

# Impactos Sobre a Biota e a Qualidade de Latosolos Cultivados com Cana-de-Açúcar

Georgia R. S. Sant'Ana & Selma S. Castro

Em Goiás, a expansão da cultura da cana-de-açúcar destaca-se, estando hoje entre as três maiores áreas cultivadas no Brasil. O presente estudo analisou a influência das diferentes práticas de manejo no cultivo de cana-de-açúcar na Microrregião de Quirinópolis, utilizando-se de indicadores biológicos, físicos e químicos. Foram selecionados oito sítios amostrais em áreas ocupadas por solos do tipo Latossolo Vermelho Distrófico e Distroférico e dois mananciais próximos da cultura, com coletas a montante e a jusante. Concluiu-se que as diferentes práticas agrícolas influenciam diretamente na dinâmica do solo e da água, quanto aos seus aspectos físicos, químicos e biológicos, evidenciando-se bioindicadores.

**Palavras-chaves:** *Qualidade do solo; qualidade da água; bioindicadores.*

In Goiás, the expansion of cultivation of sugar cane stands and is now among the three largest areas cultivated in Brazil. The present study examined the influence of different management practice in the cultivation of sugar cane in the micro-region of Quirinopolis, using biological, physical and chemical indicators. Eight sampling sites were selected in areas occupied by soil type Red Oxisol dystrophyc and distroferric and two springs coming from culture collections with upstream and downstream. It was concluded that the different agricultural practices directly influence the dynamics of soil and water, regarding their physical, chemical and biological aspects, evidencing bioindicators.

**Key words:** *Soil quality; water quality; bioindicators.*

## Introdução

A expansão da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) no cenário agrícola brasileiro tem sido impulsionada por tecnologias que contribuem para a redução de custo de produção e uma maior produtividade<sup>1</sup>. Tal expansão vem se dando em direção à região Centro-Oeste, em particular nos estados de Mato Grosso do Sul (MS) e Goiás (GO), onde ocorrem grandes extensões em área com condições edafoclimáticas e logísticas (incluindo melhoria e expansão) favoráveis<sup>2,3,4</sup>.

Segundo dados da literatura<sup>5</sup>, o município de Quirinópolis, juntamente com Gouvelândia, situados na porção sudoeste da região sul do estado de Goiás e que integram a microrregião de Quirinópolis (MRQ), lideram a nova centralidade do setor no estado e no país, no qual a cana chegou em 2004<sup>6</sup>. Quirinópolis, em particular, destaca-se como o principal município em área plantada no estado e já superou o município de Santa Helena de Goiás, o qual, durante muito tempo, liderou o *ranking* da produção de cana no estado de Goiás.

A história da cana-de-açúcar, em Goiás, não é recente, pois em 1935, já havia cerca de 1400 engenhos nos municípios goianos<sup>7</sup>. A produção aumentou gradativamente até 1988, tendo alcançado o declínio em 1995 e, daí em diante, experimentou novo e notável crescimento, sendo um dos principais eixos da recente expansão de fronteira da cana-de-açúcar no país e no Cerrado. Tanto é assim que na safra de 1995/1996 apresentou uma produção de seis milhões de toneladas, na safra 2008/2009, saltou para uma produção de 29 milhões de toneladas e continua crescendo. Na safra 2009/2010, alcançou 40 milhões de toneladas, passando a 46 milhões de toneladas na safra 2010/2011, a 48 milhões de toneladas na safra 2011/2012, e tem uma previsão de 51 milhões de toneladas para atual safra 2012/2013<sup>8</sup>. Isso significa um incremento da ordem de 850% no período, tendo por base a safra 1995/1996<sup>6</sup>.

Na mesorregião Sul do estado, as microrregiões com maior área plantada na atualidade são Sudoeste de Goiás, Meia Ponte e Quirinópolis. Estudos<sup>9,2</sup> demonstraram que, na microrregião Meia Ponte, a expansão da cana-de-açúcar deu-se por meio de substituição de culturas, principalmente de soja e, secundariamente, pastagem.

A expansão inicial da cana-de-açúcar na MRQ iniciou-se em 2004, com a primeira safra colhida em 2006/2007, e prossegue até os dias atuais. Possui sete usinas, estando quatro em operação e três em implantação, e já provocou mudanças significativas na forma de uso e ocupação das suas terras, que refletem na mudança da paisagem, evidenciada pela substituição de culturas e pelo aumento da área de produção<sup>6</sup>, a qual passou de 5,6 mil ha em 2006/2007 para 254,8 mil ha na safra de 2011/2012, um incremento de área plantada da ordem de 4550%<sup>5</sup>, valores extraordinários e incomparáveis no estado, no bioma Cerrado e mesmo no país.

## A Cultura da Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), originária do Sudeste asiático, foi trazida ao Brasil em 1532 da Ilha da Madeira, por Martin Afonso de Souza. Neste mesmo ano, foi construído o primeiro engenho de açúcar do país na capitania de São Vicente, mas nas capitanias de Pernambuco e da Bahia que os engenhos de cana-de-açúcar multiplicaram-se. Por quase dois séculos, o açúcar foi o principal produto agrícola exportado pelo Brasil, e, por conseguinte, sua principal fonte de divisas. Durante este período, a nação deteve o monopólio da produção mundial, vindo a perder a liderança no final do século XVII<sup>10</sup>.

No estado de Goiás, a história de produção da cana-de-açúcar apresenta registros de cultivo já em 1935, com cerca de 1400 engenhos e uma produção de 166 mil toneladas no ano de 1940, segundo dados do Censo Agropecuário<sup>7</sup>, sendo destinada principalmente à produção de açúcar, rapadura e cachaça. Valores de produção que se mantiveram até o final da década de 1980, quando houve um incremento, chegando a mais de 5 milhões de toneladas em 1988. Após esse período, ocorreu queda e novo aumento que sobreveio em 1996, sendo superior a 6 milhões de toneladas, segundo dados<sup>8</sup>. Essas oscilações relacionam-se principalmente às fases de implantação e declínio do Proálcool, bem como em parte às políticas do próprio setor sucroalcooleiro nacional. É importante ressaltar que, desde o PNA, esse patamar vem apresentando crescimento exponencial, alcançando cerca de 48 milhões de toneladas na safra 2010/2011. Na atualidade, a cana-de-açúcar já se posiciona como



um importante produto em termos de produtividade no estado<sup>11,12</sup>.

A cana-de-açúcar é uma das seis espécies do gênero *Saccharum*, apresentando desenvolvimento em formas de touceira ou moita. É uma planta da família *Poaceae*, com as quais se relaciona com a forma da inflorescência (espiga), o crescimento do caule em colmos e as folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainha aberta. As raízes são fasciculadas, sendo que 85% delas encontram-se nos primeiros 50 cm de profundidade e aproximadamente 60% entre os primeiros 20-30 cm, havendo pequenas variações nessa percentagem dependendo, sobretudo, das variedades<sup>13</sup>.

O ciclo fenológico da cultura varia entre 11 e 22 meses, cana de ano e cana de ano e meio, respectivamente, dependendo da época do plantio. Nos canaviais plantados entre setembro e novembro, ou seja, no início da estação chuvosa, a duração do ciclo é em torno de 12 meses. Após o plantio da muda, ocorre a brotação e a planta tem aproximadamente oito meses de desenvolvimento vegetativo e quatro meses para que ocorra a maturação. Já nos canaviais plantados entre janeiro e abril, apresentam ciclo variando entre 14 e 21 meses. Neste caso, o desenvolvimento é favorecido nos três meses iniciais, ficando limitado nos meses secos, entre abril e agosto, e nos sete meses seguintes, volta a vegetar, amadurecendo nos meses de inverno<sup>14</sup>. Após o amadurecimento, a cana é colhida e a colheita pode ser mecanizada (colhedoras) ou manual (cortadores de cana). No processo de colheita mecanizada, a cana é colhida crua, com a palha remanescente, retornando ao solo, o que forma uma densa camada sobre a superfície desse. No processo de colheita manual, a cana é queimada antes do corte, para facilitar o trabalho e aumentar a eficiência dos cortadores.

Após a colheita/corte da cana-de-açúcar, inicia-se novo ciclo, de aproximadamente 12 meses, repetindo-se o processo de cinco a seis vezes, até se dar a reforma do canavial e um novo tolete é plantado. A avaliação econômica do rendimento irá determinar a renovação dos canaviais<sup>15,14</sup>.

A cana-de-açúcar é cultivada ininterruptamente num mesmo solo por vários anos; assim, com o passar do tempo, a tendência é que ocorra queda de fertilidade e, conseqüentemente, menor rendimento da cultura. No

entanto, a adoção de algumas práticas conservacionistas, como a utilização de resíduos orgânicos na fertilização dos solos (torta de filtro e vinhaça) e a sobreposição da palha ao solo, em virtude da colheita mecanizada, protegendo contra a erosão, podem atenuar impactos negativos e prolongar a vida útil do canavial. Contudo, o prevalecimento de sistemas de cultivos convencionais (com intenso revolvimento do solo) em diversas unidades produtoras, assim como a realização da queima antes da colheita (perda de C orgânico e emissão de CO<sub>2</sub>) para facilitar o corte manual, são fatores preocupantes que podem vir a causar desequilíbrio no ambiente em que estão inseridos<sup>16,10</sup>.

A alternativa de aplicação de vinhaça ao solo, em vez de seu lançamento em rios, vem sendo recomendada como meio de fertilização das culturas e constitui uma forma de eliminar outras das fontes poluidoras dos cursos de água com adubação mineral. A incorporação de resíduos orgânicos ao solo promove aumentos na fixação do C, sendo parte desse aumento originária da decomposição da matéria orgânica no solo<sup>17,18</sup>. O constituinte principal da vinhaça é a matéria orgânica, basicamente sob a forma de ácidos orgânicos e, em menor quantidade, por cátions como o K, Ca e Mg, sendo que sua riqueza nutricional está ligada à origem do mosto. Quando se parte de mosto de melaço, apresenta maiores concentrações em matéria orgânica, potássio, cálcio e magnésio, ao passo que esses elementos decaem consideravelmente quando se trata de mosto de caldo de cana, como é o caso de destilarias autônomas<sup>19,20</sup>.

Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar, mas poucos avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático<sup>21</sup> já que, em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e nutrientes, principalmente potássio, quase toda destilaria brasileira tem adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar<sup>22,23</sup>.

Os sistemas de cultivo convencional consistem em sucessivas operações, que o deixam pronto para receber a cultura da cana-de-açúcar, onde as atividades mais utilizadas são a sistematização, distribuição dos corretivos, aração, gradagem pesada, subsolagem e gradagem niveladora<sup>24</sup>. Este tipo de manejo pode ocasionar alterações

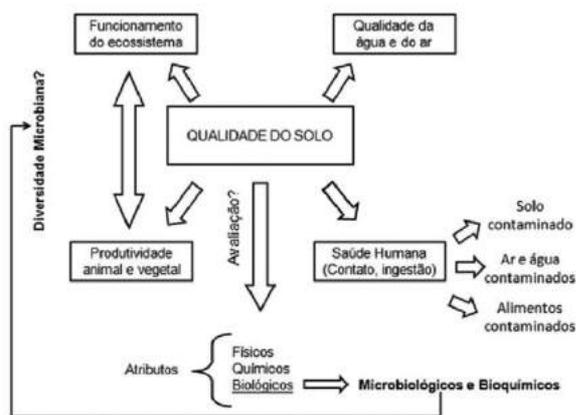


nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além de elevar as taxas de erosão hídrica, resultantes das chuvas que encontram o solo desnudo<sup>25,26</sup>.

A degradação<sup>27,28</sup> do solo pelo cultivo é manifestada por processos erosivos, redução da matéria orgânica, perda de nutrientes, compactação do solo, redução de populações microbianas, de atividades enzimáticas e pH. Assim, torna-se imprescindível a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, que causem menores danos ao ambiente em que estão inseridas, como também estudos sobre o efeito que diferentes sistemas causam ao ambiente de produção, definindo, assim, a melhor estratégia de uso e manejo, buscando sempre a melhoria da qualidade de vida humana, animal e vegetal.

## Qualidade do Solo

O conceito de qualidade do solo data de civilizações muito antigas<sup>29</sup> e é parte fundamental da qualidade ambiental. No final da década de 70 e durante os dez anos seguintes, esse conceito esteve muito associado à ideia de fertilidade, sendo um solo considerado de alta qualidade quando se apresentava quimicamente rico. No entanto, os conceitos foram renovados e o solo de alta qualidade passou a ser visto de outra forma. As implicações<sup>30</sup> de qualidade do solo não se restringem somente ao ambiente solo, mas se estendem à hidrosfera, atmosfera e a biosfera, atuando na qualidade da água, qualidade do ar e na biodiversidade (Figura 1).



**Figura 1.** Fatores relacionados à qualidade do solo e aos atributos utilizados para sua quantificação, com destaque para a diversidade microbiana. Fonte: Adaptado de Melloni, 2007.

O novo conceito de qualidade do solo é relativamente recente, iniciando na década de 1990, com grandes controvérsias e ainda não tão bem estabelecido na comunidade científica<sup>30,31</sup>(Quadro 1).

**Quadro 1.** Definições para “Qualidade do Solo”. Fonte: Adaptado de Araújo e Monteiro, 2007.

Definição	Autores
Capacidade de um solo funcionar dentro do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde das plantas e dos animais.	Doran e Parkin, 1994
Capacidade de um tipo específico de solo funcionar como ecossistema natural ou manejado para sustentar a produtividade animal e vegetal, manter a qualidade da água e do ar e suportar o crescimento humano.	Karlen et al., 1997
Condição do solo relativa aos requerimentos de uma ou mais espécies biológicas e/ou de algum propósito humano.	Johnson et al., 1997
Capacidade do solo de sustentar a diversidade biológica, regular o fluxo da água e solutos, degradar, imobilizar e detoxificar compostos orgânicos e inorgânicos e atuar na ciclagem de nutrientes e outros elementos.	Seybold et al., 1998

Embora haja consenso entre pesquisadores e agricultores de que a manutenção da qualidade do solo é um elemento-chave para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, a avaliação desse atributo não é uma tarefa fácil. O objetivo desta busca é obter uma ferramenta para avaliar, principalmente, a qualidade das práticas de manejo empregadas na produção agrícola, visando à sustentabilidade da agricultura e a preservação do ambiente.

A qualidade do solo pode ser avaliada, considerando a capacidade do solo em suprir nutrientes às plantas, suportar o crescimento das raízes, proporcionar adequada atividade biológica, propiciar adequada estabilidade estrutural, resistir à erosão e reter água para as plantas, entre outros<sup>26</sup>. Nessa perspectiva, é fundamental a escolha de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem características como facilidade de avaliação,



aplicabilidade em diferentes escalas, capacidade de integração, adequação ao nível de análise da pesquisa, sensibilidade às variações de manejo e clima e possibilidade de medições por métodos quantitativos e/ou qualitativos<sup>29-31</sup> (Quadro 2).

**Quadro 2.** Principais indicadores físicos, químicos e biológicos e suas relações com a qualidade do solo. Fonte: Adaptado de Doran e Parkin (1994).

Indicadores	Relação com qualidade do solo
Estrutura do solo Infiltração e densidade Capacidade de retenção de umidade	Físicos Retenção e transporte de água e nutrientes Movimento de água e porosidade do solo Armazenamento e disponibilidade de água
pH Condutividade elétrica Conteúdo de N, P e K	Químicos Atividade biológica e disponibilidade de nutrientes Crescimento vegetal e atividade microbiana Disponibilidade de nutrientes para as plantas
Biomassa microbiana, Mineralização de nutrientes (N, P e S) Respiração do Solo Fixação Biológica Atividade enzimática do solo	Biológicos Atividade microbiana e reposição de nutrientes Produtividade do solo e potencial de suprimento de nutrientes Atividade microbiana Potencial de suprimento de N para as plantas Atividade microbiana e catalítica no solo

Atualmente, existe na literatura uma grande quantidade de informações acerca dos indicadores de caráter químico e físico, que permite, com certo grau de confiabilidade, definir faixas de valores adequados para essas características em diversos tipos de solos e culturas. Não se pode afirmar o mesmo sobre a base de informações disponíveis sobre os dados biológicos do solo que ainda é pequena. As principais causas<sup>32</sup> estão no fato de os testes microbiológicos não serem incluídos em análise de laboratórios de rotina e na falta de padronização de métodos, desde a amostragem, estocagem, pré-tratamento das amostras até os procedimentos analíticos

e a apresentação dos resultados. Dessa forma, saber quando os valores obtidos indicam ou não um bom solo é um dos grandes obstáculos ao uso dessas variáveis nas avaliações de qualidade do solo<sup>33</sup>.

A avaliação da qualidade do solo é desejável para detectar as mudanças causadas pelos diferentes processos de degradação, que resultam no declínio da produtividade do solo ou qualidade do solo<sup>34</sup> após utilização em diferentes usos. Definir e quantificar a qualidade do solo tem sido uma tarefa difícil, uma vez que ela depende das características intrínsecas do solo, de interações com o ecossistema e de uso para diversos fins<sup>35</sup>. As diferentes interações que ocorrem no solo dependem da atuação dos diferentes constituintes (matriz mineral, matéria orgânica, água, ar e organismos), além das condições climáticas existentes no ambiente e as atuações humanas nas determinações de uso desse solo.

Para avaliar a qualidade do solo, é necessária a utilização de uma quantidade de atributos indicadores que tenham como finalidade quantificar as mudanças ocasionadas no ambiente pelos diferentes sistemas de manejo em relação a um sistema referência, que é geralmente considerado a floresta nativa. Atualmente são conhecidos efeitos isolados de diferentes manejos e uso do solo nos atributos físicos, químicos e biológicos<sup>36</sup>. No entanto, há necessidade de avaliar esses atributos em conjunto, principalmente, em solos do bioma Cerrado.

## ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

O monitoramento da qualidade do solo, por meio de indicadores químicos do solo, tem sido mais frequentemente utilizado, principalmente relacionando os atributos descritos numa análise convencional de fertilidade do solo<sup>37</sup>. Os indicadores químicos estão relacionados com os aspectos de nutrição de plantas, sendo de efeito direto no caso dos macro e micronutrientes, ou indiretos, quando se trata da presença da matéria orgânica do solo<sup>38</sup>.

No entanto, estudos experimentais sugerem que, para o nitrogênio (N) do solo, a limitação é generalizada ao nível mundial<sup>39</sup>, e solos com elevado grau de intemperização mostram limitação de N, além da limitação de P<sup>40</sup>. Há também casos em que o cálcio (Ca) ou K podem limitar o crescimento das plantas, ou fornecer co-limitação com N



e P<sup>41</sup>. Os micronutrientes necessários para o crescimento das plantas também podem se ligar fortemente aos minerais do solo e matéria orgânica, e poderiam não estar disponível em certos casos<sup>42</sup>. Não sendo o caso dos solos sob condições tropicais com baixos teores de matéria orgânica e baixos valores de pH.

### ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO

Um indicador microbiológico<sup>37</sup> pode ser definido como uma espécie de microrganismo ou grupo de microrganismo que indica, pela sua presença e atividade numa determinada área, a existência de uma condição ambiental específica. No entanto, esse conceito aborda apenas os organismos do solo, e é importante considerar também a matéria orgânica do solo dentro de um atributo biológico, devido à grande influência com relação a esse aspecto. Ainda pode-se incluir como indicador biológico do solo a atividade enzimática dos microrganismos, a avaliação da meso e macrofauna do solo, entre outros atributos biológicos do solo.

A atividade microbiológica é altamente concentrada nas camadas mais superficiais do solo, ocupando uma fração de menos que 0,5% do volume total do solo e representando menos que 10% da matéria orgânica<sup>43</sup>. A função dos microrganismos é mediar processos no solo, relacionados com o manejo, podendo, assim, serem indicadores sensíveis de qualidade do solo<sup>44</sup>. Alguns estudos avaliaram as variáveis microbiológicas e identificaram que estas foram mais sensíveis em detectar, em etapa anterior, efeitos dos diferentes sistemas de manejo do que as variáveis físicas e químicas<sup>45-48</sup>.

Os organismos do solo, em especial os microrganismos, são responsáveis em transformar a energia e matéria vegetal produzida pelas plantas em formas adequadas para o funcionamento do sistema solo. Dessa forma, convertem a energia e a matéria vegetal de uma forma para outra, o que caracteriza o fluxo de compostos orgânicos no sistema solo. Em função desse fluxo, os componentes do solo interagem e se auto-organizam em estados de ordem, seguindo uma hierarquia de complexidade<sup>49</sup>.

A biomassa microbiana do solo é considerada a parte viva e mais ativa da matéria orgânica do solo, constituída por fungos, bactérias, actinomicetos, protozoários, algas

e microfauna, excluindo-se raízes e animais inferiores a  $5 \times 10^3 \mu\text{m}^3$ <sup>52,35</sup>, representando em média de 2 a 5% do C orgânico<sup>51</sup> e de 1 a 5% do N total do solo<sup>52</sup>. A biomassa microbiana é considerada o reservatório mais ativo da matéria orgânica do solo, atuando diretamente no balanço de nutrientes, particularmente, para o nitrogênio, fósforo e potássio. A literatura<sup>52</sup> ressalta que os solos que mantêm elevados teores de biomassa microbiana são capazes, não somente de armazenar, mas também de reciclar mais nutrientes no sistema<sup>53</sup>.

Alterações significativas na biomassa microbiana do solo podem ser identificadas com antecedência, quando comparadas às mudanças na matéria orgânica. Assim, a avaliação da biomassa microbiana tem sido proposta como um indicador do estado e das alterações da matéria orgânica do solo e sugerida como uma medida sensível ao aumento ou decréscimo de sua quantidade<sup>33</sup>.

A população microbiana é grandemente influenciada pelo manejo e pela cobertura vegetal do solo, sendo cada grupo afetado de forma seletiva. Os solos submetidos ao plantio direto ou preparo reduzido apresentam acúmulo superficial de resíduos orgânicos e nutrientes minerais, possibilitando a formação de uma camada de alguns centímetros muito favorável ao desenvolvimento microbiano. Com aumento da profundidade, as condições tornam-se adversas e a população diminui. No preparo convencional, quando a aração é feita até 20 cm, em média, ocorre uma incorporação mais uniforme dos resíduos, resultando numa distribuição mais homogênea da população microbiana na camada arável<sup>54</sup>. Considerando-se que os microrganismos constituem excelente indicador das condições biológicas do solo, além de seu efeito sobre a produtividade agrícola, torna-se importante o conhecimento do manejo do solo e da cobertura vegetal sobre a população microbiana<sup>55</sup>.

O solo é provavelmente um dos habitats mais diversos do ecossistema terrestre, sendo bactérias, fungos e invertebrados seus principais representantes<sup>56</sup>. Do ponto de vista funcional<sup>57</sup>, a fauna do solo é classificada por tamanho em três principais grupos: microfauna, mesofauna e macrofauna. A microfauna (4 a 100  $\mu\text{m}$  de diâmetro corporal) é composta por protozoários, rotíferos, copépodes, tardígrados, nematódeos e outros. Tais organismos participam da ciclagem de nutrientes, podem ainda ser reguladores da atividade microbiana<sup>58</sup>.



A mesofauna (100  $\mu\text{m}$  a 2 mm de diâmetro corporal) é a mais abundante do solo, representada principalmente por ácaros e colêmbolos que, juntos, correspondem a mais de 95% dos microartrópodes do solo<sup>59</sup>. A macrofauna (maior que 2 mm de diâmetro corporal) é representada pelos anelídeos, diplópodes, isópteros, entre outros. Esses artrópodes são responsáveis principalmente pela fragmentação da serrapilheira, alterações na estrutura do solo e incorporação dos detritos no solo e são conhecidos como “engenheiros do ecossistema”<sup>60</sup>.

A matéria orgânica do solo tem grande importância como fonte de nutrientes para as culturas, na retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, estabilidade de estrutura, infiltração e retenção de água, aeração, e como fonte de C e energia aos microrganismos heterotróficos<sup>61</sup>. Assim, considerando a matéria orgânica como influenciadora dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, observa-se a importância de manutenção no ambiente e a relação com cada atributo do solo<sup>62, 61, 49, 63</sup>.

## Qualidade da Água

Os principais poluentes nas áreas rurais normalmente são a matéria orgânica, os sedimentos, os nutrientes e os pesticidas, transportados principalmente pelo escoamento da água oriunda das terras agricultadas. A malha viária, representada pelas estradas rurais e caminhos internos das propriedades, em geral, construída e conservada de modo inadequado, contribui de forma significativa para a erosão e a contaminação da água com sólidos totais<sup>64</sup>.

O solo descoberto, desprovido de cobertura vegetal, expõe os agregados do solo à ação direta das gotas de chuva. O impacto da gota no solo rompe as forças de coesão dos agregados e as partículas tornam-se mais susceptíveis ao escoamento superficial, iniciando-se um processo gradativo de erosão das partículas do solo. Os processos erosivos podem ser intensificados por fatores ambientais (declividade, tipo de solo, erosividade das chuvas) ou antrópicos, este último intrinsecamente relacionado ao uso e manejo das terras<sup>65</sup>. Áreas manejadas inadequadamente, contrapondo à ótica conservacionista, levam à diminuição da taxa de infiltração de água no solo, favorecendo o escoamento superficial e carreando sedimentos para as partes mais baixas do

terreno, causando o assoreamento dos rios, provocando enchentes na época chuvosa e vazões reduzidas na época seca e, assim, a migração de nascentes e o posterior desaparecimento de pequenos rios<sup>66</sup>.

Outras fontes de poluição importantes nas áreas rurais são os resíduos sólidos (esgotos domésticos e animais, lixo domiciliar) e os agrotóxicos. Os agrotóxicos, muitas vezes, são utilizados sem cuidados técnicos e ambientais. As transformações de áreas de vegetação natural para uso agropecuário levam à alteração das relações físicas e biológicas nos córregos e, normalmente, resulta em degradação de habitat e impactos negativos na biota de rios<sup>67, 68</sup>. A presença de vegetação natural na bacia, ou ao menos de uma zona ripária protegida, é vista como condição para a integridade biológica de rios<sup>69, 70</sup>. A vegetação ripária nas margens dos rios funciona como uma zona tampão entre o rio e o resto da bacia hidrográfica, por isso, o estado da vegetação ripária influencia a hidrologia, características do substrato, regimes térmicos e a química da água do rio, o que afeta todos os níveis tróficos<sup>71</sup>.

A análise da água de um manancial pode evidenciar o uso inadequado do solo, os efeitos do lançamento de efluentes, as limitações de uso e o potencial de autodepuração, isto é, sua capacidade de restabelecer o equilíbrio após o recebimento de efluentes<sup>72</sup>. Dentre os parâmetros utilizados para qualificar a água, estão os físico-químicos (pH, dureza total, cloretos, alcalinidade e sólidos totais) e os microbiológicos (coliformes fecais e totais)<sup>73</sup>.

A resolução n.º 357/05 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) apresenta os diversos parâmetros para o enquadramento dos corpos hídricos brasileiros e é uma ferramenta importante e decisiva para o monitoramento da qualidade da água, além de ser um referencial para a gestão dos recursos hídricos. Os padrões de qualidade da água servem para regular e controlar os níveis de qualidade que podem ser mantidos no corpo hídrico, dependendo do uso a que este está destinado. A utilização dos padrões de qualidade mantém a qualidade do curso hídrico ou define uma ação a ser realizada. A literatura<sup>74, 75</sup> trata os padrões de qualidade da água de modo mais complexo, em que norma é um processo e o critério faz parte da norma, reforça que o critério deve ter suporte em informações científicas avaliadas no efeito

dos poluentes na saúde humana, estética e ecossistema aquático.

A utilização de pequenas quantidades de pesticidas, aliada ao fato do rápido crescimento da planta, que permite uma boa cobertura do solo, o que facilita o controle da erosão, são considerados como pontos positivos na cultura da cana-de-açúcar<sup>76</sup>. Ao contrário, o uso de herbicidas e fertilizantes de larga utilização são os pontos negativos nessa cultura<sup>76, 77</sup>. A este fato se soma a problemática resultante da devastação das matas ciliares, o que acarreta, em diferentes graus, impactos sobre os recursos hídricos das áreas adjacentes, na forma de impactos difusos do setor agroindustrial<sup>78</sup>.

A expansão da monocultura de cana-de-açúcar no estado de Goiás pode levar à ocupação de novas áreas com a consequente destruição de habitats e impactos sobre a biodiversidade, bem como à degradação do solo (erosão e contaminação), à poluição dos recursos hídricos superficiais e subsuperficiais e à redução da disponibilidade hídrica decorrente da captação de água de áreas já ocupadas para fins agrícolas.

Numerosos estudos têm sido realizados, em diferentes áreas, com o objetivo de se detectar possíveis impactos resultantes do plantio da cana-de-açúcar nas águas dos córregos e rios localizados em áreas adjacentes da cultura de cana-de-açúcar<sup>77</sup>. Tais estudos têm demonstrado que, principalmente em áreas sem vegetação de proteção (mata ciliar), os agroquímicos (metais, fertilizantes, herbicidas e pesticidas), utilizados no plantio de cana, são carregados para os corpos d'água, por meio do processo de lixiviação do solo, há possibilidade de contaminar a água e o sedimento desses ambientes, além de poder acarretar problemas de bioacumulação em diferentes níveis tróficos<sup>79, 80</sup>. Consequentemente, a identificação e o conhecimento dos impactos dos usos da terra em ambientes lóticos e a influência no ecossistema são componentes essenciais para o manejo, para a conservação e para o estabelecimento de estratégias de restauração desses habitats<sup>81</sup>.

## Caracterização da Área de Pesquisa

Caracterização do meio físico da região de Quirinópolis, Goiás

A MRQ localiza-se na região de planejamento denominada de Sudoeste de Goiás, pertencente à mesorregião Sul Goiano. Possui uma área total de 16.068,103 km<sup>2</sup> e é composta por nove municípios: Cachoeira Alta, Caçu, Gouvelândia, Itajá, Itarumã, Lagoa Santa, Paranaiguara, Quirinópolis e São Simão. Como diferencial no setor agrícola, apresenta vantagens logísticas para a distribuição e escoamento da produção, uma vez que nela se situa o Porto de São Simão, o qual integra trecho da Hidrovia Paranaíba-Tietê-Paraná, o poliduto (gasoduto, petroduto e alcoolduto) procedente da Bolívia e que interliga Campinas (SP) a Brasília (DF), passando pela mesorregião Sul Goiano no município de Senador Canedo, pertencente à região Metropolitana de Goiânia, além das rodovias pavimentadas GO 164, que se liga à BR 060 e 452 e GO 206, que se liga, por sua vez, à BR 364 e 483 (Figura 2).



**Figura 2.** Mapa de localização da microrregião de Quirinópolis, Goiás, indicando a hidrografia, o sistema viário principal e a localização das usinas em 2010. **Fonte:** Silva (2012)

A MRQ possui sete usinas instaladas, sendo que quatro se encontram devidamente cadastradas junto ao Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento e outras três se encontram em processo de licenciamento<sup>82</sup>. As usinas cadastradas e já em operação estão citadas no Quadro 3 e na Figura 2.

**Quadro 3.** Usinas cadastradas e já em operação na microrregião de Quirinópolis, Goiás. Fonte: Mapas elaborados sobre imagens Landsat 2004 e 2010/Castro;Silva (2011).

USINAS	LOCALIZAÇÃO	PRODUÇÃO
Usinas São Francisco Razão Social U.S.J. Açúcar e Álcool S/A ,Registro: 22/03/2006	Município de Quirinópolis	Produção mista de açúcar etanol e energia
Usina Boa Vista Razão Social usina Boa Vista S/A Registro: 18/04/2008	Município de Quirinópolis	Produção de Etanol
Usina São Simão Razão Social Energética São Simão S/A Registro: 25/06/2008	Município de São Simão	Produção mista de açúcar e etanol
Usina Rio Claro, Razão Social Rio Claro Agroindustrial S/A, Registro: 03/08/2009	Município de Caçu	Produção de etanol
Usina Rio Doce I	Município de Cachoeira Alta	Fase de implantação
Usina Rio Doce II	Município de Caçu	Fase de implantação
Usina Complexo bioenergético	Município divisa Caçu e Itarumã	Fase de implantação
Razão Social Rio Claro Agroindustrial S/A, Registro: 03/08/2009	Município de Caçu	Produção de etanol
Usina Rio Doce I	Município de Cachoeira Alta	Fase de implantação
Usina Rio Doce II	Município de Caçu	Fase de implantação
Usina Complexo bioenergético	Município divisa Caçu e Itarumã	Fase de implantação

O início do processo<sup>6</sup> de inserção da cana-de-açúcar para produção sucroalcooleira na MRQ data de final de 2004, mediante aquisição de terras e formalização de contratos com fornecedores, e cujo início da produção deu-se, de fato, em 2006 para colheita em 2007, quando se obteve uma área de produção de 5.688 ha, sendo 2.270 ha no município de Gouvelândia e 3.418 ha em Quirinópolis. Na safra 2007/2008, a área de produção passou para 21.633 ha com predominância em Quirinópolis e Gouvelândia, porém, com a inserção de

outros dois municípios, São Simão e Paranaiguara. Na safra 2008/2009<sup>8</sup>, a área de produção já abrangia seis municípios: incluindo Caçu e Itarumã à lista anterior, cobrindo uma área total de 42.542 ha. Na safra 2009/2010, um sétimo município inicia a produção, Cachoeira Alta, totalizando uma área de produção de 86.401 ha, que na safra 2010/2011 chega a 104.226 ha.

As áreas de pastagem reduziram em 20,59%, passando a 926.003 ha, assim como o número de pivôs de 10 para apenas 5. No entanto, as áreas de agricultura de grãos aumentam em 79,21%, chegando a 268.072 ha, demonstrando que, mesmo com a inserção da cana, a qual representa 7,23% da área, a tradição da cultura de grãos permanece (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dados do uso e cobertura da terra de 2004 a 2010

Tipo de uso	2004		2010	
	Área em ha	% da microrregião	Área em ha	% da microrregião
Agricultura	149.585,741	9,31	268.072,572	16,68
Pivô	769,441	0,05	586,901	0,03
Pastagem	1.166.208,300	72,58	926.003,100	57,63
Cana-de-açúcar	0	0	116.003,007	7,23
Vegetação natural	247.932,100	15,42	247.225,400	15,38
Drenagem	40.465,910	2,52	47.070,512	2,93
Área urbana	1.841,807	0,12	1.841,807	0,12
<b>Total</b>	<b>1.606.803,300</b>	<b>100</b>	<b>1.606.803,300</b>	<b>100</b>

As referidas condições indicam que MRQ apresentase com clima tropical quente sub-úmido, do tipo Aw, com duas estações bem definidas e variações anuais significativas quanto à umidade, precipitação e temperatura, de acordo com a tipologia climática estabelecida por Köppen<sup>83</sup>. Apresenta chuvas de verão (outubro a março) e inverno seco (junho a setembro), transições entre períodos úmidos e secos, volume total de 1700 mm e uma amplitude térmica de cerca de 15°<sup>84</sup> clima altamente favorável ao cultivo da cana-de-açúcar<sup>85</sup>.

Na MRQ, os Latossolos Vermelho Distrófico (LVd) e Distroférico (LVdf) destacam-se, sendo de grande importância no processo de expansão da cana-de-açúcar (Figura 3). Os LVd são caracterizados como solos profundos a muito profundos, bem drenados friáveis e bastante porosos. Sua estrutura caracteriza-se por ser fracamente desenvolvida, pequena a muito pequena e granular, raramente com blocos subangulares, o que lhe confere um aspecto maciço. Apresenta-se na cor vermelho-escuro (2,5 YR) com grande variação textural. Quando associados

aos arenitos do Grupo Bauru apresentam textura média, com teor de argila variando entre 12 e 31%. Tais solos podem se apresentar com caráter alumínico, em estado dessaturado, com problemas críticos quanto à deficiência de nutrientes, necessitando de correção da fertilidade natural<sup>86</sup>.



Figura 3. Mapa de solos da microrregião de Quirinópolis, Goiás. Fonte: Silva (2012)

Os LVdf assemelham-se ao LVd, exceto por apresentarem alto teor de ferro, no geral, teores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (pelo H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) de 180g/kg a < 360g/kg na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B, em virtude da rocha de origem (basalto). Têm horizonte A moderado, textura argilosa e horizonte B latossólico com cores relativas aos tons vermelho-escuro (matiz 2,5YR e 10R), estrutura microagregada, muito pequena e pequena granular, fraca, com aspecto maciço e altamente porosa. Apresentam ainda alta capacidade de retenção de umidade. São solos de textura argilosa, bem drenados e aerados<sup>87</sup>.

A MRQ faz parte da Bacia Hidrográfica do Paraná, sendo muito rica em sua rede de drenagem. A área é composta por 16 sub-bacias. Os principais rios da região correm entre os residuais areníticos da Formação Marília, do Grupo Bauru e correm em direção à calha coletora (NW-SE) do rio Paranaíba. Por se encaixarem nas rochas sedimentares, a drenagem reflete o padrão paralelo das fraturas e falhamentos de direção NW-SE, encontradas nas rochas da região. Na parte SE, encontramos a

barragem de São Simão, no rio Paranaíba, divisor dos municípios da microrregião com o Estado de Minas Gerais. Os principais rios desta região são: rio dos Bois, São Francisco, Preto, Claro, Doce, Corrente, Aporé, Tijucu, Verde e Arantes<sup>88</sup>.

## Caracterização do Meio Biótico da Região de Quirinópolis, Goiás

### COBERTURA VEGETAL

Em relação às formações vegetais originais na MRQ, ocorriam formações do tipo Floresta Estacional semidecidual, sobre os solos argilosos (LVdf), zonas aluviais com domínio dos Gleissolos Háplicos (GX) e, no restante, as formações típicas do Cerrado (Savana Tropical), sobre os arenitos e solos associados (LVd e LVAd), caracterizado pelas fisionomias de Savana Florestada, Savana Arborizada, Savana Parque e Savana Gramíneo-lenhosa<sup>89, 90</sup>. Grande parte desta região, no entanto, caracterizava-se por apresentar áreas relativas a zonas de transição ou áreas de tensão ecológica entre a Floresta Estacional semidecidual e o Cerrado, as quais se localizavam, principalmente, na porção noroeste da microrregião (Figura 4).



Figura 4. Mapa de vegetação original da microrregião de Quirinópolis, Goiás. Fonte: Silva (2012).



A microrregião de Quirinópolis<sup>91</sup> no ano de 2010 apresentava a pastagem como atividade predominante, cobrindo 64% da área total seguida pela agricultura com 16% da área, em que 7% destes já se referem às áreas de cana-de-açúcar e, por fim, a vegetação remanescente que ocupava apenas 16% da paisagem (incluídas as Áreas de Preservação Permanente – APP). Estes 16% estão em desacordo com a legislação, pois em estados localizados no bioma Cerrado, a obrigatoriedade da Reserva Legal é de 20% da área na forma de remanescentes, além das áreas de APP. Em relação ao número de fragmentos remanescentes, possuía 5.890, seguindo-se a pastagem e a agricultura com 1.560 e 1.472 fragmentos, respectivamente. Apesar do grau de fragmentação, os fragmentos de Cerrado ainda apresentam conectividade física, fator importante para a conservação.

#### FAUNA

O EIA/RIMA da Usina São Francisco Açúcar e Alcool S/A94, na área de pesquisa, cita os seguintes grupos: grupo de herpetofauna - 30 espécies, sendo 10 espécies de anfíbios, seis espécies de lagartos e 14 espécies de serpentes; grupos de avifauna - 96 espécies, distribuídas em 39 famílias; grupo da mastofauna - 11 espécies de mamíferos, distribuídos em nove famílias. No ecossistema aquático, em quatro pontos de amostragem, em dois córregos da região, foram encontrados 1890 indivíduos do grupo de macroinvertebrados bentônicos, de 16 táxons diferentes. Quanto à ictiofauna, foram identificados 26 espécies de peixes, com 13 famílias. No levantamento realizado neste trabalho de estudo de impacto ambiental, a fauna e flora nativas ainda permanecem em pequeno número, e muitos em fase de extinção devido à alteração dos *habitats*.

## Estratégia Metodológica Geral

#### ROTEIRO METODOLÓGICO GERAL

O roteiro geral da pesquisa passou por quatro grandes etapas: 1) revisão da literatura para aquisição das bases conceituais e metodológicas; 2) análise espacial do processo de expansão da cana-de-açúcar numa escala regional, ou seja, da MRQ que permitiu o delineamento amostral dos solos para os trabalhos

de campo e laboratório; 3) o estudo específico dos solos e corpos d'água em campo; o pós-campo, no laboratório da Faculdade Roberto Mange-SENAI, Anápolis, a partir das análises biológicas do solo, no laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (LABOGF/IESA) e Laboratório de Física dos Solos (LFS/UFG), com as análises físicas do solo e as análises de fertilidade foram levadas para o laboratório da Solocria Ltda, Goiânia, as análises físico-químicas e biológicas da água foram realizadas no laboratório AQUALIT, Goiânia; 4) as análises dos resultados para as discussões e conclusões do estudo (Figura 10). O resultado da primeira etapa está distribuído em todos os capítulos deste trabalho. Para cada etapa há materiais e métodos específicos, os quais serão rapidamente abordados no item a seguir.

## Caracterização das Áreas Amostrais

#### SOLO

Neste estudo, foram selecionadas áreas homogêneas representativas do histórico de expansão da cana-de-açúcar na MRQ relatado e considerando as características do meio físico, a saber, geologia, geomorfologia e pedologia. Assim, selecionaram-se áreas ocupadas pelos LVdf argilosos, antes sob cultivo de grãos, sobretudo soja, onde a expansão se deu inicialmente; além de áreas com LVd textura média, antes com pastagem, convertidos em cana-de-açúcar em um segundo momento<sup>3</sup>.

Foram selecionados oito sítios amostrais para a abertura de trincheiras e descrição de perfis de solo com cana-de-açúcar, observando características semelhantes em relação ao manejo; todos relativos ao 4º corte do 1º ciclo, plantados com a mesma variedade de cana (SP 813250), cultivo e colheita fortemente mecanizada e sem queima (junho 2008, maio 2009, maio 2010), além de terem sido alvo do mesmo preparo do solo, variando apenas em relação ao manejo da cultura, isto é, com fertirrigação com vinhaça (Quadro 4) ou sem. Apoiados nas práticas de preparo e de conservação promovidas nestes solos, entende-se que os vestígios dos cultivos anteriores foram eliminados.

A escolha dos sítios amostrais considerou



Quadro 4. Preparo do solo utilizado nos oito pontos amostrais com cultura de cana-de-açúcar na região de Quirinópolis, Goiás.

Uso anterior /cana, Perfil/ Manejo*	Preparo e conservação do solo		
	Atividade	Quantidade	Período/ano
Soja/cana 1A – LVdf 1B – LVdf 3B – LVd	Construção de terraços	-	Agos/2006
	Subsolagem	-	Agos/2006
	Grade pesada	-	Agos/2006
	Calagem	3 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Gessagem	1,5 t/ha	Set/2006 – jun/2009
	Fosfatagem	0,23 t/ha	Set/2006
	Grade leve	-	Set/2006
Pasto/cana 2A – LVdf 2B – LVdf 4B – LVd	Dessecação (glifosato)	5 l/ha	Out/2006
	Sulcação e adubação (05-25-25)	0,6 t/ha	Nov/2006
	Cobrição (regent 800 WG)	0,25 kg/ha	Nov/2006
	Quebra lombo	-	Fev/2007
Pasto/soja/cana 5B – LVd 6B – LVdf	Adubação de cobertura (31-00-00)	0,20 t/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Herbicida pré-emergente	0,14 kg/ha	Jun/2008 – jun/2009
	Controle de broca (vespa)	4 copos/ha	Dez/2008 – Dez/2009
	Controle de cigarrinha	0,8 kg/ha	Jan/2009 – Jan/2009
Soja/cana 1A – LVdf Pasto/cana 2ª – LVdf	Fertirrigação (vinhaça)	150 m <sup>3</sup> /ha	Jun/2008

\* fertirrigado (A), não fertirrigado (B) Fonte: Adaptado de Borges (2011).

observações preliminares, em que se constataram processos de compactação em diversos graus e tipos de solos, bem como nas informações contidas no Plano de Manejo da Usina São Francisco. Para viabilizar a análise comparada da qualidade física dos solos com e sem uso antrópico, foram selecionadas duas áreas amostrais, relativas à vegetação natural para cada um dos referidos solos. Ao todo, foram estudados dez perfis de solo com características físicas homogêneas (Quadro 4 e 5), sendo oito referentes às substituições soja/cana, pasto/cana e sucessão de culturas (pasto/soja/cana), além de duas áreas de controle com vegetação (Figura 5).

Os perfis (Figura 6) foram analisados em faces de trincheiras abertas (cerca de 2,0 x 1,5 x 2,5 m), a partir da realização das descrições morfológicas, relativas à espessura do horizonte, cor, textura, estrutura,

consistência, porosidade, presença de nódulos ou concreções e transição entre horizontes, além de coleta de amostras deformadas (compostas) e indeformadas de cada um dos seus horizontes (anéis volumétricos com três repetições) por horizonte e caixas para confecção de lâminas delgadas para descrição micromorfológica com uma repetição por horizonte). Seguiram-se as recomendações da literatura<sup>92,93</sup> quanto à coleta de amostras para análises físicas, de amostras indeformadas em anéis volumétricos e coleta de amostras indeformadas para confecção de lâminas delgadas para estudos micromorfológicos.

As amostras biológicas de organismos edáficos foram colocadas no mesmo dia no funil de Berlese<sup>94,90</sup>, coletados nos respectivos horizontes de cada perfil. Os animais capturados foram fixados em álcool 70% e armazenados em recipientes de vidro, para posteriores

Quadro 5. Caracterização dos perfis de solo estudados. Fonte: Silva (2012)

Perfil	Elementos do meio físico				Uso e manejo	
	Solo	Geologia	Declividade	Altitude	Uso da terra anterior à cana/ vegetação	Fertirrigação
1A	LVdf	Basalto	0 a 3%	576	Soja	Fertirrigada
1B				540		Não fertirrigada
2A				503	Pastagem	Fertirrigada
2B				460		Não fertirrigada
6B				458		Sucessão: pasto/soja/cana
7C				545	Vegetação natural	-
3B				LVd	Arenito	0 a 3%
4B	595	Pastagem				
5B	633	Sucessão: pasto/soja/cana				
8C	589	Vegetação natural	-			

identificações. As amostras microbiológicas foram as primeiras a serem coletadas em recipientes estéreis e armazenadas em isopor<sup>95, 96</sup>.

Realizaram-se dois trabalhos de campo para descrição morfológica e coletas de amostras. O primeiro foi realizado do dia 01 a 03 de maio de 2010, quando foram descritos os perfis 1A, 1B, 2A, 2B e 7C e coletadas as amostras. Já o segundo foi realizado do dia 03 a 07 de setembro de 2010, quando foram descritos os perfis 3B, 4B, 5B, 6B e 8C e coletadas as amostras (Quadro 6).

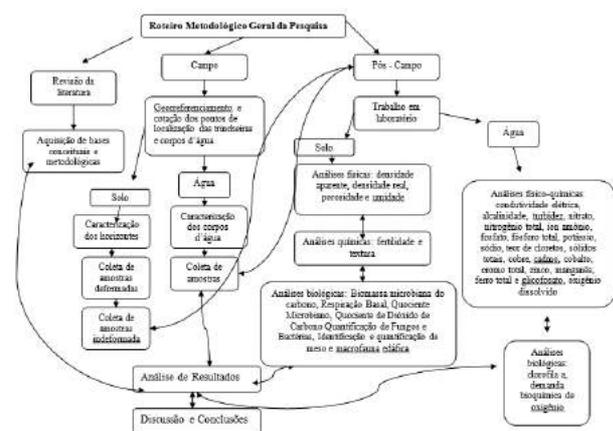


Figura 5. Fluxograma mostrando as etapas da pesquisa.

LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS DE SOLO NA MICRORREGIÃO DE QUIRINÓPOLIS, GOIÁS

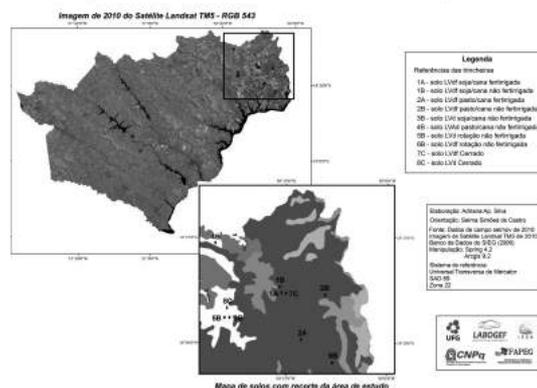
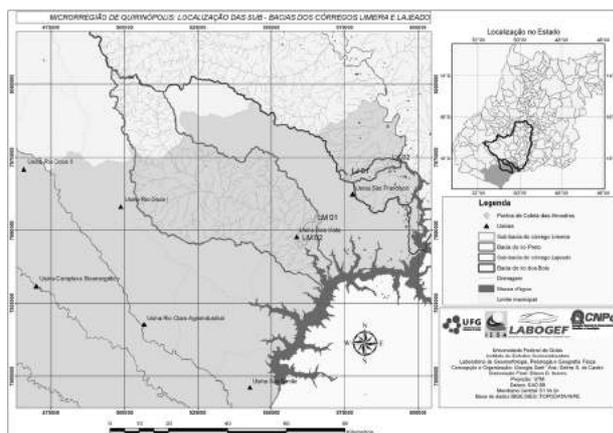


Figura 6. Mapa da microrregião de Quirinópolis, Goiás com a localização dos perfis de solos estudados. Fonte: Silva (2012).

## ÁGUA

As coletas de água foram conduzidas em dois córregos localizados no município de Quirinópolis. O município de Quirinópolis está localizado nas sub-bacias do Rio dos Bois, Rio São Francisco e Rio Preto (IBGE, 2009), conforme exposto. Nele foram amostrados dois córregos, sendo um referente à bacia do Rio Preto, com 2340,83 km<sup>2</sup>, sub-bacia do Córrego Limeira, com 40,25 Km<sup>2</sup>, extensão de 22,243 Km e localizado próximo à usina sucroalcooleira Boa Vista. Outro córrego amostrado foi da bacia do Rio dos Bois, com 34.812,06 Km<sup>2</sup>, sub-bacia do Córrego do Lajeado, com 70,59 Km<sup>2</sup> e extensão de 33,43 Km, localizado próximo à usina sucroalcooleira São Francisco (Figura 7).



**Figura 7.** Localização das áreas das bacias dos córregos amostrados: bacia do Rio Preto/sub-bacia do Córrego Limeira; bacia do Rio dos Bois/sub-bacia do Córrego do Lajeado.

As sub-bacias estudadas estão localizadas em posição a montante da cidade de Quirinópolis, a uma altitude de 506 e 542 m e a jusante entre 405 e 542 m. Quanto à declividade, a montante, é de 5 a 13 % e, a jusante, é de 13 a menor que 7,8 %. A seleção dos mananciais foi devido à proximidade da cultura de cana-de-açúcar de duas grandes usinas na MRQ.

O Córrego do Lajeado, a montante, apresenta água transparente com leito pedregoso. O tipo do solo é Gleissolo, situado em área de mata galeria, próximo a uma área rural, apresenta profundidade de 0,30 e 0,50 cm, seu leito se encontra sombreado pela vegetação. A jusante do Córrego do Lajeado apresenta água transparente, mostrando leito argiloso. O tipo do solo também é Gleissolo, possui pouca vegetação nativa, estando bem próximo às áreas de plantação de cana-de-açúcar. O fundo do córrego é argiloso e pedregoso.

Já o Córrego Limeira, a montante, apresenta água transparente e leito argiloso. O tipo do solo é Gleissolo, situado em área de mata galeria, com presença de muito material em suspensão. O córrego é sombreado pela vegetação marginal. Não possui um grande volume de água, variando entre 0,40 e 0,60 cm de profundidade, o fundo do córrego é argiloso.

A jusante do Córrego Limeira, a água é turva com leito argiloso e presença de algumas rochas. O tipo do solo é Latossolo. Possui pouca vegetação nativa em seu

entorno, estando próximo à área de cultivo de cana-de-açúcar e uma pequena porção de pasto. A profundidade do córrego é de 0,60 a 0,70 cm. O fundo do córrego é argiloso, com pouca presença de seixos e rocha.

Em cada córrego, foram amostrados dois pontos (Figura 7), escolhidos por permitirem acesso aos córregos pela existência de trilhas próximas. A localização dos pontos amostrados é apresentada a seguir: Córrego Do Lajeado a montante - LJ1 (S 18°22'32,9" e W 0,50° 16'37,5"); a jusante - LJ2 (S 18°20'02,4" e W 0,50°08'43,0"); Córrego Limeira a montante - LM1 (S 18°31'14,4" e W 0,50°23'06,5"); a jusante - LM2 (S 18°35'01,0" e W 0,50°26'01,8").

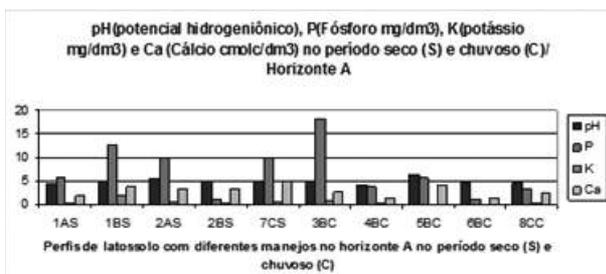
## Análise de Dados

Os resultados da fauna edáfica, químicos do solo e biomassa microbiana, índices derivados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas. Para execução do cálculo estatístico foi utilizado o software STATISTICA® versão 8.0 (Statsoft, Inc). Antes das análises, os dados foram logaritimizados para estabilizar as variâncias e o nível de significância assumido foi de  $\alpha = 0,05$ .

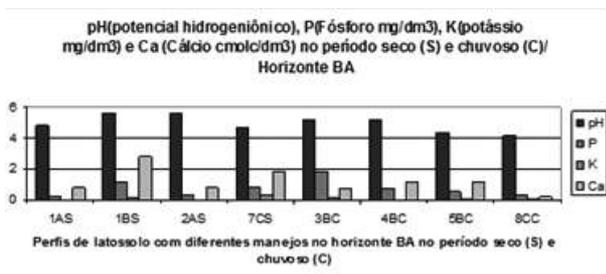
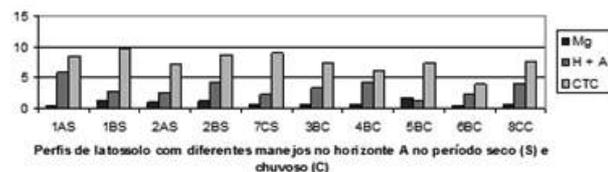
Todas as variáveis da água (temperatura da água, condutividade elétrica, alcalinidade, turbidez, nitrato, nitrogênio total, íon amônio, fosfato, fósforo total, potássio, sódio, teor de cloretos, sólidos totais, cobre, cadmo, cobalto, cromo total, zinco, manganês, ferro total, glicofosato, clorofila a, demanda bioquímica de oxigênio e oxigênio dissolvido) foram submetidas a análises qualitativas.

## Resultados e Discussão

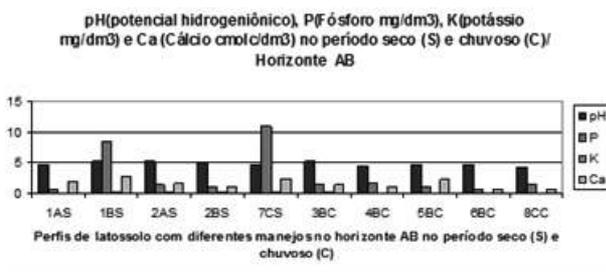
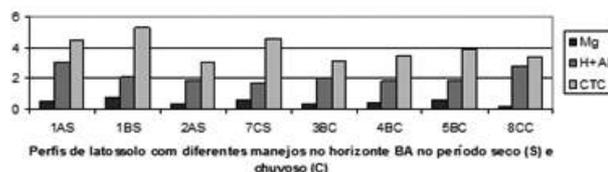
Os diferentes sistemas de manejo na área com cultura provocaram alterações nos atributos químicos. A principal refere-se à disponibilidade de fósforo que apresentou maior concentração decorrente do manejo anterior com soja e do atual com cana não fertirrigada, associada à aplicação de insumos orgânicos e químicos. Os perfis fertirrigados não apresentaram nenhuma melhora no solo, embora seja necessário ressaltar que receberam apenas uma aplicação de vinhaça até o momento da coleta das amostras. Verificou-se também, a importância da adoção de sistemas de manejo com aumento de carbono orgânico para melhorar a qualidade do solo (Figura 8 e 9).



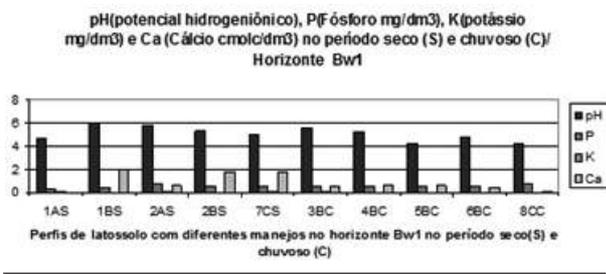
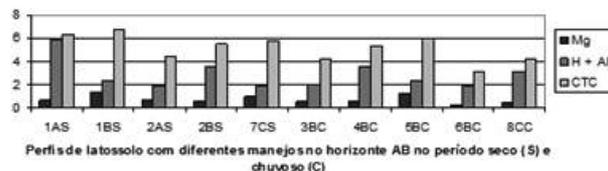
Mg (Magnésio cmol/dm<sup>3</sup>), H+Al (Acidez potencial do solo cmol/dm<sup>3</sup>), CTC (Capacidade de trocas de cátions cmol/dm<sup>3</sup>) no período Seco (S) e Chuvoso (C) /Horizonte A



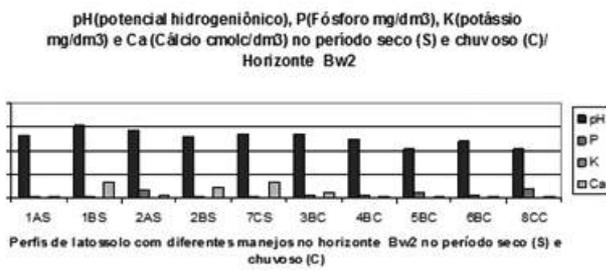
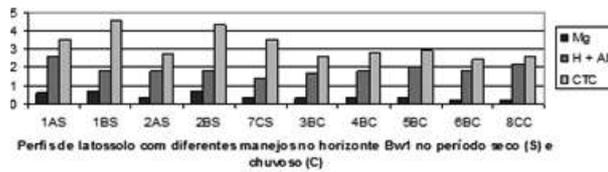
Mg (Magnésio cmol/dm<sup>3</sup>), H+Al (Acidez potencial do solo cmol/dm<sup>3</sup>), CTC (Capacidade de trocas de cátions cmol/dm<sup>3</sup>) no período Seco (S) e Chuvoso (C) /Horizonte BA



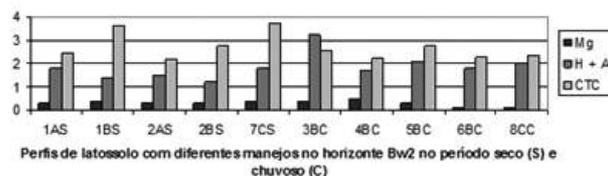
Mg (Magnésio cmol/dm<sup>3</sup>), H+Al (Acidez potencial do solo cmol/dm<sup>3</sup>), CTC (Capacidade de trocas de cátions cmol/dm<sup>3</sup>) no período Seco (S) e Chuvoso (C) /Horizonte AB



Mg (Magnésio cmol/dm<sup>3</sup>), H+Al (Acidez potencial do solo cmol/dm<sup>3</sup>), CTC (Capacidade de trocas de cátions cmol/dm<sup>3</sup>) no período Seco (S) e Chuvoso (C) /Horizonte Bw1



Mg (Magnésio cmol/dm<sup>3</sup>), H+Al (Acidez potencial do solo cmol/dm<sup>3</sup>), CTC (Capacidade de trocas de cátions cmol/dm<sup>3</sup>) no período Seco (S) e Chuvoso (C) /Horizonte Bw2



**Figura 8.** pH (potencial hidrogeniônico), P (Fósforo), K (Potássio) e Ca (Cálcio) no período Seco (S) e chuvoso (C) nos perfis de Latossolo Vermelho em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos em Quirinópolis, Goiás.

**Figura 9.** Mg (Magnésio), H+Al (Acidez potencial do solo), CTC (Capacidade de troca de cátions) no período Seco (S) e Chuvoso (C) nos perfis de Latossolo Vermelho em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos em Quirinópolis, Goiás.



A biomassa microbiana foi identificada como um bioindicador sensível para a avaliação da qualidade do solo. Os perfis com sucessão de culturas no manejo anterior à cana mostraram melhor condição físico-química para o equilíbrio da biomassa do solo. Os perfis com vinhaça não apresentaram nenhuma melhoria para o desenvolvimento dos microrganismos no solo, tampouco melhores condições químicas (Figura 10 e 11).

O LVd apresentou melhores condições de desenvolvimento para os organismos edáficos do que o LVdf. A sucessão de culturas favoreceu o aumento da abundância de indivíduos e o aumento do número de colêmbolos. Porém, as áreas fertirrigadas com vinhaça apresentaram menor quantidade de fauna edáfica, que as demais, fato atribuído à modificação da estrutura do habitat e dos recursos alimentares. O perfil com uso anterior soja apresentou maior abundância de fauna edáfica (Figura 12).

Os córregos estudados, principalmente, nos trechos a jusante, onde há maior influência do tipo de uso, no caso o cultivo da cana-de-açúcar, apresentaram indícios de impactos negativos do uso agrícola relacionados. Nesse aspecto, traços de elementos utilizados nos manejos da cultura foram encontrados, com valores superiores nos resultados do nitrogênio, fosfatos, TDS, alcalinidade, oxigênio dissolvido e cloretos. Outro impacto de grande relevância foi a alta concentração de Ferro total, constatando, assim, o assoreamento nos mananciais (Figura 13).

Correlacionando os resultados, pode-se concluir que os usos anteriores, em particular a soja e a sucessão, tanto no LVdf, como no LVd contribuíram para a melhora das condições de qualidade dos solos e águas, bem como de suas biotas, do que a cana-de-açúcar. Mesmo assim, tais condições são muito distantes daquelas dos perfis de referência sob vegetação natural, logo os usos anteriores promoveram mudanças nas biotas, sobretudo, na abundância e biodiversidade, mas a cana não as recuperou, ao contrário, os ambientes apresentaram condições mais estressantes ao solo e à água. Os mananciais com cobertura vegetal nativa na mata ciliar foram aqueles com melhor qualidade da água e sem a influência direta do manejo.

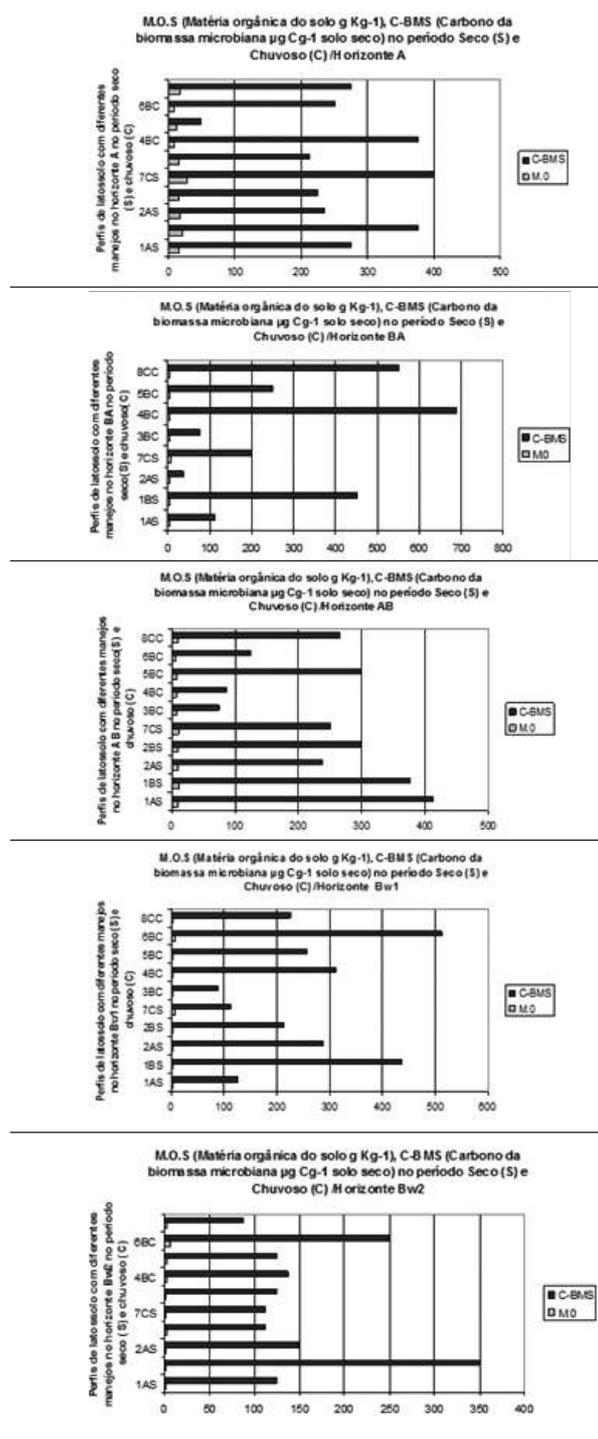
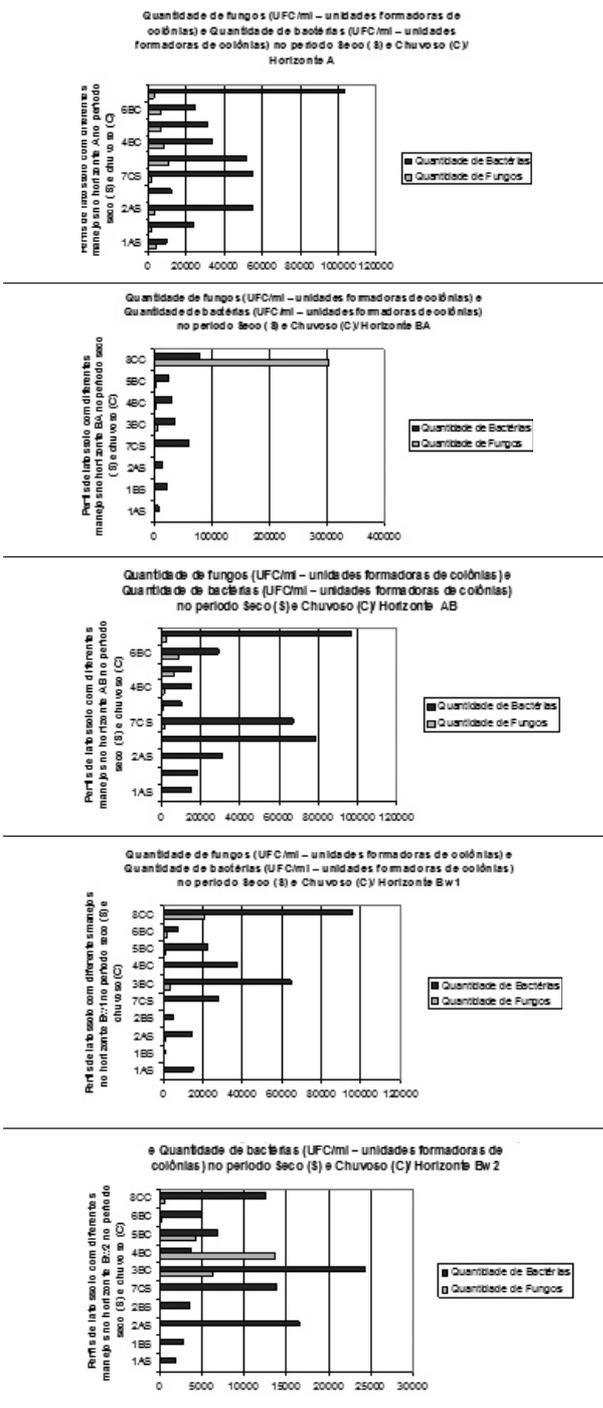
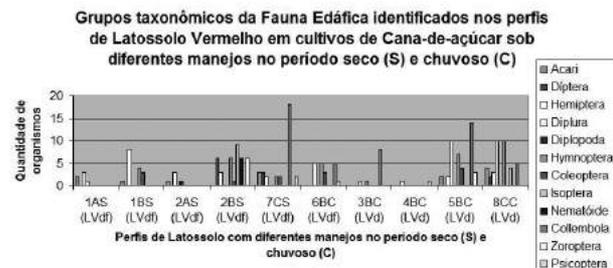


Figura 10. M.O.S (Matéria orgânica do solo), C-BMS (Carbono da biomassa microbiana) no período Seco (S) e Chuvoso (C) nos perfis de Latossolo Vermelho em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos em Quirinópolis, Goiás



**Figura 11.** Quantidade de fungos (UFC/ml – unidades formadoras de colônias) e Quantidade de bactérias (UFC/ml – unidades formadoras de colônias) no período Seco (S) e Chuvooso (C) nos perfis de Latossolo Vermelho em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos em Quirinópolis, Goiás.



**Figura 12.** Fauna Edáfica do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Distrófico (LVdf) cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes manejos, no período seco (S) e chuvoso (C) na MRQ, Goiás.

## Conclusões

Considerando que a cultura de cana-de-açúcar deste estudo encontra-se no 4º corte e somente com uma aplicação de vinhaça conclui-se que os solos com manejo anteriores soja e sucessão apresentaram melhores condições para a melhora da qualidade do solo, em todos os aspectos, tanto físico-químicos, como da biota para microrganismos e fauna edáfica. A presença de palha no solo teve um efeito mais importante para a abundância de fauna edáfica, do que a vinhaça. Os solos com vinhaça não apresentaram melhoria e sim modificaram os parâmetros químicos do solo no horizonte A e apresentaram menor quantidade de fauna edáfica, em relação aos outros manejos. Os manejos anteriores com pasto apresentaram boas condições para a melhora da qualidade do solo nos horizontes Bw1 e Bw2. Em relação ao tipo de solo, o LVdf apresentou melhores condições físico-químicas para o equilíbrio dinâmico da biomassa e o LVd apresentou melhores condições de desenvolvimento para os organismos edáficos. Os córregos estudados apresentaram melhores condições na qualidade da água, a montante e a jusante apresentaram indícios de alterações no ecossistema. As altas concentrações de Fe, constatadas nos mananciais indicaram assoreamento e processo erosivo. Os tipos de manejo anteriores e atuais interferem ainda hoje na qualidade do solo e da água.



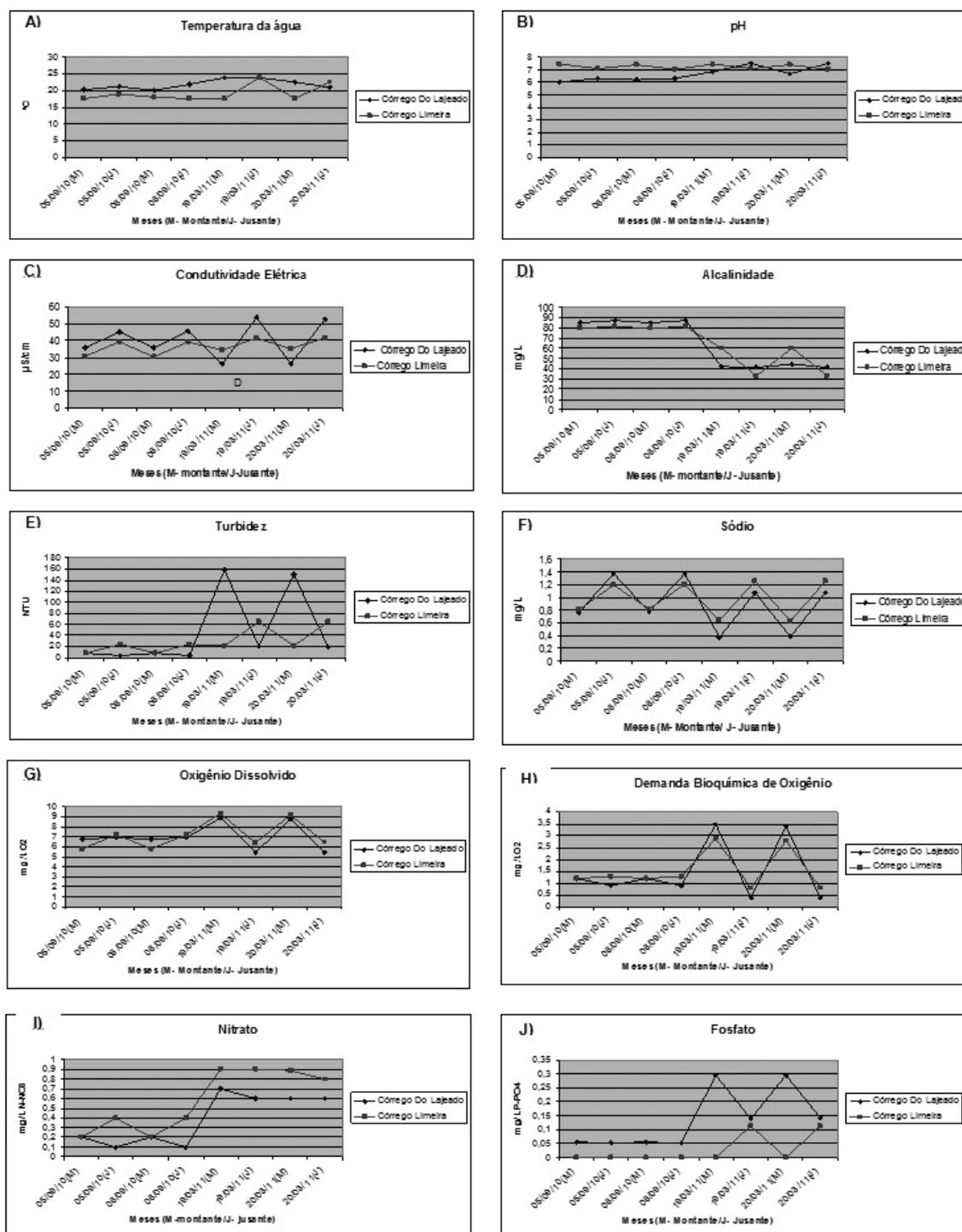


Figura 13. Parâmetros físico-químicos nos Córregos do Lajeado e Limeira no período de setembro de 2010 (período seco) e março de 2011 (período chuvoso): A: Temperatura da água; B: pH; C: Condutividade Elétrica; D: Alcalinidade; E: Turbidez; F: Sódio; G: Oxigênio Dissolvido; H: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); I: Nitrito; J: Fosfato.

## Referências

- Schultz, N.; Lima, E.; Pereira, M. G.; Zonta, E. Efeito residual da adubação de cana planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima de palhada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **2010**, v. 34, p. 811-820.
- Castro, S. S. de; Adbala, K.; Silva, A. A.; Borges, V. M. S. A expansão da cana-de-açúcar no Cerrado e no Estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. *Boletim Goiano de Geografia, Goiânia*, **2010**, v.30, nº 1. p. 171 – 191.
- Silva, A. A.; Castro, S. S. Dinâmica de uso da terra e expansão da cana-de-açúcar entre os anos de 2004 a 2010, na microrregião de Quirinópolis, Goiás. In: PIETRAFESA, J. P.; SILVA, S. D. de (org.). *Transformações no Cerrado: progresso, consumo e natureza*. Goiânia: Ed. Da PUC Goiás, **2011**, p. 155-170.
- Silva, A. A.; Castro S. S. Potencial e risco à compactação dos solos da microrregião de Quirinópolis, sudoeste do estado de Goiás. *Revista Territorial, Cidade de Goiás, Goiás*, **2013** v.2, n.1, p.106-127.
- CANASAT – Mapeamento da cana via imagens de satélite de observação da Terra. INPE-Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/canasat/>> Acesso em 17 abril. **2012**.
- Borges, V. M. S. Formação de uma nova centralidade do setor sucroenergético no Cerrado: o caso de Quirinópolis, Estado de Goiás. 2011. 333 f. Tese (Doutorado) Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, **2011**.
- Santos, M. H. M. e C. A expansão canavieira em Goiás e seus reflexos: exemplo de Santa Helena de Goiás. 160 f. (Dissertação) Mestrado em Geografia Humana. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo, **1987**.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril. Brasília: Conab, 2012. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)> Acesso em 24 abr. **2012**.
- Abdala, K.; Castro, S. S. de. Dinâmica do uso do solo da expansão sucroalcooleira na Microrregião Meia Ponte, Estado de Goiás, Brasil. In: *Seminário Latino-Americano de Geografia Física*, 6. 2010. Anais. Disponível em: [HTTP://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus](http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema3/klaus). Acesso em 02 jul. **2010**.
- Ferro, J. A.; Maccheroni, W.; Uilian, E. C. A importância da biotecnologia para o futuro da cana-de-açúcar. In: PINTO, A. S.; SCANDIUZZI, G. F. *Revista Protec: edição especial cana-de-açúcar*. Piracicaba. Facile, p. 35-38, **2009**.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE/SEPAN. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 24 nov. **2013**.
- Barbalho, M. G. da S.; Silva, A. A.; Castro, S. S. A expansão da área de cultivo da cana-de-açúcar na região Sul do estado de Goiás de 2001 a 2011. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. São Paulo, **2013**, v. 29, p. 98-109.
- Mozambani, A. E.; Pinto, A.; Segato, S. V.; Mattiuz, C. F. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V.; Pinto, A.; Jendiroba, E.; Nóbrega, J. C. M. *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba. CP 2, **2006**, 415 p.
- Segato, S. V.; Mattiuz, C. F. M.; Mozambani, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V.; Pinto, A.; Jendiroba, E.; Nóbrega, J. C. M. *Atualização em produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba. CP 2, **2006**, 415 p.
- Jendiroba, E. A expansão da cana-de-açúcar e as questões ambientais. In: Segato, S. V.; Fernandes, C.; Pinto, A. *Expansão e renovação de canavial*. Piracicaba, CP 2, **2006**, 415 p.
- Junior, P. P. Bioindicadores de qualidade do solo em cultivos de cana-de-açúcar sob diferentes manejos. Dissertação (Mestrado – Agronomia) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS, 95 f., **2012**.
- Alexander, M. *Introduction to soil Microbiology*. New York: John Wiley, **1961**, 472 p.
- Feigin, A.; Ravina, I.; Shalhevet, J. *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection*. Berlin: Springer-Verlag, **1991**, 224p.
- Rossetto, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: Paranhos, S.B. (ed.). *Cana-de-açúcar: cultivo e utilização*. Campinas: Fundação Cargill, **1987**, v.2, p.435-504.
- Silva, A. S. M.; Nori, P. G.; Lino, C. B. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, **2007**, v.11, n.1, p.108-114.
- Lyra, M. R. C. C.; Rolim, M. M.; Silva, J. A. A Toposequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **2003**, v.7, n.3, p.525-532.
- Cunha, R. C. A.; Costa, A. C. S.; Maset Filho, B.; Casarini, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects. *Water Science Technology*, **1981**, v.19, n.8, p.155-165.

23. Canellas, L. P.; Vellos A. C. X.; Marciano, C. R.; Ramalho, J. F. G. P.; Rumjanek, V. M.; Rezende, C. E.; Santos, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, **2003**, v. 27, p. 935-944.
24. Gonçalves, N. H. Manejo do solo para implantação da cana-de-açúcar. In: Segato, S. V.; Pinto, A.; Jendiroba, E.; Nobrega, J. C. M. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba, CP 2, **2006**, 415 p.
25. Nunes, R. S. Distribuição de fósforo no solo sob dois sistemas de cultivos e diferentes manejos da adubação fosfatada. 2010. 88 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília - DF, **2010**.
26. Casalinho, H. D.; Martins, S. R.; Silva, J. B.; Lopes, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. *Revista Brasileira de Agrociência*. 2007, v. 13, p.195-203.
27. Staben, M. L.; Bezdicek, D. F.; Smith, J. L.; Fauci, M. F. Assentment of soil quality in conservation reserve program and wheat -fallow soils. *Soil Science Society of America Journal* v. 61, 1997, p. 124-130.
28. Franchini, J. C.; Crispino, C. C.; souza, R. A.; Torres, E.; Hungria, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil Tillage Research*, 2007, v. 92, p.18-29.
29. Doran, J. W.; Sarrantonio, M.; Liebig, M. A. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy*, 1996, v. 56, p. 1-54.
30. Vezzani, F. Qualidade do sistema solo na produção agrícola. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 184 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
31. Mendes, I. C.; Hungria, M.; Rei-Junior, F. B.; Fernandes, M. F.; Chaer, G. M.; Mercante, F. M.; Zilli, J. E. Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade? Planaltina-DF: Embrapa Cerrados, 2009. 31p. (Documentos, 246).
32. Stenberg, B. Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. *Soil and Plant Science*, 1999, v. 49, p. 1-24.
33. Tótola, M. R.; Chaer, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: Venegas, V. H. A., Schaefer, C. E. G. R., Barros, N. F., Mello, J. W. V., Costa, L. M. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo. v. II (2002) – Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 2002, P. 195-276.
34. Arshad, M. A. Coen, G. M. Characterization of soil quality Physical and chemical criteria. *American Journal of Alternative Agriculture Cambridge*, v. 7, n. 1 e 2, p. 25-31, 1992.
35. Goedert, W.; Oliveira, S. A. Fertilidade do solo e sustentabilidade da atividade agrícola In Novas, R. F. Alvarez, V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F. Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, p. 991-1017.
36. Carneiro, M. A.; Souza, E. D.; Reis, E. F.; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 2009, v. 33, n.1, p. 147-157.
37. Melloni, R.; Melloni, E. G. P; Alvarenga, M. I. N.; Vieira, F. B. M. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa*, 2008, v. 32, n. 6, p. 2461-2470.
38. Mesquita, H. A.; Paula, M. B.; Alvarenga, M. I. N. Indicadores de impactos das atividades agropecuárias. *Informe agropecuário, Belo Horizonte*, 2000, v. 21, n. 202, p. 57-62, 70-71.
39. Lebauer, D. S.; Treseder, K. K. Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. *Ecology, Washington*, 2008, v. 89, n. 2, p. 371-379.
40. Ernani, P. R. Notas sobre química do solo. Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC. 2001. 50 p.
41. Cuevas, E.; Medina, E. Nutrient dynamics within Amazonian forests. II. Fine root growth, nutrient availability and leaf litter decomposition. *Oecologia, Berlin*, 1988, v. 76, n. 2, p. 222-35.
42. Kaspari, M.; Wright, J.; Yavitti, J.; Harms, K.; Garcia, M.; Santana, M. Multiple nutrients limit litterfall and decomposition in a tropical forest. *Ecology Letters, Oxford*, 2008, v.11, n.1, p.35-43.
43. Araujo, A. S. F.; Monteiro, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Bioscience Journal*, 2007, v. 23, p. 66-75.
44. Powson, D. S.; Brookes, P. C.; Christensen, B. T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total organic matter due to straw incorporation. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, v. 19, p. 159-164.
45. Balota, E. L.; collozi-Filho, A.; Andrade, D. S.; Hungria, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo de sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1998, v. 22, p. 641-649.
46. Roscoe, R.; Mercante, F. M.; Mendes, I. C.; Reis Junior,



- F. B.; Santos, J. C. F.; Hungria, M. Biomassa microbiana do solo: fração mais ativa da matéria orgânica. In: ROSCOE, R.; Mercante, F. M.; Salton, J. C. (Ed.). *Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares*. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2006, p. 163-198.
47. Mercante F. M.; Silva, R. F.; Francelino, C. S. F.; Cavalheiro, J. C. T.; Otsubo, A. A. Biomassa microbiana em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy*, 2008, v. 34, p.479-485.
48. Barbosa, L. A. Impacto de sistemas de cultivo orgânico e convencional da cana-de-açúcar, nos atributos do solo. 2010. 93p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2010.
49. Mielniczuk, J.; Bayer, C.; Vezzani, F. M.; Lovato, T. Fernandes, F. F.; Debarba, L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: *Tópicos e ciência do solo*. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003, v. 3, p. 209-248.
50. Gama-Rodrigues, E. F. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: Santos, G. A.; Camargo, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 227-243.
51. Jenkinson, E. S.; Ladd, J. N. Microbial biomass in soil measurement and turnover. In: Paul, E. A.; Ladd, J. N. (Ed.). *Soil Biochemochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1981. v. 5, p. 415-471. (Books in Soil and the Environment).
52. Gama-Rodrigues, E. F.; Gama-Rodrigues, A. C. Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 2008, v. 32, p. 1521-1530.
53. Reis Junior, F. B.; Mendes, I. C. Biomassa microbiana do solo. Embrapa Cerrados. Planaltina – DF. 2007. Documentos. 40 p.
54. Coelho, D. G.; Santos, T. M. C.; Albuquerque, L. S.; Campos, V. B. C.V; Prazeres, S. S. Quantificação de fungos celulolíticos em solos de três ecossistemas. *Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)*, 2008, v.1, n.3, p.45-49.
55. Ruegger, M. J. S.; Tauk-Tornisielo, S. M. Atividade da celulase de fungos isolados do solo da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica, São Paulo*, 2004, v. 27, n. 2, p. 205-211.
56. Arias, M. E.; González-Perez, J. A.; González-Vila, F. J.; Ball, A. S. Soil health – a new challenge for microbiologists and chemists. *International Microbiology*, 2005 V.8, p. 13-21.
57. Swift, M. J.; Heal, O. W.; Anderson, J. M. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press, Berkeley, 1979.
58. Lavelle, P. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International*, 1996, v. 33, p. 3-16.
59. Baretta, D.; Santos, J. C. P.; Bertol, I; Alves, M. V.; Manfoi, A.F; Baretta, C. R. D. M. Efeito do cultivo do solo sobre a diversidade da fauna edáfica no Planalto Sul Catarinense. *Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages*, 2006, v.5, n.2, p. 108-117.
60. Aquino, A. M.; Assis, R. L. Processos Biológicos no Sistema Solo-Planta. Brasília: EMBRAPA, 2005, 368 p.
61. Bayer, C.; Mielniczuk, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G. A; Silva, L. S.; Canellas, L. P.; Camargo, F. A. O. (Ed.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. ver. E atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008, cap. 2, p. 7-18.
62. Santos, J. L. S. Qualidade do solo após implantação do sistema integração lavoura-pecuária em pastagem degradada no cerrado. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal de Goiás – Escola de Agronomia, Goiânia, GO, 2009.
63. Silva, J. E.; Resck, D. V. S. Matéria orgânica do solo. In: Vargas, M. A. T.; Hungria, M. *Biologia dos solos dos cerrados*. 1 ed. Planaltina: Embrapa, 1997, p. 467-517.
64. INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA DE SANTA CATATINA. Avaliação do projeto microbacias I: monitoramento da qualidade da água Relatório de Avaliação Final. Florianópolis: ICEPA, outubro de 1999.
65. Bertoni, J.; Lombardini Neto, F. Conservação do Solo. Piracicaba: Livroceres, 1985.
66. Faria, A. P.; Marques, J. S. “o desaparecimento de pequenos rios brasileiros”. 1999, 146(25) 56-61. *Ciência Hoje*
67. Karr, J. R.; Schlosser, I. J. Water resources and the land-water interface. *Science*, 1978, v. 201, p. 229-234.
68. Schlosser, I. J. Stream fish ecology: a landscape perspective: *Bioscience*, 1991, v. 4, p. 704-712.
69. Gregory, S. V.; Swanson, F. J.; Mickee, W. A.; Cummins, K. W. An ecosystem perspective of riparian zones: focus on links between land water. *Bioscience*, 1991 v. 41, p. 540-551.
70. Sweeney, B. W. Streamside forest and the physical, chemical, and trophic characteristics of Piedmont streams in eastern North America. *Water Science and Technology*, 1992, v. 26, p. 2653-2673.
71. Wallace, J. B.; Eggert, S. L.; Meyer, J. L.; Webster, J. R. Multiple trophic levels of a forest stream linked to

- terrestrial litter inputs. *Science*, **1997**, v. 277, p. 102-104.
72. Von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3<sup>o</sup> ed. Belo Horizonte: UFMG, **2005**, v. 1. 452 p.
73. Pedroza, A. O. R. M.; Carvalho, E. M.; Monteiro, P. L. A. Aspectos físico-químicos e microbiológicos do córrego Estiva em Rio Brilhante, MS. *Revista InterBio*, Dourados, Mato Grosso do Sul, **2009**, v.3 n.1.
74. Abron, L. A.; Corbitt, R. A. Air and water quality standards. In: Corbitt, R. A. *Standard Handbook of Environmental Engineering*. 2 ed., McGraw-Hill, **1999**, p. 3.1-3.33.
75. Corbi, J. J. Influência de práticas de manejo de solo sobre os macroinvertebrados aquáticos de córregos: ênfase para o cultivo de cana-de-açúcar em áreas adjacentes. 2006. 92 f. Tese (Doutorado – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, **2006**.
76. Macedo, I. C. (org.). Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e sua sustentabilidade. São Paulo: Berlendis; Vertecchia: ÚNICA - União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, **2005**, 200 p.
77. Nery, M. S. Desempenho operacional e econômico de uma colhedora em cana crua. 108 p. Dissertação (Mestrado). ESALQ, Piracicaba – SP. **2000**.
78. COOPERCITRUS INFORMATIVO AGROPECUÁRIO. A responsabilidade do setor agrícola na preservação da água. Ano XIV – n<sup>o</sup> 164, p. 16 – junho de **2000**.
79. Oliveira, R. M. S.; Tornisielo, V. L. Determinação de resíduos organoclorados no leite bovino na bacia do Cerveiro, Piracicaba, SP. In: VI Encontro de Ecotoxicologia, **2000**, p. 95.
80. Santos, A. Distribuição de metais no reservatório de captação de água superficial Anhumas Américo Brasileiro – SP. USP. **1999**. 147 p. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
81. Richards, C.; Johnson, L. B.; Host, G. E. Landscape-scale influences on stream habitats and biota. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **1996**, p. 295-311.
82. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Produção e Agroenergia. Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia. Relação das Unidades Produtoras Cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroecologia. Posição 22/07/2009. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br> Acesso em 20 de dez. **2012**.
83. Köppen, W. Klassifikationen des klimate nach temperatur, niederschlag und jahrelauf. *Petermans Geographische Mitteilugem*, Goth, **1918**, v. 64, p. 193-203.
84. AGRITEMPO – Sistema de Monitoramento Agroecológico. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br>> Acesso em 13 mai. **2012**.
85. Oliveira, A. L. R. de. Riscos climáticos e fator de resposta das culturas da cana-de-açúcar e do trigo para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. 2006. 168 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, **2006**.
86. Novaes, A. S. S. Amaral Filho, Z. P.; Vieira, P. C.; Fraga, A. G. C. Levantamento Exploratório dos Solos. In: Projeto RADAMBRASIL, Folha SE. 22, Goiânia. Rio de Janeiro: **1983**.
87. EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 2<sup>a</sup> edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, **2006**, 306 p.
88. Souza Junior, J. J. Mapa de Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, 31. Folha SE. 22. Rio de Janeiro: **1983**.
89. World Wildlife Fund (WWF). Expansão agrícola e perda da biodiversidade no Cerrado: origens históricas e o papel do comércio internacional. Brasília, DF: WWF. Brasil, **2000**.
90. World Wildlife Fund (WWF). Análise da expansão do complexo agroindustrial canavieiro no Brasil: Documento aberto para consulta pública. Coordenação Técnica: Luiz Fernando Laranja da Fonseca; Ilan Kruglianskas. Brasília: WWF Brasil, **2008**.
91. DBO ENGENHARIA. Estudo de Impacto Ambiental para instalação da Usina São Francisco de Açúcar e Álcool S/A. Rov. GO-206, km 18 Fazenda São Francisco, Quirinópolis, Goiás, **2004**, 350 p.
92. Santos, R. D. do; Lemos, R. C. de; Santos, H. G. dos; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C. dos. Manual de descrição e coleta de solo no campo. EMBRAPA. 5<sup>a</sup> Ed. Viçosa, **2005**, 120 p.
93. Castro, S. S.; Cooper, M.; Santos, M. C. P. Vidal Torrado. Micromorfologia do solo: Bases e Aplicações. Tópicos de Ciências do Solo, c. 3. **2003**, p.107-164.
94. Antoniulli, Z. I; Conceição, P.C; Bock, V; Port, O; Silva, D. M; Silva, R. F. Método Alternativo para Estudar a Fauna do Solo. *Ciência Florestal*, Santa Maria, **2006**, v.16, n.4, p. 407-417.
95. Filizola, H. F.; Gomes, M. A. F.; Souza, M. D. Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas para Análise da Qualidade Ambiental: Solo, Água e Sedimentos. Jaguariúna-SP: EMBRAPA Meio Ambiente, **2006**, 169 p.
96. Filho, G. N. S.; Oliveira, V. L. Microbiologia: Manual de aulas práticas. Florianópolis-SC: Editora UFSC, **2007**, 80 p.



# R. S. Sant'Ana<sup>1,2 \*</sup> & Selma S. Castro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, 75113-630, Anápolis-GO, Brasil.

<sup>2</sup>Jardim Botânico de Goiânia (AMMA), 74820-030, Goiânia-GO, Brasil.

<sup>3</sup>Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), Universidade Federal de Goiás, Campus Samambaia, 74001-970, Goiânia-GO, Brasil.

\*E-mail: grssantana@gmail.com

