em escala regional quanto no âmbito de microbacia hidrográfica, possibilita uma visão integrada do ambiente, podendo subsidiar ações com vistas à sustentabilidade da cultura do eucalipto na região do Vale do Rio Paraíba do Sul, porção paulista.

Quanto ao impacto efetivo positivo, ressalta-se que cultivo do eucalipto mostrou ser uma prática que pode oferecer condições de sustentabilidade. Além disso, ficou evidenciado que esta cultura pode coexistir com a mata nativa, consorciada ou não, devendo-se observar as condições pedogeomorfológicas e a legislação vigente.

Em relação aos impactos efetivos negativos, temos que a pesquisa em âmbito de microbacia hidrográfica foi realizada em período de tempo relativamente curto, sendo recomendável a continuidade com outras atividades na mesma microbacia, e, a partir do estudo preliminar de perdas de água e de sedimentos sob três tipos de coberturas vegetais, na microbacia da Fazenda Santa Marta, foi verificado que os solos, de forma geral, impõem fortes restrições ao uso agrícola mais intensivo.

### **Contribuições**

As contribuições deste projeto estão relacionadas diretamente à desmistificação quanto ao impacto negativo da eucaliptocultura no meio ambiente, não podendo ser, de forma genérica, rotulada como causadora de desequilíbrios ambientais, tanto em termos de microbacia hidrográfica como em escala regional. Porém, se faz necessária a adoção de práticas de manejo e conservação para que a sustentabilidade do sistema de cultivo não seja comprometida, bem como para que sejam geradas bases de informações com registros mais longos, subsidiando avaliações mais precisas dos impactos positivos da cultura.

### **Projeto GeoHevea (Município de Planalto, SP – 2016–2017): cultivo intensivo de seringueira**

O cultivo da seringueira no estado de São Paulo remonta aos anos de 1970 a 1979, fruto de uma política pública formulada e conduzida pela Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, com o objetivo de propor uma nova alternativa agrícola para os produtores paulistas, em substituição às culturas de menor rendimento, ou mesmo à agricultura de subsistência, que predominava no meio oeste do Estado (IAC, 1999, citado por Pino et al., 1997, p. 7). Assim, os seringais paulistas foram implantados e continuam concentrados no planalto ocidental do estado, principalmente nas regiões administradas pelos Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDRs) de São José do Rio Preto, Barretos, General Salgado, Catanduva, Marília, Tupã e Votuporanga, locais que concentram aproximadamente 67% da área plantada.

Considerando esse cenário do cultivo da seringueira, também chamado de heveicultura, foi proposto um trabalho de pesquisa com o envolvimento de duas Unidades da Embrapa: Embrapa Monitoramento por Satélite (atual Embrapa Territorial) e Embrapa Meio Ambiente, denominado Projeto GeoHevea, com o objetivo de avaliar a sustentabilidade e possíveis impactos ambientais dessa cultura. Para esse trabalho, realizado no município de Planalto, que faz parte da microrregião de São José do Rio Preto, foi feita a caracterização pedogeomorfológica da área, com o objetivo de conhecer os compartimentos ambientais – solo, geologia e geomorfologia – sob três tipos de

cobertura vegetal, visando oferecer subsídios básicos para as análises e avaliações de possibilidades de uso das terras e seus eventuais impactos. A área experimental adotada levou em consideração três tipos de cobertura vegetal para efeito de comparação: seringueira, mata e pastagem (Pereira et al., 2017).

O solo dominante na região é o Latossolo Vermelho, segundo o mapeamento pedológico do Estado de São Paulo (Oliveira et al., 1999). Porém, com a necessidade de atualização e melhoria dos dados e das informações sobre a área experimental, foram feitos trabalhos de campo com abertura de trincheiras (perfis), descrição morfológica e coleta de amostras para análise em laboratório, conforme Pereira et al. (2017). A geologia regional é constituída por rochas sedimentares do Grupo Bauru, que abrange boa parte do oeste do Estado de São Paulo, Triângulo Mineiro e norte do Paraná. A geomorfologia regional é característica da Província do Planalto Ocidental, com domínio de colinas amplas e suaves que produzem um relevo colinoso, com baixas declividades, de até 15% (IBGE, 2000; Martinelli, 2009). Na área de estudo, o relevo é de suave a suave ondulado, declividade entre 1% e 3%, em média, com variações de até 5%, de acordo com observações dos autores deste trabalho. A caracterização físico-ambiental da área, representada pelo solo, geologia e geomorfologia, tem grande relevância, pois, além de permitir a análise geral da área, auxilia na identificação das potencialidades e/ou limitações de uso das terras.

Outra abordagem sobre a heveicultura envolveu estudos realizados em sub-bacias tributárias do Rio Tietê, localizadas no noroeste do Estado de São Paulo, nas regiões administrativas de São José do Rio Preto e Araçatuba, onde estão concentrados 73% dos pés de seringueira plantados e 67% dos pés em produção no estado, responsáveis por 69% da produção paulista de borracha em 2015 (Instituto de Economia Agrícola, 2016). Nesse contexto, o presente trabalho foi proposto com o objetivo de mapear as áreas cultivadas com seringueiras em sub-bacias do noroeste do Estado de São Paulo, entre as quais se inclui o município de Planalto, abordado no primeiro trabalho do Projeto GeoHevea, bem como de avaliar a perda de solo nessas áreas, considerando o uso atual (com seringueiras) e usos alternativos (cana-de-açúcar e pastagens), e, assim, subsidiar o planejamento do uso adequado dessas terras (Galvão et al., 2017).

A área de estudo compreende as sub-bacias do Ribeirão Santa Bárbara, Córrego da Arribada, Ribeirão São Jerônimo, Ribeirão dos Ferreiros ou das Oficinas, e três pequenas sub-bacias, cujas águas escoam diretamente na represa do Rio Tietê (Camargo et al., 2016). A área possui cerca de 174.183 ha e está localizada entre as latitudes 20°41'28,72" e 21°13'17,08"S, e entre as longitudes 50°08'45,91" e 49°39'21,96"W.

Foram avaliadas as perdas de solo considerando a situação instalada (cenário real), ou seja, com o cultivo da seringueira, e para dois cenários alternativos de uso dessas terras, um para o cultivo da cana-de-açúcar e outro para pastagens degradadas.

A estimativa do valor médio de perda de solo nas áreas cultivadas com seringueira foi de 15,962 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Se as seringueiras fossem substituídas por pastagens degradadas, sem terraceamento, o valor médio da perda de solo passaria a ser de 30,089 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Isso corresponderia ao incremento de 88,50% nas perdas de solo. Caso a substituição fosse pela cana-de-açúcar, sem terraceamento, o valor médio da perda de solo seria de 90,186 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, o incremento nas perdas de solo seria de 465,00%

A abordagem neste estudo foi essencialmente sobre o aspecto do risco de erosão hídrica do solo. O uso das terras pelos agricultores também leva em consideração vários aspectos, tais como tradição familiar, práticas culturais (técnicas de cultivo) e, principalmente, fatores econômicos.

### **Avaliação dos impactos potenciais e efetivos**

Como impactos potenciais positivos, destaca-se a adoção do cultivo de seringueira para outras áreas ou regiões, com ocorrência dos mesmos tipos de solos e relevo, facilitando a seleção de áreas para esse tipo de cultivo.

Como impactos efetivos positivos, tem-se o conhecimento mais específico sobre as perdas de solo em função das práticas conservacionistas aliadas à substituição da seringueira por outras culturas, tais como cana-de-açúcar e pastagem.

### **Contribuições**

A caracterização físico-ambiental da área contribuiu para:

- a. O conhecimento dos diferentes compartimentos geoambientais, que permite a análise geral da área e a identificação das potencialidades e/ou limitações de uso das terras;
- b. A avaliação do potencial agrícola dos solos da área, os quais oferecem boas condições para o uso agrícola;
- c. Os resultados obtidos indicaram, ainda, que a substituição dos atuais seringais da área de estudo por pastagens degradadas implicaria no aumento das taxas anuais de perda de solo.

Se fosse adotada a prática de terraceamento agrícola na substituição dos seringais pela cana-de-açúcar, as perdas de solo seriam menores, porém ainda superiores às taxas estimadas para a substituição por pastagens degradadas sem terraceamento. Já na hipótese de substituição dos seringais por pastagens de *Brachiaria brizantha*, com preparo do solo, adubação, calagem, plantio e manejo adequados, a taxa de perda de solo diminuiria, mesmo sem a adoção de práticas conservacionistas, como o terraceamento agrícola.

## MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA EM ÁREAS FRÁGEIS

### **Projeto Guarani (Botucatu), Fase I (1993–1997/1998): Impacto ambiental e implicações socioeconômicas da agricultura intensiva em água subterrânea**

O interesse em conhecer melhor a ocupação das áreas de recarga do Aquífero Guarani (Botucatu, até 1999) surgiu em decorrência da crescente demanda por água subterrânea, uma vez que as águas superficiais têm apresentado redução substancial em seu volume, além de exigirem custos mais altos de tratamento para consumo humano. Assim, no âmbito do Mercosul, ocorreu, no início dos anos 1990, uma mobilização de vários especialistas direcionada para a gestão sustentável do Aquífero Guarani, ainda denominado de Botucatu à época. Nesse contexto, foi desenvolvido um trabalho em áreas de recarga do Aquífero Guarani na microbacia do Córrego Espraiado, região de Ribeirão Preto, por pesquisadores da Embrapa Meio Ambiente, no período 1993–1997/98. Tal trabalho possibilitou um ganho de conhecimento em relação a vários parâmetros físico-químicos relativos aos Neossolos Quartzarênicos e solos associados, bem como de alguns herbicidas neles aplicados. De fato, os estudos desenvolvidos ao longo de cinco anos na microbacia em questão revelaram a aplicação intensiva de agrotóxicos como Diuron, Ametrina, Tebuthiuron e Hexazinone.

Para efeito de análise, no entanto, foi selecionado somente o Tebuthiuron, por apresentar o maior potencial de lixiviação entre os quatro herbicidas citados. O ponto de amostragem considerado foi um poço semiartesiano, localizado na área de estudo, com aproximadamente 53 m de profundidade. O monitoramento da água e sua respectiva análise foram realizadas nos meses de outubro, novembro e dezembro de 1995, e bimestralmente de 1996 a 1998 (Gomes et al., 2001). Todavia, os níveis de Tebuthiuron encontrados ficaram abaixo daqueles considerados críticos pelo Ministério da Saúde do Brasil, Organização Mundial de Saúde, e pela EPA para os padrões de potabilidade.

Estudos de simulação do movimento vertical do Tebuthiuron também foram realizados na Microbacia do Córrego Espraiado, especificamente nas porções de recarga direta (Neossolos Quartzarênicos), cujos resultados indicaram que o produto oferece riscos para a água subterrânea (Pessoa et al., 1998; 1999). Porém, as conclusões dos trabalhos realizados indicaram a necessidade de estudos de comportamento deste herbicida por períodos mais prolongados, para confirmar o seu real potencial de contaminação da água subterrânea.

Em complemento aos estudos de ocorrência do Tebuthiuron na Microbacia do Córrego Espraiado, foram realizadas, ainda, avaliações da vulnerabilidade natural das áreas de recarga do Aquífero Guarani, como forma de auxiliar atividades futuras, visando à compreensão mais detalhada de alguns aspectos pedogeomorfológicos dessas áreas, como suporte ao uso racional e sustentável destas. Esse estudo foi realizado sobre os principais solos da microbacia do Córrego Espraiado, representados, então, pelo Latossolo Vermelho Eutroférico e Distroférico, na porção mais a montante, e pelos solos arenosos do tipo Latossolo Vermelho Distrófico psamítico e Neossolo Quartzarênico, na porção mais a jusante da área, sendo esta a porção representativa da recarga direta do Aquífero Guarani (Miklós; Gomes, 1996; Sistema brasileiro de classificação de solos, 1999).

Sobre os estudos de vulnerabilidade natural da área de recarga, foram levadas em consideração a classificação da condutividade hidráulica saturada dos solos e a declividade da área de ocorrência deles. A relação matricial entre as classes de condutividade hidráulica e de declividade resultou na classificação dos potenciais de infiltração e de escoamento superficial da água no solo (Gomes et al., 2002).

Nesse estudo foram consideradas as condições de lençol freático profundo a muito profundo para todos os solos, já que a zona saturada do Aquífero Guarani se encontra a aproximadamente 42 metros de profundidade na área estudada (a qual representa parte das chamadas “áreas de recarga” desse manancial subterrâneo).

Potencial de infiltração classificado como alto (em decorrência da alta condutividade hidráulica e da baixa declividade da área) indica alta vulnerabilidade à contaminação do compartimento água do lençol freático, com possibilidade de chegada do produto contaminante até os corpos d’água mais profundos ou à zona saturada. Como o lençol freático nessa avaliação foi substituído pela zona saturada do aquífero, esse parâmetro passou a ser neutro, e a ênfase transferida para a condutividade hidráulica do solo e a declividade do terreno.

Potencial de escoamento superficial classificado como alto, por sua vez, indica que a área é mais vulnerável à erosão e à contaminação dos corpos d’água superficiais por *run off* (Gomes et al., 2002).

### **Avaliação dos impactos potenciais e efetivos**

Como impactos potenciais positivos, tem-se a aplicação do conhecimento obtido sobre o herbicida Tebuthiuron para outras áreas semelhantes (recarga), com adoção de medidas preventivas seguras em relação aos riscos de contaminação da água subterrânea.

Como impactos efetivos positivos, destaca-se o conhecimento obtido sobre o comportamento deste herbicida, principalmente em solos arenosos, permitindo, assim, o seu uso de forma mais cautelosa, evitando riscos de contaminação do lençol freático, como também de corpos d'água mais profundos, como os aquíferos.

### **Contribuições**

O monitoramento do herbicida Tebuthiuron contribuiu, em parte, para o entendimento de seu movimento até a água subterrânea, mostrando que o fenômeno ocorre de forma relativamente rápida em solos arenosos, servindo, assim, de alerta para a necessidade de investigações mais detalhadas.

As características físicas dos solos da área estudada ressaltam a sua expressiva vulnerabilidade natural, que, aliada ao alto potencial de lixiviação e outras propriedades físico-químicas do herbicida Tebuthiuron, indicam uma situação de risco de potencial contaminação da água subterrânea.

Os resultados obtidos contribuem também para a tomada de decisão, de caráter preventivo ou mitigador, nas áreas de recarga de aquíferos sedimentares, e, ainda, servem como suporte na gestão do Aquífero Guarani, que inclui, entre outras propostas, um manejo agroambiental para as suas áreas de recarga.

### **Projeto Guarani (Botucatu), Fase II (1999 –2001): Caracterização das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil**

A segunda fase do Projeto Guarani teve como foco principal a classificação das áreas de recarga direta do Aquífero Botucatu em domínios ambientais denominados pedomorfoagroclicmáticos, bem como a avaliação de riscos potenciais de contaminação das águas subterrâneas. Nesse trabalho considerou-se os levantamentos de solo, clima, topografia, vegetação natural, geologia/hidrogeologia, e, principalmente, os sistemas de produção agrícola dessas áreas, de acordo com a descrição das atividades, a seguir: a) Definição dos contornos das áreas de recarga do Aquífero Guarani em território brasileiro, tendo como referência os mapas-base do IBGE, na escala 1:250.000; b) Digitalização do mapa geológico de todas as áreas de recarga em território brasileiro na escala 1:250.000; c) Elaboração do quadro de riscos, que subsidiará a composição do mapa final de risco potencial de contaminação, para os estados de São Paulo, Goiás e Mato Grosso, considerando a integração dos dados de carga (quantidade do produto aplicada) e vulnerabilidade natural das áreas de recarga (Gomes; Filizola, 2002; Gomes et al., 2008). Ao todo, foram identificados oito domínios principais, de acordo com a descrição a seguir:

**Domínio pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no estado de São Paulo (Planalto Médio Paulista – três Faixas).**

Esse domínio abrange cerca de 16.000 km<sup>2</sup>, ocupando uma faixa de norte a sul do estado, localizada na porção Centro-Oeste, inserido nas coordenadas 21° e 23° de Latitude Sul, e 47° e 50° de Longitude Oeste.

**Domínio pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no estado de Minas Gerais (Borda Ocidental da Mantiqueira).**

Esse domínio ocupa cerca de 1.500 km<sup>2</sup>, a menor entre todos os estados que possuem áreas de recarga, abrangendo as coordenadas 20°00' e 21°20' de Latitude Sul, e 47° e 47°20' de Longitude Oeste.

**Domínios pedomorfoagroclimáticos das áreas de recarga do Aquífero Guarani no estado de Goiás (Nascentes do Araguaia).**

Em Goiás, essa área possui cerca de 15.000 km<sup>2</sup>, sendo que grande parte dela está distribuída ao longo da região das nascentes do Rio Araguaia, na divisa dos estados de Goiás e Mato Grosso, entre os paralelos 17°00' e 20°00'S e os meridianos 51°30' e 55°30'O.

**Domínios pedomorfoagroclimáticos das áreas de recarga do Aquífero Guarani na porção leste do estado de Mato Grosso (Nascentes do Araguaia).**

A área de afloramento nessa porção é de cerca de 9.000 km<sup>2</sup>, considerando a região de Alto Garças, e encontra-se sob a abrangência do Rio Araguaia, situada entre os paralelos 16°40' e 17°00'S, e os meridianos 53°30' e 54°00'O.

**Domínio pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no estado de Mato Grosso do Sul (Alto Taquari).**

Essa área representa cerca de 33.000 km<sup>2</sup> e está localizada entre as latitudes 17°00' e 20°00'S e as longitudes 53°00' e 55°00'O, abrangendo em quase toda sua extensão a bacia hidrográfica do Alto Taquari.

### **Domínio pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no estado do Paraná (Planalto Médio Paranaense).**

A área abrange cerca de 7.000 km<sup>2</sup>, distribuída ao longo de uma faixa estreita a oeste de Curitiba, com extensão de norte a sul.

### **Domínio pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no estado de Santa Catarina (Planalto Médio Catarinense).**

A área desse domínio é de cerca de 5.000 km<sup>2</sup>, abrangendo os municípios da região de Lages. A porção de recarga no estado apresenta uma faixa bastante delgada, tendo em alguns locais menos de 1 km de largura.

### **Domínios pedomorfoagroclimáticos das áreas de recarga do Aquífero Guarani no estado do Rio Grande do Sul (Serra Gaúcha/Encosta inferior nordeste, Borda do Planalto Médio/Missões e Campanha).**

A área desse domínio possui cerca de 13.500 km<sup>2</sup>, distribuída ao longo de uma faixa delgada de leste a oeste do estado, com inflexão para o sul até a divisa com o Uruguai. Essa faixa encontra-se inserida nas coordenadas 29°00' e 30°00' de Latitude Sul, e 50°30' e 55°40' de Longitude.

A divisão das áreas de recarga em oito domínios auxilia, ainda que de forma preliminar, na escolha de porções potencialmente mais críticas, e mesmo para intervenção imediata naquelas identificadas como “piores casos”, já que são consideradas frágeis do ponto de vista ambiental. A classificação de riscos potenciais de contaminação para essas áreas, por exemplo, tem como suporte as informações obtidas a partir dos domínios em questão.

### **Impactos potenciais e efetivos gerados pelo projeto**

Como impactos potenciais positivos, destaca-se a contribuição para aplicação desses conhecimentos e técnicas utilizadas para outras regiões, de forma a ampliar o entendimento e compreensão das chamadas “áreas de recarga direta de aquíferos sedimentares”.

Quanto aos impactos efetivos, de caráter positivo, destaca-se a importância desses resultados como suporte à avaliação do Ordenamento Agroambiental, aplicado às áreas de recarga dos domínios: Nascentes do Araguaia (Divisas estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) e Planalto Médio Paulista (Faixa Central – região de Ribeirão Preto, SP), descritos nas Tabelas 6.1 e 6.2.

## **Contribuições**

Subsidiar proposta de gestão ambiental para as áreas de recarga de aquíferos sedimentares, apoiada nas técnicas de Boas Práticas Agrícolas, com visão sustentável do ponto de vista agroambiental.

### **Projeto Guarani, Fase III (2002–2005): Ordenamento Agroambiental das Nascentes do rio Araguaia - cultivo de soja e pastagem em áreas de recarga do Aquífero Guarani e da Microbacia do Córrego Espraiado - cultivo intensivo de cana-de-açúcar**

A concepção do ordenamento agroambiental para a Microbacia do Córrego Espraiado, na região e Ribeirão Preto, SP, e para as Nascentes do Rio Araguaia, entre os municípios de Mineiros, GO, e Alto Taquarí, MT, fundamentou-se na integração das seguintes bases de informações: a) levantamento das características fisiográficas e de uso agrícola das áreas a serem estudadas; b) avaliação da vulnerabilidade natural; c) classificação da capacidade de uso das terras e determinação de áreas de conflito; c) qualificação e quantificação dos agrotóxicos de maior risco para a água subterrânea; d) realização de estudos de risco de contaminação da água subterrânea; e) identificação do perfil socioeconômico e cultural dos produtores localizados nas áreas de estudo (Gomes et al., 2008). Os resultados obtidos estão expressos nas tabelas 6.1 e 6.2, respectivamente, que exibem o Ordenamento Agroambiental das áreas de São Paulo (Microbacia do Córrego Espraiado) e de Goiás/Mato Grosso (Nascentes do Rio Araguaia).

## **Impactos potenciais e efetivos gerados pelo projeto**

Entre os impactos potenciais positivos, destaca-se a aplicação da proposta de ordenamento para outras regiões do país, principalmente no auxílio aos trabalhos de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE).

Em relação aos impactos efetivos, considera-se a contribuição imediata do ordenamento para as duas regiões estudadas, tornando-as ambientalmente mais equilibradas, e um instrumento promissor de gestão agroambiental.

### **Contribuições**

O Ordenamento Agroambiental das áreas de recarga do Aquífero Guarani em território brasileiro tem o objetivo dar subsídios a diversas ações voltadas para a sustentabilidade de áreas frágeis ou de alta vulnerabilidade natural. As informações constantes das Tabelas 6.1 e 6.2, de acordo com Gomes et al. (2008), permitem uma visão de como usar racionalmente áreas com tais características, servindo de suporte para a elaboração de um documento orientador direcionado à formulação de políticas públicas, a partir de um conjunto de medidas que inclui as Boas Práticas Agrícolas, ajustadas para cada domínio pedomorfoagrocliclimático.

Tabela 6.1. Proposta de ordenamento agroambiental a partir da integração entre aptidão agrícola e vulnerabilidade natural dos solos da microbacia do córrego Espriatado, região de Ribeirão Preto, SP.

Material de origem (geologia)	Classe de Solo	Aptidão Agrícola <sup>1</sup>	Vulnerabilidade <sup>2</sup>	Ordenamento Agroambiental
Basaltos (Fm Serra Geral)	Latossolos Vermelhos Eutroférricos (LVef)	1Bc	Baixa/Média	Solos adequados para cultivo anual (Ca), com adoção do sistema de controle biológico de pragas e doenças (cbpd). Recomenda-se cultivo com alternância ou rotação (Rc) de espécies leguminosas e gramíneas – Ca <sub>(cbpd)</sub> + (Rc).
	Latossolos Vermelhos Distroférricos e Acriférricos (LVdf/wf)	2bc		
Basaltos (Fm Serra Geral) + Arenitos (Formação Botucatu) em menor proporção	Latossolos Vermelho-Amarelos Distroférricos/Alícos Argilosos (LVAdb/ab)			Podem ser usados também para culturas semi-perenes (Csp) e culturas perenes (Cp). Recomenda-se, nesses casos, um controle rígido dos defensivos agrícolas utilizados.
Basaltos (Fm Serra Geral) + Arenitos (Formação Botucatu) em proporções semelhantes	Latossolos Vermelhos Distroférricos/Alícos psamíticos (LVdq/aq)		Média/Alta	Solos adequados para cultivo anual com adoção do sistema de controle biológico de pragas e doenças – Ca(cbpd) integrado a pastagem plantada (Pp) – ou sistema integrado lavoura/pecuária (L <sub>ip</sub> ), além de outros que minimizem a entrada de insumos agrícolas.
Basaltos (Fm Serra Geral)	Nitossolos Vermelhos Eutroférricos (NVef)	2b(c)	Muito Baixa/Baixa	Solos adequados para atividades de olericultura e agricultura de subsistência – (O) + (A).
Basaltos (Fm Serra Geral)	Neossolos Litólicos Eutroférricos/Distroférricos (RLe/d)	6ff	Nula/Muito Baixa	Solos adequados para cobertura de vegetação natural – Áreas de Preservação Permanente (APP). Nesse caso, deve-se considerar as APP e o tipo de vegetação conforme o ambiente local (ex: várzeas, escarpas, nascentes etc.).
	Material detrito-laterítico retrabalhado (TQdl)	6FF	Alta/Muito Alta	
Arenito (Fm Botucatu)	Neossolo Quartzarênico (RQoa/d)	5(n)	Alta	Solos adequados para cobertura de vegetação natural de porte médio (típicos do ambiente intermediário das vertentes) integrada com pastagem plantada – (APP) + (Pp).

<sup>1</sup>Bc: Classe 1, com aptidão boa para lavoura no nível de manejo B, e regular no nível de manejo C; 2bc: Classe 2, com aptidão regular para lavoura nos níveis de manejo b e c; 2(b)c: Classe 2, com aptidão regular no nível de manejo C, e restrito no nível B; 2b(c): Classe 2, com aptidão agrícola regular nos níveis de manejo B, e restrito em C; 5(n): Classe 5, com aptidão agrícola restrita para pastagem natural e inapta para silvicultura; 6: Classe off, sem aptidão agrícola, mas com aptidão regular para fauna e flora; 6FF: aptidão boa para fauna e flora.

<sup>2</sup> nula (0% exposição ao risco de contaminação do lençol freático ou o nível de base do curso d'água); muito baixa (0% a 10%), baixa (10% a 20%), média (20% a 40%); alta, (40% a 60%); muito alta (> 60%).

**Tabela 6.2.** Proposta de ordenamento agroambiental a partir da integração entre aptidão agrícola e vulnerabilidade natural dos solos das nascentes do rio Araguaia, GO/MT.

Material de origem (geologia)	Classe de Solo	Aptidão Agrícola <sup>1</sup>	Vulnerabilidade <sup>2</sup>	Ordenamento Agroambiental
Basaltos (Fm Serra Geral) + arenitos e calcários da Formação Bauru	Latossolos Vermelhos Distróficos típicos (LVd)	1bC	Muito Baixa/Baixa	Solos adequados para cultivo anual (Ca), com adoção do sistema de controle biológico de pragas e doenças (cbpd). Recomenda-se cultivo com alternância ou rotação (Rc) de espécies leguminosas e gramíneas – Ca <sub>(cbpd)</sub> + (Rc).  Podem ser usados também para culturas semi-perenes (Csp) e culturas perenes (Cp). Recomenda-se, nesses casos, um controle rígido dos defensivos agrícolas utilizados.
Basaltos (Fm Serra Geral) + arenitos e calcários da Formação Bauru	Latossolos Vermelhos Acrícos típicos (LVw)	2(b)c		
Basaltos (Fm Serra Geral) + Arenitos da Formação Botucatu.	Latossolos Vermelho- amarelos Distróficos psamíticos (LVAdq)		Média/Alta	Solos adequados para cultivo anual com adoção do sistema de controle biológico de pragas e doenças – Ca <sub>(cbpd)</sub> integrado a pastagem plantada (Pp) – ou sistema integrado lavoura/pecuária (I <sub>pp</sub> ), além de outros que minimizem a entrada de insumos agrícolas.
Basaltos (Fm Serra Geral)	Plintossolos Pétricos Concrecionários Distróficos (FFcd)	6	Nula/Muito Baixa	Solos adequados para cobertura de vegetação natural – Áreas de Preservação Permanente (APP). Nesse caso, deve-se considerar as APP e o tipo de vegetação conforme o ambiente local (ex: várzeas, escarpas, nascentes etc.).
Arenito (Fm Botucatu)	Neossolos Flúvicos Psamíticos (RUq)		Alta/Muito Alta	
Arenito (Fm Botucatu)	Neossolos Quartzarênicos (RQoa/d)	4p	Alta	Solos adequados para cobertura de vegetação natural de porte médio (típicos do ambiente intermediário das vertentes) integrada com pastagem plantada – (APP) + (Pp).

<sup>1</sup> 1bC: Classe 1, com aptidão boa para lavoura no nível de manejo C (altamente tecnificado), e regular no nível de manejo B; 2 (b): Classe 2, com aptidão boa no nível de manejo C, e restrito no nível B; 2ab(c): Classe 2, com aptidão agrícola regular nos níveis de manejo A e B, e restrita no nível C; 4p: Classe 4, com aptidão agrícola regular para pastagem plantada; 6: Classe 6, sem aptidão agrícola.

<sup>2</sup> nula (0% exposição ao risco de contaminação do lençol freático ou o nível de base do curso d'água); muito baixa (0% a 10%); baixa (10% a 20%); média (20% a 40%); alta (40% a 60%); muito alta (> 60%).

## Perdas de sedimento e água sob pastagem em áreas de alta declividade em uma sub-bacia hidrográfica em Extrema, MG.

A sub-bacia do Ribeirão das Posses ocupa área de 1.196,7 hectares no Município de Extrema, MG, e possui vertentes de elevada declividade. Este ribeirão é um dos afluentes do Rio Jaguari, que abastece o Sistema Cantareira e compõe a rede de drenagem da bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (bacias PCJ). Além disso, a sub-bacia do Ribeirão das Posses, ao lado de outras sub-bacias no município de Extrema, é alvo de um programa pioneiro no país para pagamento por serviços ambientais hídricos (Jardim; Bursztyn, 2015). Nesse contexto, a Embrapa Meio Ambiente e seus parceiros desenvolveram um projeto de pesquisa com o monitoramento da qualidade das águas do Ribeirão das Posses, com o objetivo de avaliar a resposta das ações de recuperação ambiental implementadas nessa bacia e conduzidas pelo referido Programa (Figueiredo et al., 2021). Tal pesquisa também envolveu estudos sobre as perdas de água e de solo (transporte de sedimentos) por escoamento superficial em uma vertente próxima à nascente principal do Ribeirão das Posses (Gomes et al., 2017; 2021a; 2021b). Essa vertente, definida como uma topossequência (sequência de pontos estudados em uma encosta), possui declividade variável entre 19% e 55%, com dois tipos de cobertura vegetal: floresta com 10% da área e pastagem com o restante (90%). Os solos são representados por Cambissolos Húmicos (CHe e CHd), Argissolos Câmbicos (PVAd) e Neossolos Litólicos (RLd), de acordo com Gomes et al. (2017) e Santos et al. (2018).

Os resultados obtidos, de acordo com os dados da Tabela 6.3, revelam que, sob cobertura de floresta, os Cambissolos (CHe) apresentam perdas bem inferiores quando comparadas à cobertura de pastagem em Argissolos e Neossolos. A exceção é o Cambissolo CHd, que apresenta pouca diferença em relação ao CHe, particularmente em relação às perdas de água, cujos valores correspondem a  $392 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e  $380 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , respectivamente. No caso dos sedimentos, os valores de perdas exibem diferenças maiores, com  $4,7 \text{ kg ha}^{-1}$  para o Che, e  $7,1 \text{ kg ha}^{-1}$  para o CHd, o que mostra a proteção da floresta em relação ao transporte de sedimentos, já que os solos são semelhantes (Gomes et al., 2017, 2021b).

Visando ao melhor entendimento em relação às considerações feitas por Gomes et al. (2017), os parâmetros/atributos (Declividade, Condutividade hidráulica não saturada (K), Densidade do solo, Argila, Areia, Silte e Matéria orgânica) foram reavaliados por Gomes et al. (2021b), de acordo com a Tabela 6.3, a partir da interação entre eles, com uma matriz de correlação por meio do cálculo do coeficiente de correlação linear de Pearson (Lira, 2004).

**Tabela 6.3.** Declividade (D%) da toposequência, com os parâmetros Condutividade hidráulica não saturada (K), Densidade do solo (Ds), Argila (ARG), Areia (A), Silte (S) e Matéria orgânica (MO), obtidos pela média entre as profundidades: 0 cm – 20 cm e de 20 cm – 40 cm, e valores de perdas de água e de sedimentos por hectare.

Solo	D (%)	K (cm h <sup>-1</sup> )	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	MO (g kg <sup>-1</sup> )	Perdas Água (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	Perdas Sedimento (kg ha <sup>-1</sup> )
CHe	55	3,39	1,1	560	190	250	158,07	380,09	4,71
CHd	53	3,25	1,2	550	180	270	147,04	392,49	7,10
PVA1	35	1,51	1,5	540	220	240	118,38	437,25	14,42
PVA2	23	1,85	1,4	510	240	250	105,26	509,95	14,96
RL1	21	0,96	1,6	480	290	230	109,83	948,03	20,19
RL2	19	0,85	1,8	470	260	270	96,40	901,22	23,31

Fonte: Adaptado de Gomes et al. (2017, 2021b).

Na reavaliação dos dados obtidos por Gomes et al. (2017), foi confirmado que o tipo de solo e seus atributos K, Ds, Argila, Areia, e MO influenciam as perdas de água e de sedimentos em suspensão, ficando a declividade (D%) em segundo plano. Os exemplos dessa condição são os solos CHe (mata) e CHd (pastagem), que, mesmo estando sob coberturas distintas e condições de declividade elevadas, da ordem de 55% e 53%, respectivamente, apresentam menores perdas, tanto de água quanto de sedimentos, em comparação com os Argissolos e Neossolos Litólicos, situados em posições de menor declividade na toposequência estudada. No caso específico destes solos, os valores maiores de densidade (Ds), aliados aos baixos teores de matéria orgânica (MO), como também aos baixos teores de argila, influenciaram no aumento das perdas de água e de sedimentos. Os valores elevados de densidade do solo (Ds), indicam que as áreas de pastagem com declividade de até 35% necessitam de uma reavaliação das práticas de uso para tornarem a infiltração e percolação da água ou condutividade hidráulica não saturada (K) satisfatórias e, assim, reduzirem as perdas por escoamento superficial. Entre as principais conclusões desse estudo, de acordo com Gomes et al. (2017, 2021a), está o manejo adequado dos solos dessa sub-bacia, que, assim, atuarão na provisão dos serviços ecossistêmicos como “reservatório e filtro de água”, favorecendo a conservação do solo e contribuindo para o aumento da vazão do Rio Jaguari.

### Impactos potenciais e efetivos gerados pelo projeto

Entre os impactos potenciais positivos, destaca-se a possibilidade dos comportamentos dos dois Cambissolos Húmicos ocorrerem em toda a sub-bacia estudada,

uma vez que, mesmo em condições de alta declividade, tais solos exibem baixas perdas de água e de sedimentos por *run off*.

Sobre os impactos potenciais negativos, há a possibilidade de aumento de perdas de sedimentos nos Argissolos e Neossolos Litólicos na área estudada e em toda a sub-bacia do Ribeirão das Posses, se forem adotadas as mesmas práticas de manejo do solo atuais.

Em relação aos impactos efetivos positivos, destacam-se os comportamentos dos Cambissolos Húmicos eutrófico e distrófico, que, mesmo em locais de alta declividade, apresentam baixas perdas de água e de sedimentos por *run off*.

Entre os impactos efetivos negativos, destaca-se o aumento de perdas de solos/sedimentos nos Argissolos e Neossolos Litólicos na topossequência estudada.

### Contribuições

Os estudos realizados mostram que o manejo do solo com adoção das práticas conservacionistas disponíveis, orientadas pelos atributos físicos dos solos, não apenas contribuem para a redução das perdas de água e de sedimentos por escoamento superficial, como também favorece o recarregamento do lençol freático, proporcionando assim o aumento do volume de água da sub-bacia estudada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo e a conservação do solo e da água no ambiente agrícola é de fundamental importância para a manutenção da produtividade, como também da sustentabilidade do sistema agroambiental.

Os resultados de diversos trabalhos de pesquisa aqui apresentados, desenvolvidos diretamente ou com a participação da Embrapa Meio Ambiente, evidenciam a importância de que a conservação, tanto do solo quanto da água, deve se fundamentar nas práticas vegetativas, edáficas e mecânicas, preconizadas e embasadas na literatura específica sobre o tema.

## REFERÊNCIAS

- ARTAXO, P. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos Avançados*, v. 34, n. 100, p. 53-66, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/so103-4014.2020.34100.005>.
- CAMARGO, A. A.; GALDINO, S.; QUARTAROLI, C. F. Delimitação de bacias hidrográficas utilizando modelo digital de terreno gerado a partir de mapas topográficos e imagens de alta resolução espacial. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA 10., 2016, Campinas. *Anais...* Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2016. p. 1-11.
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. de; BALIEIRO, F. de C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAUJO FILHO, J. C. de; SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE, M. R. de; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema brasileiro de classificação de solos - SiBCS. 5.ed. (Revisada e ampliada). Brasília: Embrapa Solos, 2018. 356p.
- FIGUEIREDO, R. de O.; SIMIOLI, M. M.; JESUS, T. V. U. C.; CRUZ, P. P. N. da; SILVA, G. B. S. da; NOGUEIRA, S. F.; GREEN, T. R.; CAMARGO, P. B. de. Hydrobiogeochemistry of two catchments in Brazil under forest recovery in an Environmental Services Payment program. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 193, article 3, 2021. p. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08773-6>.
- FILIZOLA, H. F.; FONTANA, A.; DONAGEMMA, G. K.; SOUZA, M. D. de; BORTOLON, E. S. O.; BORTOLON, L. **Qualidade física de solos influenciada pelo uso e manejo na região de Guarai-TO.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2017. 34 p. il. (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 72).
- FILIZOLA, H. F.; FERRACINI, V. L.; SANS, L. M. A.; GOMES, M. A. F.; FERREIRA, C. J. A. Monitoramento e avaliação do risco de contaminação por pesticidas em água superficial e subterrânea na região de Guaira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 37, n. 5, p. 659-667, 2002.
- GALDINO, S.; QUARTAROLI, C. F.; TOSTO, S. G.; GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C.; SOUZA, M. D. de; CAMARGO JÚNIOR, A. A. **Modelagem espacial da erosão do solo para diferentes usos da terra em áreas cultivadas com seringueiras em sub-bacias do noroeste do Estado de São Paulo.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2017. 16 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 120).
- GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea.** Jaguariúna: [s. n.], 2002. 32 p. (Relatório de projeto).
- GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; CHAIM, A.; PAULA, M. M. de; CABALALL, M. R.; SOUZA, M. D. de; DIOGO, A. **Boas práticas agrícolas para as áreas de nascentes do rio Araguaia-GO/MT: controle de processos erosivos e aplicação otimizada de defensivos agrícolas.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 6 p. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 38).
- GOMES, M. A. F.; FILIZOLA, H. F.; SPADOTTO, C. A.; PEREIRA, A. S. Caracterização pedomorfoagrolimática das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: base para uma proposta

de gestão sustentável. In: GOMES, M. A. F. (ed.). **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani no Brasil: implicações para a água subterrânea e propostas de gestão com enfoque agroambiental**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008. p. 47-64.

GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C.; FIGUEIREDO, R. de O.; TÔSTO, S. G. **Perdas de água e de sedimentos em uma topossequência sob as coberturas de pastagem e de mata nativa na sub-bacia do Ribeirão das Posses, município de Extrema, MG**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2017. 12 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Comunicado Técnico, 41).

GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C.; PEREIRA, A. S.; PAZIANOTTO, R. A. A. **Aspectos geoambientais da eucaliptocultura no Vale do Paraíba Paulista**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2019. 28 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 118).

GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C.; TÔSTO, S. G.; FIGUEIREDO, R. O.; GALDINO, S.; QUARTAROLI, C. F. **Perdas de água e de sedimentos em uma sub-bacia como contribuição à análise de serviços ambientais, Extrema, MG**. *Revista Terceira Margem Amazônia*, v. 6, n. especial 16, p. 127-137, 2021a. DOI: <http://dx.doi.org/10.36882/2525-4812.2021v6i16.ed.esp.p127-137>.

GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C.; TÔSTO, S. G.; PAZIANOTTO, R. A. A. **Atributos de solos e suas relações com as perdas de água e de sedimentos por escoamento superficial em Extrema/MG**. 2021b. In: SEABRA, G. (org.). **Terra: vulnerabilidades e riscos ecológicos**. Ituiutaba: Barlavento, 2021b. p. 1206-1216.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; LANCHOTTE, V. L. **Ocorrência do herbicida tebuthiuron na água subterrânea da microbacia do córrego espraçado, Ribeirão Preto - SP**. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 11, p. 65-76, 2001.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A.; PESSOA, M. C. P. Y. **Avaliação da vulnerabilidade natural do solo em áreas agrícolas: subsídio à avaliação do risco de contaminação do lençol freático por agroquímicos**. *Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente*, v. 12, p. 169-179, 2002.

GONÇALVES, J. R. P.; RAMOS, N. P.; FILIZOLA, H. F.; ANDRADE, C. A. de; PACKER, A. P.; VIEIRA, H. B. **Fertilidade de solos cultivados com cana de açúcar em sistema plantio direto por diferentes períodos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. **Ciência do solo: para quê e para quem: anais**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 4 p.

IBGE. **Atlas nacional do Brasil**. Rio de Janeiro, 2000.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Estatísticas da produção paulista**. Disponível em: [http://ciagri.iea.sp.gov.br/niai/subjectiva.aspx?cod\\_sis=1&idioma=1](http://ciagri.iea.sp.gov.br/niai/subjectiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1). Acesso em: 14 nov. 2016.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. **Pagamento por serviços ambientais na gestão dos recursos hídricos: o caso de Extrema (MG)**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 3, p. 353-360, 2015.

LIRA, S. A. **Análises de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 2004. 209 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MANUAL de boas práticas agrícolas e sistema APPCC. Brasília, DF: CampoPAS: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 99 p. (Qualidade e Segurança dos Alimentos).

- MARTINELLI, M. Relevo do Estado de São Paulo. *Confins*, v. 7, 2009. Disponível em: <http://confins.revues.org/6168>. Acesso em: 18 abr. 2017.
- MESQUITA, M. da G. B. de F.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, v. 34, n. 3, p. 963-969, 2004.
- MIKLÓS, A. A. W.; GOMES, M.A.F. **Levantamento semi-detalhado dos solos da Bacia Hidrográfica do Córrego Espraiado, Ribeirão Preto-SP**. Jaguariúna: [s. n.], 1996. 48 p. (Relatório de Consultoria).
- MORAES, G. de C.; ROSSI, P.; PIRES, A. M. M.; ROSSETTO, R.; RAMOS, N. P. Impacto do manejo da palhada sobre sua decomposição em área cultivada com cana-de-açúcar no município de Guaiúra-SP. In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8., 2014, Campinas. *Anais...* Campinas: Instituto Agronômico, 2014. RE Nº 14414. 8 p.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSI, M.; BRAZ-CALDERANO, F. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agronômico; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 64 p.
- PEREIRA, L. C.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; TOSTO, S. G. **Caracterização físico-ambiental de uma área experimental no município de Planalto-SP**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2017. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Comunicado Técnico, 42).
- PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; CERDEIRA, A. L.; NICOLELLA, G.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em latossolos da área de recarga do Aquífero Botucatu (Guarani) em Ribeirão Preto, SP. *Revista Científica Rural*, v. 4, n. 1, p. 15-24, 1999.
- PESSOA, M. C. P. Y.; GOMES, M. A. F.; SOUSA, M. D. de; NICOLELLA, G.; CERDEIRA, A. L.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em areia quartzosa da área de recarga do Aquífero Guarani (antigo Botucatu) em Ribeirão Preto, SP. *Revista Científica Rural*, v. 3, n. 2, p. 11-19, 1998.
- PINO, F. A.; FRANCISCO, V. L. F. dos S.; TORRES, A. J.; LORENA NETO, B.; CASER, D. V.; BIRAL, M. A. de M. (org.). **Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo**. São Paulo: IEA: CATI, 1997. 4 v.
- PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; FERREIRA, J. N.; CAMPANHA, M. M.; VARGAS, L. M. P.; MATTOS, L. M. de; PEDREIRA, B. da C. C. G.; MONTEIRO, J. M. G.; TURETTA, A. P. D.; MARTINS, A. L. da S.; DONAGEMMA, G. K.; COUTINHO, H. L. da C. Pesquisas em serviços ecossistêmicos e ambientais na paisagem rural do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 8, p. 610-622, 2015. Número especial IV SMUD.
- RODRIGUES, G. S.; IRIAS, L. J. M. **Considerações sobre os impactos ambientais da agricultura irrigada**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 7 p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 7).
- ROSSETTO, R.; VITTI, A. C.; PEREIRA, M. G. **Cana de açúcar: cultivo e sustentabilidade**. Piracicaba: Ipn, 2013. 13 f.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SISTEMA Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

VALARINI, P. J.; FRIGHETTO, R. T. S.; TOKESHI, H.; MORSOLETO, R. V. **Desenvolvimento de método e indicadores de avaliação do impacto ambiental das práticas de manejo em sistemas de produção intensivos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 24 p. - (Embrapa Meio Ambiente. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 36).