



Água, Agricultura e
Meio Ambiente
no Estado de São Paulo

Avanços e Desafios.

Embrapa



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

**Água, Agricultura e Meio Ambiente
no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios**

**Editor
Emília Hamada**

Jaguariúna - SP, 2003

Revisão

Maria Amélia de Toledo Leme

Projeto Gráfico

Mundo Afora Propaganda e Marketing

Embrapa Meio Ambiente
Catálogo na publicação (CIP)

Hamada, Emília

Água, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo: avanços e desafios / editado por Emília Hamada. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.

CD-ROM

1. Clima. 2. Água subterrânea. 3. Sistemas de informação. 4. Geoprocessamento. 5. Sensoriamento remoto. 6. Irrigação. I. Título.

CDD 333.91

Apresentação

O Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento e Avaliação de Impacto Ambiental – Embrapa Meio Ambiente, preocupado com a sustentabilidade da agricultura, busca contribuir para o aprimoramento da gestão ambiental das atividades do agronegócio, visando compatibilizar a qualidade ambiental e o processo produtivo de sistemas agrícolas economicamente viáveis e socialmente justos.

Este CD-ROM aborda a questão dos recursos hídricos, agricultura e meio ambiente no Estado de São Paulo, relacionando-a aos grandes temas atuais e de reconhecida relevância, tais como: a vulnerabilidade e mudança climática; as águas subterrâneas; os sistemas de informação na gestão ambiental; e a agricultura irrigada.

Desta forma, as informações sobre os recursos hídricos, agricultura e meio ambiente aqui apresentadas, servirão de incentivo e subsídio às comunidades acadêmico-científica e técnica, dos setores público, privado e ONG's, para o questionamento, a ampliação do conhecimento e a proposição de ações para a gestão ambiental.

Paulo Choji Kitamura
Chefe Geral - Embrapa Meio Ambiente

Introdução

A água é um recurso natural essencial para a sustentação da vida e do meio ambiente. Ela desempenha um papel importante no processo de desenvolvimento econômico e social de um país. Os fatores que mais têm afetado esse recurso são o crescimento populacional e os setores produtivos, entre os quais a agricultura. Essa situação tem conduzido a uma reformulação da concepção do gerenciamento da água, apresentando desafios às entidades de ensino, pesquisa e extensão, aos órgãos governamentais e não governamentais. A discussão de temáticas sobre recursos hídricos, envolvendo a agricultura e o meio ambiente, é fundamental para a conscientização e a participação da sociedade, objetivando a gestão viável e eficaz desses recursos.

Este CD-ROM é resultante do “I Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios”, evento realizado nos dias 16 e 17 de setembro de 2003, em Jaguariúna-SP, pela Embrapa Meio Ambiente. Os textos aqui apresentados são de autoria dos especialistas convidados para proferir as palestras e de envolvidos na realização do evento.

CONDIÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS DO CAFEIEIRO: PRODUTIVIDADE, QUALIDADE E MEIO AMBIENTE

MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO ¹

MARCO ANTONIO DOS SANTOS ²

LUDMILA BARDIN ³

¹APTA / IAC / CENTRO DE ECOFISIOLOGIA E BIOFÍSICA

Engº Agrº, Pesquisador Científico VI, Ph.D., Bolsista CNPq

Caixa Postal: 28 – 13.012-970 – Campinas-SP, Brasil

mcamargo@iac.sp.gov.br

²APTA / IAC / CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL E SUBTROPICAL

Engº Agrº, Estudante do Curso de Pós-Graduação em Tecnologia da Produção Agrícola

Caixa Postal: 28 – 13.012-970 – Campinas-SP, Brasil

marcoins@uol.com.br

³APTA / IAC / CENTRO DE ECOFISIOLOGIA E BIOFÍSICA

Engª Ambiental, Estagiária/bolsista CBPD&Cafê

Caixa Postal: 28 – 13.012-970 – Campinas-SP, Brasil

bardin@dglnet.com.br

Resumo. A produção agrícola depende fundamentalmente de quatro fatores: do germoplasma vegetal, do solo, do clima e do nível tecnológico. Configuram-se aí a utilização de variedades eficientes, o aproveitamento racional da capacidade de uso do solo e das condições climáticas e principalmente, da adequação de tecnologias de produção disponíveis ao agricultor. O cafeeiro pode ser afetado nas suas diversas fases fenológicas pelas condições meteorológicas adversas, que condicionam a produtividade e a qualidade do produto e na sustentabilidade da planta. Atualmente, a cafeicultura brasileira a pleno sol, está sentindo os efeitos da longa duração de cultivo em solo desprotegido, sofrendo degradação progressiva. A técnica da *arborização* é uma prática agrônômica muito eficiente na proteção dos cafezais contra as adversidades meteorológicas, como vento, deficiências hídricas e temperaturas absolutas extremas, e sobretudo contra a degradação dos solos, o que torna o cultivo do café sustentável do ponto de vista econômico e ecológico.

Palavras-chave: clima, temperatura, balanço hídrico, café, produtividade, qualidade.

1. Introdução

A produção agrícola, tanto do ponto de vista quantitativo como qualitativo, depende fundamentalmente de quatro fatores: do germoplasma vegetal, do solo, do clima e da tecnologia, ou seja, do homem propriamente dito. A compreensão de cada um desses fatores e de suas inter-relações são premissas básicas aos avanços mais significativos da produção agrícola. Configuram-se aí a utilização de germoplasmas eficientes, o aproveitamento racional da capacidade de uso do solo e das condições climáticas e principalmente, da adequação de tecnologia de apoio e meios de produção disponíveis ao agricultor.

A agricultura, entre todas as atividades econômicas, é a que apresenta maior dependência das condições ambientais, especialmente as climáticas. Essa dependência, sem considerar os efeitos extremos, é responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção. A distribuição estacional da radiação solar, através de balanços de energia, é preponderante para que ocorram os fenômenos físicos e biológicos nas várias regiões do globo terrestre. Porém, é o fator hídrico que afeta significativamente o crescimento e o desenvolvimento dos vegetais. A frequência e a intensidade do estresse hídrico constituem fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial.

Como exemplo, o cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.) é afetado nas suas diversas fases fenológicas pelas condições meteorológicas, como disponibilidade hídrica do solo, temperatura do ar, adversidades meteorológicas, que condicionam a produtividade da cultura, além de interferir na bienalidade produtiva, na qualidade do produto e na sustentabilidade da planta.

2. Impactos das adversidades meteorológicas na produção agrícola do Estado de São Paulo

O grande potencial de produção agrícola do Estado de São Paulo, seja pela produtividade ou pelo grande número de espécies cultivadas, baseia-se essencialmente em sua posição geográfica, variação altimétrica e disposição de relevo, fatores que condicionam em 90% do Estado tipos variáveis de climas continentais. Aí predominam verão úmido, com energia solar típica do trópico e um inverno seco com temperaturas e precipitações mais reduzidas.

Pelos padrões normais climáticos, de outubro a março, a precipitação pluvial excede a evapotranspiração; de abril a setembro, após equilíbrio entre essas variáveis, a evapotranspiração torna-se maior que a precipitação, resultando em período normal de seca na maior parte do Estado. Quando porém, se decompõem os valores médios desse balanço hídrico em valores

mensais, descendiais ou diários, raramente essas relações hídricas seguem o ritmo climático mencionado. Em anos eventuais, como o ano de 2002, em plena estação de crescimento vegetativo ocorrem longos períodos sem precipitação, coincidentes com elevados valores de radiação solar e temperatura do ar e conseqüentemente alta demanda hídrica. Esse quadro pode inverter, e em pleno inverno estabelece-se a superumidade, com períodos longos de excedentes hídricos, como aconteceu durante o ano de 1976.

3. Modelagem e Simulação em Agrometeorologia

Modelo quantifica efeitos de variáveis ambientais no crescimento e produtividade de culturas.

São definidos a seguir sistema, modelo e simulação:

- **Sistema:** é uma parte limitada da realidade que contém vários elementos inter-relacionados;
- **Modelo:** representação simplificada de um Sistema. É uma teoria científica sobre o funcionamento de um certo Sistema; refere-se à descrição de processos, através de equações no intuito de prever “comportamento”;
- **Simulação:** é a arte de construir modelos matemáticos e de estudar suas propriedades em relação às do Sistema. É a arte de modelar para prever os referidos processos.

As relações entre os elementos climáticos e a produção agrícola são bastante complexas, pois os fatores ambientais podem afetar o crescimento e o desenvolvimento das plantas sob diferentes formas nas diversas fases do ciclo da cultura.

Para melhor entendimento dessas interações têm sido desenvolvidos modelos que procuram caracterizar os efeitos das variações climáticas sobre o desenvolvimento e a produção vegetal. A análise quantitativa das interações clima-planta, pelo uso de modelos, tem muitas utilizações práticas nas atividades agrícolas e agrometeorológicas. Cartas e mapas dos resultados de vários modelos têm sido usados para planejamento de uso da terra e zoneamento agrícola. Os modelos têm sido utilizados também para caracterizar a duração dos ciclos das culturas, permitindo assim o planejamento das semeaduras e o monitoramento das épocas de maturação e colheita, assim como para estimativa de quebra de safra agrícola, baseando-se nos efeitos de vários elementos meteorológicos.

Diferentes aproximações têm sido sugeridas para modelar o efeito da variabilidade climática na produção vegetal; uma das mais utilizadas é a seguinte:

- a) *Modelo empírico-estatístico*: não considera o entendimento científico do sistema por ser uma mera descrição estatística dos dados. Fundamenta-se em relações derivadas a partir de *análise de regressões*. As variáveis meteorológicas correspondem normalmente às condições termopluiométricas reinantes durante o ciclo da cultura. Vantagens: Necessita de poucos dados e é de fácil aplicação no monitoramento agrometeorológico. Desvantagem: aplicação local, pois devido ao empirismo, a extrapolação é limitada ao local de parametrização dos modelos.
- b) *Modelo matemático*: o modelo procura descrever matematicamente os processos envolvidos durante o ciclo da cultura através de análises parciais. Normalmente são considerados resultados de balanços hídricos, temperaturas adversas, graus-dia, etc. Vantagens: necessita de poucos dados, é de fácil aplicação no monitoramento agrometeorológico e é de aplicação mais regional. Desvantagem: dificuldade na parametrização dos modelos
- c) *Modelo dinâmico*: diferencia-se dos demais através do grau de detalhamento individual para cada processo envolvido. Vantagem: apresenta pequena restrição à extrapolação espacial dos resultados. Desvantagens: apresenta grande dificuldade na obtenção dos dados necessários para o seu desenvolvimento. Necessita de um número muito maior de informações climatológicas, fenológicas e fisiológicas; difícil aplicação prática no monitoramento agrometeorológico e dificuldade de parametrização dos modelos.

O comportamento de um sistema pode ser descrito matematicamente através de equações. O modelo matemático-estatístico representa quantitativamente as hipóteses feitas a respeito do sistema real. Pode ser considerado como a formalização do conhecimento que se tem do sistema. São *excelentes mecanismos de previsão*! A informática possibilitou grande avanço na área da simulação matemática.

- Planejadores econômicos: utilizam modelos matemáticos genéricos, menos detalhados. Ex: Indicadores de variação de preços;
- Pesquisadores científicos: utilizam modelos matemáticos mais específicos, mais detalhados, pois necessitam saber como as coisas funcionam.

O que induz à concepção de Modelos? A busca de novos conhecimentos e o desejo de prever. A elaboração de um Modelo é apenas a formalização do conhecimento do pesquisador.

O nível de detalhamento de um modelo depende fundamentalmente do objetivo e das informações disponíveis. Pouco vale um modelo sofisticado se as informações necessárias são escassas ou de difícil obtenção. “Um Modelo deve ser **suficientemente simples** para permitir sua manipulação e entendimento; e **suficientemente complexo** para permitir a extrapolação dos resultados”.

4. Modelo matemático agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsídio à previsão de safra de café

Uma consistente estimativa antecipada da produção de café no Brasil requer o conhecimento do tripé “*Área-Tempo-Produtividade*”. A *área* pode ser estimada através das tecnologias de imagens de satélite georeferenciadas a campo como base para o mapeamento geoprocessado e conseqüente cadastramento das áreas cafeeiras. O *tempo*, é importante, pois uma estimativa consistente deve ser obtida antecipadamente, pelo menos até o último bimestre do ano anterior à produção.

O conhecimento *da produtividade* antecipada do cafeeiro é fundamental para bem caracterizar a produção final e conseqüentemente a previsão de safras. A produtividade é influenciada por vários fatores, como a utilização de insumos, preços, avanços técnicos, fatores biológicos e principalmente climáticos. Este último, pode ser bem caracterizado através de modelos de monitoramento agrometeorológico, que consideram que cada fator climático exerce um certo controle na produtividade por influenciar em determinados períodos críticos da cultura, como o florescimento ou formação de grãos.

Como exemplo, Camargo et al. (2003) desenvolveram modelo fenológico-agrometeorológico visando o monitoramento e estimativa da quebra relativa de produtividade esperada do café, que consideram os efeitos ambientais aos processos fisiológicos determinantes da produção. Dados climáticos, fenológicos e de produtividade de mais de 40 localidades representativas de regiões cafeeiras dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná foram considerados.

O componente fenológico do modelo visa estimar as épocas de início da “plena floração” do cafeeiro arábica, baseado na quantidade de calor acumulado necessário para que as gemas florais completem a maturação, ficando prontas para a antese plena quando o somatório de graus-dia a partir de abril atinge 1.590 GD.

O componente agrometeorológico do modelo considera diferentes coeficientes de

sensibilidade ao estresse hídrico (deficiência) e térmico (geada e temperatura elevada) em forma de penalização multiplicativa durante as fases fenológicas da cultura. O componente hídrico é baseado nos resultados de balanço hídrico sequencial, a nível decendial (10 dias). A deficiência hídrica é quantificada através do déficit de ET relativa $[1 - ETr/ETp]$, ajustados por diferentes fatores de sensibilidade da cultura (K_y) ao déficit hídrico acontecidos nas diferentes fases fenológicas na forma de produtório. ETr e ETp correspondem à evapotranspiração real e potencial. A parametrização dos valores de K_y foi feita a partir de observações experimentais e de acordo com a fenologia bienal do cafeeiro.

O componente térmico do modelo se baseia na ocorrência de temperaturas máximas ou mínimas, ocorridas durante as fases fenológicas críticas e que interferem na produtividade da cultura. Diferentes modelos matemáticos foram testados (linear, exponencial, logístico, gaussiano, etc.), que relacionam quebra de produtividade em função da ocorrência de temperaturas mínimas absolutas do ar inferiores a 2°C , ou seja, sob condições de geadas e temperaturas máximas do ar superiores a 34°C durante a fase fenológica crítica do florescimento.

O modelo de estimativa de quebra de produtividade foi testado para diversas regiões cafeeiras do Brasil. Resultados preliminares indicam que o modelo multiplicativo de penalização baseado em informações agrometeorológicas e fenológicas tem potencial para monitorar e estimar a quebra de produtividade esperada para diferentes regiões cafeeiras, podendo servir como importante subsídio aos trabalhos de previsão de safra.

5. Fenologia do cafeeiro

A fenologia do cafeeiro arábica é complexa, porém pode ser definida e esquematizada em 6 diferentes fases para as condições tropicais do Brasil. Possibilita identificar as fases que exigem água facilmente disponível no solo e aquelas nas quais torna-se conveniente ocorrer pequeno estresse hídrico, para condicionar uma abundante florada. Em síntese, o café arábica leva dois anos para completar o ciclo fenológico de frutificação, ao contrário da maioria das plantas que completam o ciclo reprodutivo no mesmo ano fenológico. As seis fases fenológicas distintas que ocorrem normalmente em dois anos agrícolas, compreendendo os períodos vegetativos e reprodutivos são:

1ª fase: “Vegetação e formação das gemas vegetativas”: período vegetativo, de sete meses, de *setembro a março*, todos com dias longos;

2ª fase: “Indução, crescimento e dormência das gemas florais”: período vegetativo, de cinco meses, de *abril a agosto*, com dias curtos, quando há indução das gemas vegetativas, dos nós formados na 1ª fase, para gemas reprodutivas. No final da 2ª fase, julho-agosto, as plantas entram em relativo repouso. Em seguida vem a maturação das gemas reprodutivas após acumulação de certa de 350 mm de Etp, equivalente a 1.590 GD, a partir de abril;

3ª fase: “Florada, chumbinho e expansão dos frutos”. período reprodutivo, de quatro meses, de *setembro a dezembro*. Para que as gemas maduras sejam induzidas à antese é necessário um aumento do potencial hídrico nas gemas florais (choque hídrico), causado por chuva ou irrigação;

4ª fase: “Granação dos frutos”: período reprodutivo, de 3 meses, de *janeiro a março*.

5ª fase: “Maturação dos frutos”: período reprodutivo, de 3 meses, de *abril a junho*. Ao completar cerca de 700 mm de somatório de Etp, após a florada principal;

6ª fase: “Repouso e senescência dos ramos”: período de repouso, de dois meses, de *julho a agosto*. Morte dos ramos produtivos, não primários.

6. Qualidade da bebida

Atualmente grande ênfase tem sido dada à qualidade de bebida do café arábica, porém, a maioria dos cafeicultores efetua produção natural de café (sem despulpamento), sendo a secagem executada em terreiros a céu aberto. O gradiente de continentalidade e as variações de altitude, entre 400 e 1100m, nas principais regiões cafeeiras do Estado resultam múltiplas condições térmicas e hídricas. Essas combinações interferem na fenologia do cafeeiro e condicionam cinco classes de qualidade de bebida.

A qualidade de bebida tem se mostrado satisfatório em plantios localizados em altitudes superiores a 1.000m e em regiões de clima seco e frio no momento da colheita. Por outro lado, o plantio em regiões sujeitas ao acúmulo de ar frio e a localização de terreiros em baixadas, proximidades de ribeirões ou represas, demonstram que os fatores climáticos poderiam favorecer o desenvolvimento de processos fermentativos deletérios à qualidade de bebida. As condições climáticas de cultivo, especialmente as térmicas e hídricas, mostram-se fatores preponderantes na qualidade de bebida e na definição da aptidão climática.

O café arábica apresenta ciclo fenológico com as fases de florescimento e maturação ocorrendo em épocas que variam em função das condições da região de cultivo. As características

de clima influenciam a qualidade do café em função da velocidade do desenvolvimento dos frutos, ocorrência de processos fermentativos prolongados e incidência de grãos defeituosos. Quando o ciclo de produção é muito curto e é interrompido pela colheita, os ácidos clorogênicos fragmentados e o triptofano apresentam gosto amargo e adstringente concorrendo para a formação da bebida dura. Porém, se o ciclo é longo, as transformações bioquímicas são completadas e ocorre acúmulo de precursores levando o grão a apresentar características mais favoráveis de bebida.

Dentre os fatores climáticos que atuam na qualidade natural de bebida do café arábica, destaca-se a temperatura do ar por sua influência na duração do ciclo produtivo e condicionando a época de colheita. Assim é possível mapear a época provável de maturação, como primeiro passo na regionalização do Estado de São Paulo. Visa identificar áreas com diferentes tipos de qualidade natural do café arábica. A **Figura 1** mostra o mapeamento da época provável de ocorrência do período maturação-colheita baseada no acúmulo de 3500 graus-dia ($T_b=10^{\circ}\text{C}$), a partir do florescimento (15/setembro). A **Figura 2** apresenta o zoneamento da qualidade natural da bebida do café arábica no Estado de São Paulo em função das condições climáticas normais.

No planalto paulista os cultivos com época de colheita em abril-maio, situados na região noroeste, pelas temperaturas altas antecipam a colheita tornando o ciclo mais curto, com isso dificultam a modificação e transformação de compostos químicos resultando como característica regional cafés de bebida dura para riado. As épocas de maturação que ocorrem nos períodos posteriores a Julho-Agosto ocorrem na região leste-nordeste (Mogiana) e possibilitam boa qualidade de bebida, enquanto, a média sorocabana (Avaré-Pirajú) tem a qualidade prejudicada pela ocorrência de chuvas em plena maturação-colheita.

A região da Serra do mar e a faixa litorânea têm a qualidade de bebida muito influenciada pela umidade induzindo a qualidade de bebida rio e riado.

A utilização apenas do fator térmico como condicionante da qualidade de bebida natural do café arábica não é satisfatório, devendo ser considerado também o fator hídrico, pois locais com clima úmido propiciam o desenvolvimento de microorganismos que fermentam a polpa do grão de café levando a tipos de qualidade de bebida inferiores.

7. Ano atípico de 2002

O ano de 2002 apresentou nas áreas cafeeiras da região sudeste do Brasil períodos com acentuada deficiência hídrica associados a elevadas temperaturas do ar, especialmente durante o outono (março a junho) e primavera (setembro a dezembro). Estas adversidades climáticas afetaram bastante a fenologia do cafeeiro, como a fase final da granação e o período da maturação dos frutos (outono) e o florescimento e início da granação (primavera).

O fruto do café está sujeito a quatro etapas no processo fermentativo: *láctica*, *acética*, *propiónica* e *butírica*. As duas primeiras, não atingem a semente, não resultando no surgimento de gostos estranhos na bebida. Quando porém as condições de altas temperaturas são favoráveis para o prosseguimento das atividades microbianas, causam os processos fermentativos atingindo as etapas propiónica e butírica causando gostos estranhos na bebida. As altas temperaturas dos meses de março a maio de 2002, com temperaturas médias mensais de 1 a 3°C acima da média histórica (**Quadros 1 a 3**), antecipou e acelerou a maturação dos grãos, provocada pela grande quantidade de calor acumulado na fase de maturação dos frutos. Esta situação atípica, levou a uma redução considerável da duração da fase de plena maturação (cereja), passando rapidamente da fase de cereja imaturo (verde) para frutos “passa” prejudicando a colheita e dificultando as práticas exigidas para a obtenção da bebida de qualidade superior, notadamente em cultivos a pleno sol. Este ciclo curto de maturação, menor de 15 dias, afetou os parâmetros físicos da bebida produzindo bebida dura fermentada em várias regiões cafeeiras.

Nos **Quadros 1 a 3** estão apresentadas as temperaturas médias dos meses de janeiro a dezembro dos anos de 2001 e 2002 e como referência as médias históricas para as localidades de Campinas-SP, Mococa-SP, Franca-SP, Marília-SP, Guaxupé-MG e Patrocínio-MG, representativas das principais áreas cafeeiras dos Estados de São Paulo, sul e triângulo de Minas Gerais. Observa-se que as temperaturas dos meses de março a junho de 2002 ficaram em média 2°C acima das médias históricas, especialmente para as regiões de Marília, Mococa, Campinas e Franca.

As chuvas intensas ocorridas no início de agosto, associadas às elevadas temperaturas do outono, provocaram uma florada precoce em meados de agosto, especialmente em culturas de café novas e adultas que não produziram no ano interior. No início de setembro ocorreram resfriamentos generalizados e geadas em algumas áreas de São Paulo e Minas Gerais,

provocando uma inibição da síntese de clorofila de folhas novas, resultando no aparecimento de grande número de folhas cloróticas (amareladas).

Devido às chuvas generalizadas do início de setembro, ocorreu uma segunda florada em meados deste mês de setembro nas mesmas culturas, porém não ocorrendo floradas expressivas em culturas adultas que tiveram alta produção em 2002. No início de outubro teve início um período com deficiências hídricas elevadas, associado a altas temperaturas, em média 4°C acima das médias históricas. Foram observadas temperaturas máximas diárias superiores a 35°C em mais de 10 dias consecutivos. Esta condição climática atípica afetou o crescimento vegetativo das plantas e retardando a floração das culturas que tiveram alta produção em 2002, com possíveis conseqüências negativas para a produção de 2003. Nas culturas que floresceram, a deficiência hídrica interna da planta, associada à baixa disponibilidade de carboidratos para os frutos jovens, causou elevada queda de “chumbinhos” com o reinício das chuvas nos meses de outubro a dezembro.

As **Figuras 3 a 8** apresentam para as regiões de Mococa, Campinas, Franca, Marília, Guaxupé e Patrocínio, os extratos do balanço hídrico decendial (10 dias) indicando os períodos com deficiência e excedente hídricos, assim como as linhas de armazenamento de água no solo para os anos de 2001 e 2002. Pode-se observar que a partir do mês de abril de 2002 ocorreu uma queda acentuada nos níveis de armazenamento de água disponível no solo, atingindo valores mínimos inferiores a 10mm no bimestre setembro-outubro. Estes baixos níveis de quantidade de água disponível no solo para as plantas associados às altas temperaturas do ar ocorreram na fase fenológica crítica do florescimento, chumbinho e expansão dos frutos.

Esta condição climática desfavorável do ano de 2002, comparada com os últimos anos, certamente influirá na fenologia e produção do agrícola 2002/03 na maioria das áreas cafeeiras da região Sudeste do Brasil. Associada ainda a fatores como ciclo de baixa bienalidade, redução do nível de tratamento fitossanitário e de adubação, práticas culturais como podas e recepas, fazem com que as estimativas oficiais de produção de café do Brasil (CONAB, abril 2003) sejam da ordem de 28 a 31 milhões de sacas de café beneficiado. Estes níveis de produção esperada representam uma redução entre 37 e 41% comparada com a produção de 47 milhões de sacas obtidas no ano agrícola 2001/2002.

8. Arborização e sustentabilidade da cafeicultura

A arborização de cafezais é uma técnica agrícola muito utilizada em países da África e América Central, visando à proteção da cultura contra adversidades meteorológicas e à promoção da sustentabilidade da cafeicultura. A maioria dos cultivos comerciais brasileiros não utiliza esta prática, adotando o cultivo a pleno sol.

A cafeicultura comercial brasileira teve início no século XIX no Estado do Rio de Janeiro e no Vale do Paraíba, em São Paulo. Com o desgaste das terras, após dezenas de anos de cultivo exploratório, a cultura entrou em decadência e se tornou antieconômica. No início do século XX migrou para as regiões norte paranaense e planalto paulista, onde devido à alta fertilidade dos solos e melhores técnicas agrícolas, o cultivo teve enorme sucesso. Na década de 70, a cultura cafeeira sofreu muito com as geadas severas, especialmente no norte do Paraná, onde a cafeicultura reduziu-se consideravelmente. Nos anos 1970 e 1980, a cafeicultura migrou para as regiões sul, Triângulo Mineiro e Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, hoje o maior produtor de café do Brasil.

Atualmente, a cafeicultura a pleno sol da região Sudeste do Brasil, está sentindo os efeitos da longa duração de cultivo em solo desprotegido, sofrendo degradação progressiva. Segundo Camargo (1990) a arborização quando bem aplicada torna-se uma prática agrônômica muito eficiente na proteção dos cafezais contra as adversidades meteorológicas, como vento, deficiências hídricas e temperaturas absolutas extremas, e sobretudo contra a degradação dos solos devido à erosão, o que torna o cultivo do café sustentável do ponto de vista econômico e ecológico.

Em regiões como o Paraguai e Mato Grosso, onde as temperaturas normais são elevadas e semelhantes ao destes meses do outono 2002, a cafeicultura encontra condições microclimáticas plenas de temperatura, utilizando técnicas apropriadas de *arborização*. Esta técnica nas condições das regiões cafeeiras dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo e Paraná, trará o benefício de evitar a quebra acentuada da qualidade da bebida por temperaturas elevadas no outono. A experiência indica que um cafezal bem arborizado, com cobertura de aproximadamente 20% do terreno, reduz em média a temperatura do ar em cerca de 2 a 3°C. Esta alteração do microclima do cafeeiro beneficiaria a fenologia e a produtividade das plantas, minimizando não apenas a ocorrência de adversidades de temperaturas elevadas, prolongando a

fase da maturação do café cereja, como também, da ocorrência de temperaturas baixas que provocam geadas e que prejudicam as plantas e a produção. A introdução de espécies arbóreas altera o balanço de energia na lavoura e reduz a perda de calor pelas plantas de café, propiciando temperaturas nas folhas de 2 a 4°C mais elevadas, durante a ocorrência de geadas de radiação. Diferentes espécies florestais estão sendo utilizadas em alguns cultivos nos Estados do Paraná e Minas Gerais para este fim, como a casuarina, leucena, grevílea e pinus.

Quadro 1. Temperaturas médias mensais dos anos de 2001, 2002 e médias históricas das localidades de Campinas-SP e Franca-SP.

Campinas				
Decêndio	2001	2002	Média	2002-Média
Jan	25.0	24.3	24.2	0.1
Fev	25.3	23.2	24.4	-1.2
Mar	24.7	25.4	23.9	1.4
Abr	23.7	24.8	22.1	2.7
Mai	19.4	21.2	19.7	1.5
Jun	19.1	20.8	18.4	2.5
Jul	19.3	18.7	18.4	0.3
Ago	20.9	22.4	19.9	2.4
Set	21.4	21.0	21.1	-0.2
Out	22.3	26.3	22.4	3.9
Nov	24.2	24.4	23.1	1.3
Dez	23.6	25.3	23.6	1.7
Média	22.4	23.1	21.8	1.4

Franca				
Decêndio	2001	2002	Média	2002-Média
Jan	23.8	23.5	23.1	0.4
Fev	24.8	22.9	23.0	-0.1
Mar	23.7	24.1	21.9	2.2
Abr	22.8	23.0	20.9	2.1
Mai	19.3	20.5	18.7	1.8
Jun	18.2	19.6	17.3	2.3
Jul	19.8	18.3	17.2	1.1
Ago	19.3	21.6	19.0	2.6
Set	21.8	21.7	20.7	1.0
Out	21.8	25.7	21.8	3.9
Nov	23.5	24.4	22.3	2.1
Dez	23.1	24.5	23.0	1.5
Média	21.8	22.5	20.7	1.8

Quadro 2. Temperaturas médias mensais dos anos de 2001, 2002 e médias históricas das localidades de Marília-SP e Guaxupé-MG.

Marília					Guaxupé				
Decêndio	2001	2002	Média	2002-Média	Decêndio	2001	2002	Média	2002-Média
Jan	25.1	23.0	24.5	-1.5	Jan	23.5	22.7	23.5	-0.8
Fev	25.7	23.8	24.7	-0.9	Fev	24.1	22.2	23.4	-1.3
Mar	26.0	26.2	23.8	2.4	Mar	23.2	23.3	23.0	0.3
Abr	25.6	25.7	22.8	2.9	Abr	22.7	22.6	21.8	0.8
Mai	20.5	22.1	20.2	1.9	Mai	18.6	21.6	19.2	2.4
Jun	19.2	22.3	18.9	3.4	Jun	17.9	19.2	18.0	1.2
Jul	21.0	20.1	19.0	1.1	Jul	19.1	18.0	18.3	-0.3
Ago	22.4	23.0	19.6	3.4	Ago	18.6	21.2	19.8	1.4
Set	22.9	21.5	21.6	-0.1	Set	19.7	20.2	21.3	-1.1
Out	23.7	26.3	22.6	3.7	Out	21.4	25.4	22.7	2.8
Nov	25.5	23.6	23.5	-0.1	Nov	23.0	22.8	23.0	-0.2
Dez	23.7	25.3	24.0	1.3	Dez	22.0	23.6	23.4	0.2
Média	23.5	23.5	22.1	1.4	Média	21.2	21.9	21.5	0.5

Quadro 3. Temperaturas médias mensais dos anos de 2001, 2002 e médias históricas das localidades de Patrocínio-MG e Mococa-SP.

Patrocínio					Mococa				
Decêndio	2001	2002	Média	2002-Média	Decêndio	2001	2002	Média	2002-Média
Jan	23.2	22.9	23.0	-0.1	Jan	25.1	24.7	24.4	0.3
Fev	24.0	21.6	23.3	-1.7	Fev	25.7	23.8	24.6	-0.8
Mar	22.9	23.6	23.1	0.5	Mar	25.2	25.5	24.1	1.3
Abr	22.9	23.4	22.6	0.8	Abr	24.0	24.7	22.6	2.1
Mai	20.5	20.8	20.7	0.1	Mai	19.9	21.5	20.3	1.2
Jun	19.5	19.9	19.4	0.5	Jun	19.8	21.2	19.3	1.9
Jul	20.0	20.6	19.6	1.0	Jul	20.9	19.7	19.3	0.5
Ago	19.6	22.1	20.7	1.4	Ago	21.9	23.3	21.2	2.1
Set	21.5	22.3	22.1	0.2	Set	22.4	22.1	22.5	-0.4
Out	21.6	25.4	23.1	2.3	Out	23.3	27.7	23.6	4.0
Nov	22.4	24.1	22.7	1.5	Nov	24.6	25.1	23.9	1.2
Dez	22.0	24.1	22.6	1.5	Dez	23.9	25.9	24.1	1.8
Média	21.7	22.6	21.9	0.7	Média	23.1	23.8	22.5	1.3

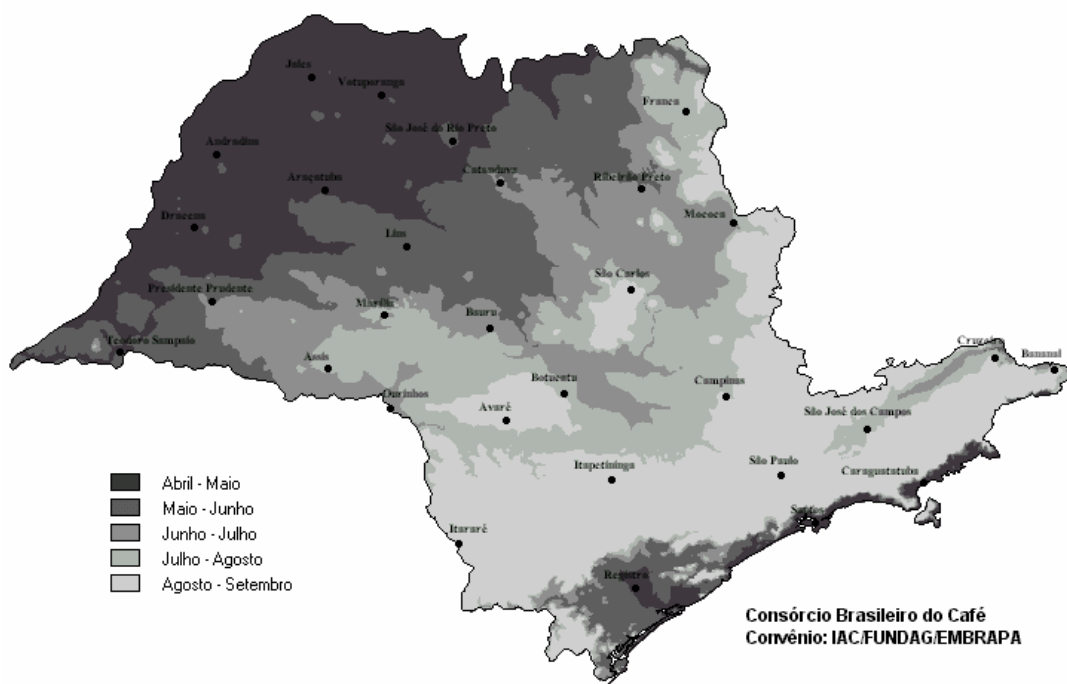


Figura 1. Época provável de ocorrência do período maturação-colheita do café arábica em função do acúmulo de graus-dia no Estado de São Paulo (Ortolani et al., 2001).

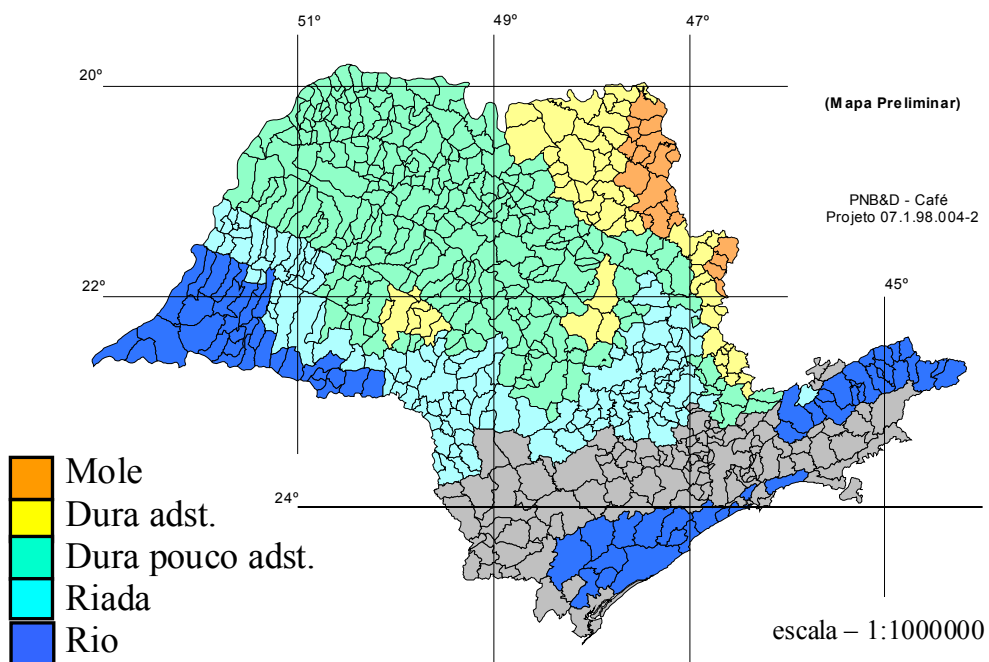


Figura 2. Zoneamento da qualidade natural da bebida do café arábica no Estado de São Paulo (Fonte: Ortolani et al., 2000)

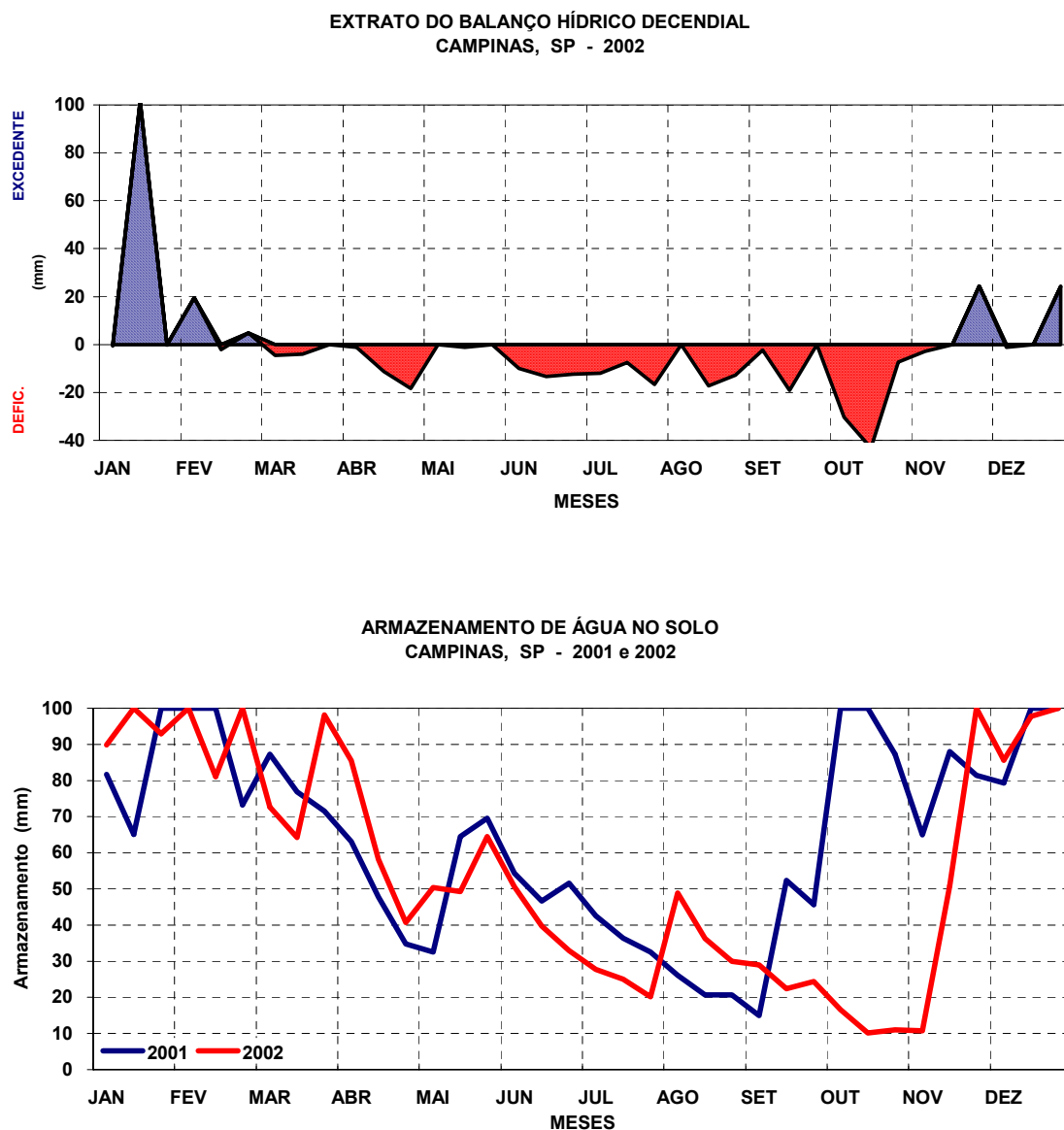


Figura 3. Extrato do balanço hídrico decendial do ano de 2002 e curvas de armazenamento de água no solo dos anos de 2001 e 2002 para a região de Campinas-SP.

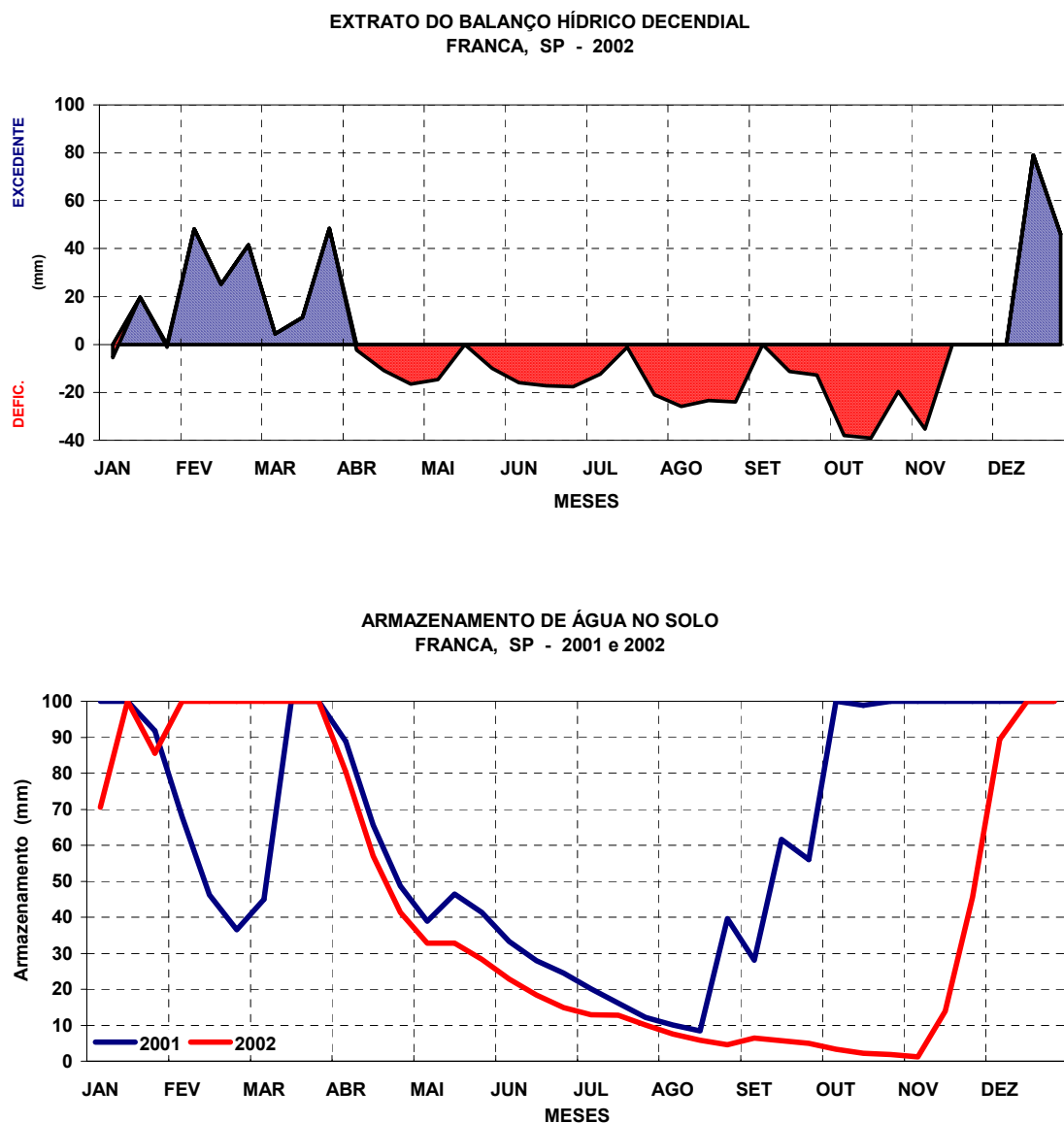


Figura 4. Extrato do balanço hídrico decendial do ano de 2002 e curvas de armazenamento de água no solo dos anos de 2001 e 2002 para a região de Franca-SP.

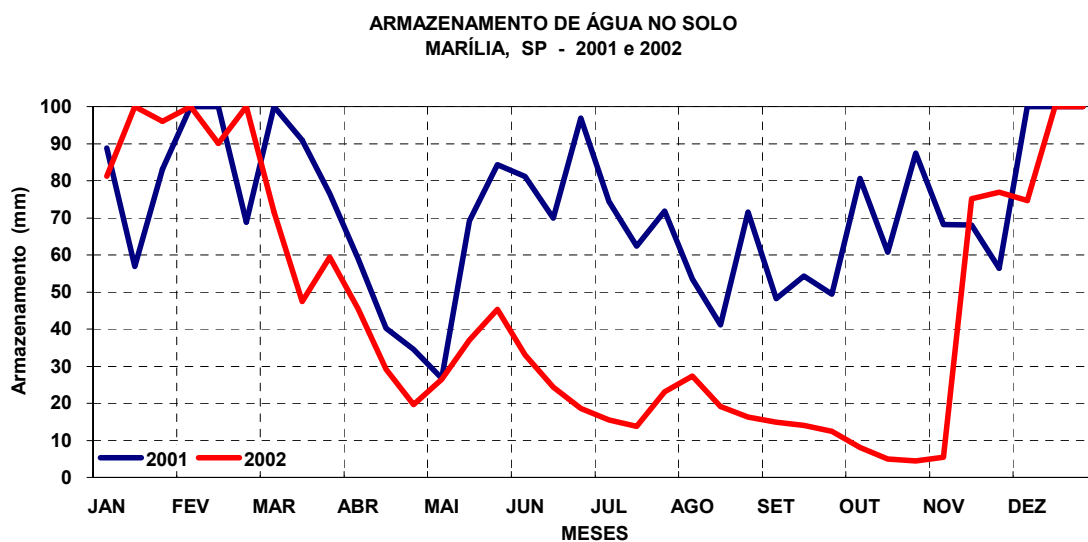
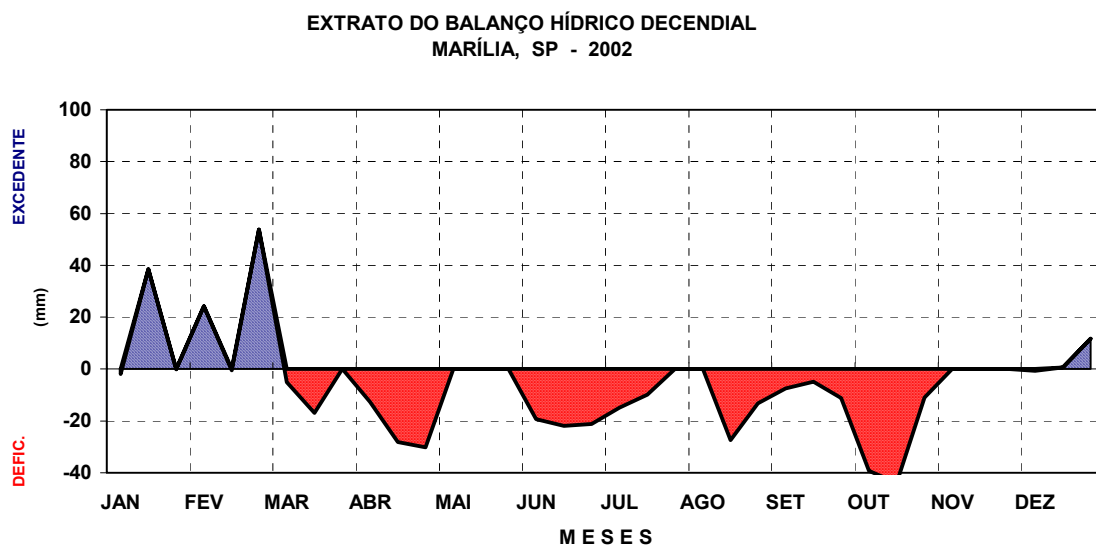


Figura 5. Extrato do balanço hídrico decendial do ano de 2002 e curvas de armazenamento de água no solo dos anos de 2001 e 2002 para a região de Marília-SP.

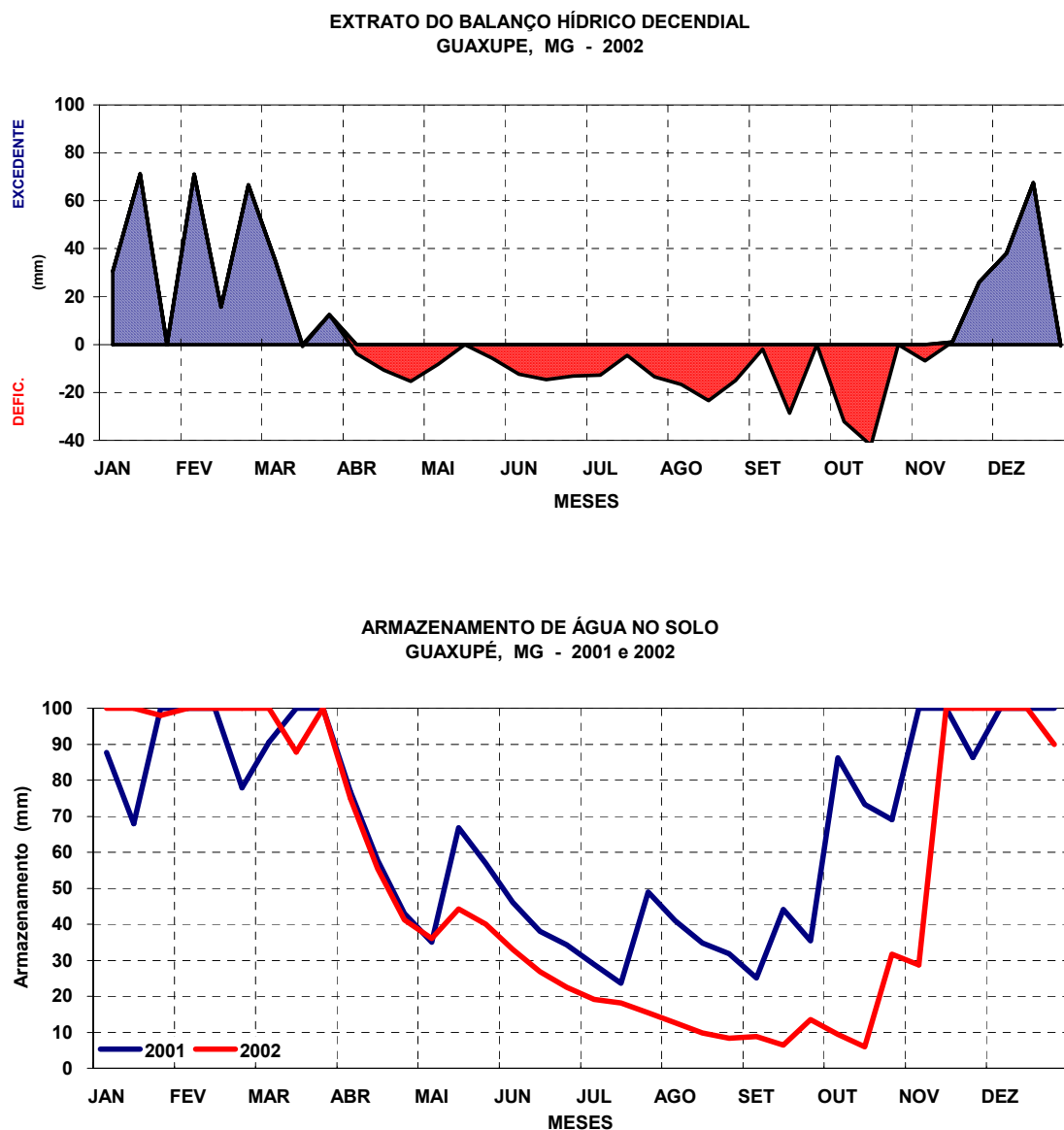


Figura 6. Extrato do balanço hídrico decendial do ano de 2002 e curvas de armazenamento de água no solo dos anos de 2001 e 2002 para a região de Guaxupé-MG.

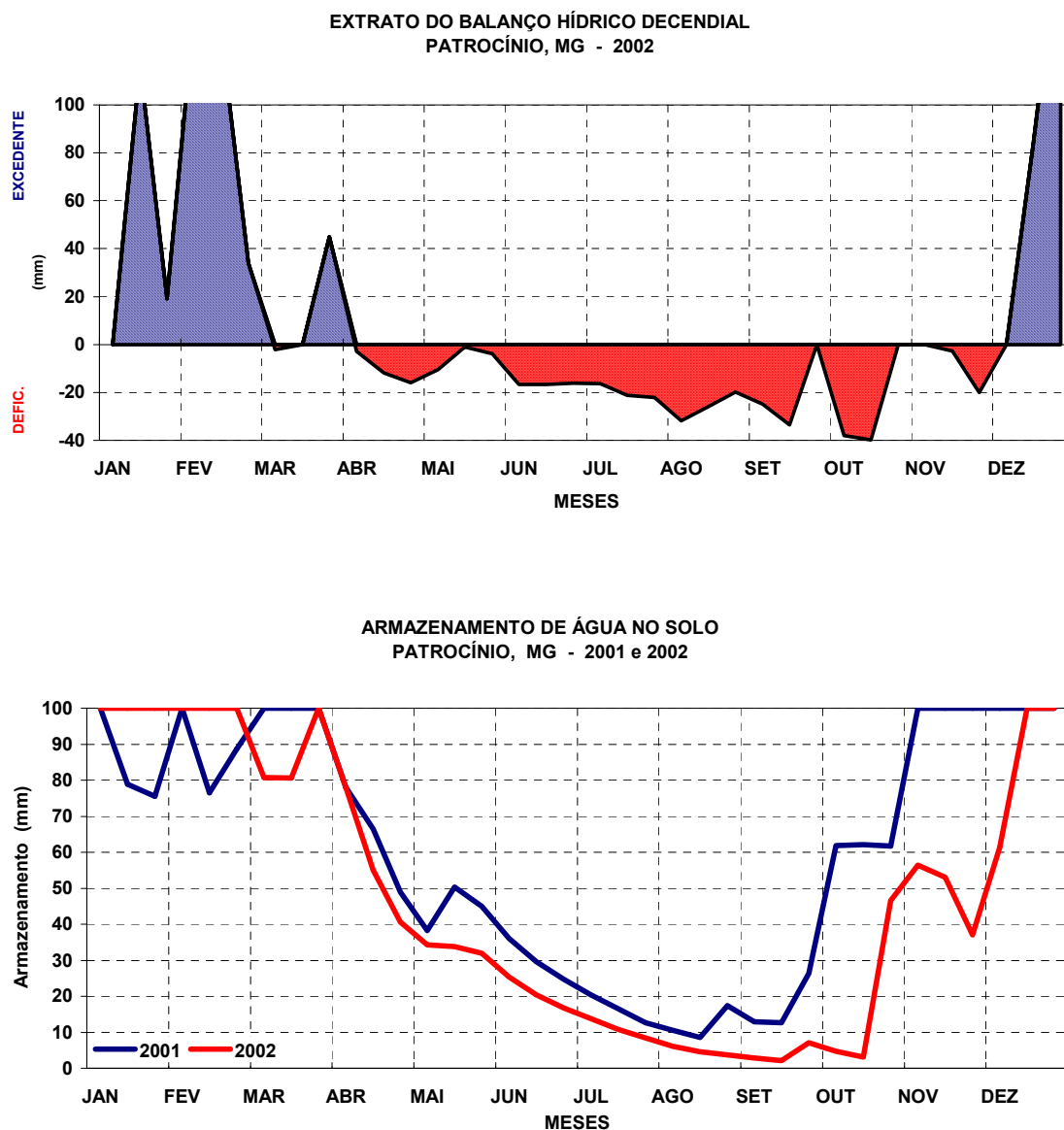


Figura 7. Extrato do balanço hídrico decenal do ano de 2002 e curvas de armazenamento de água no solo dos anos de 2001 e 2002 para a região de Patrocínio-MG.

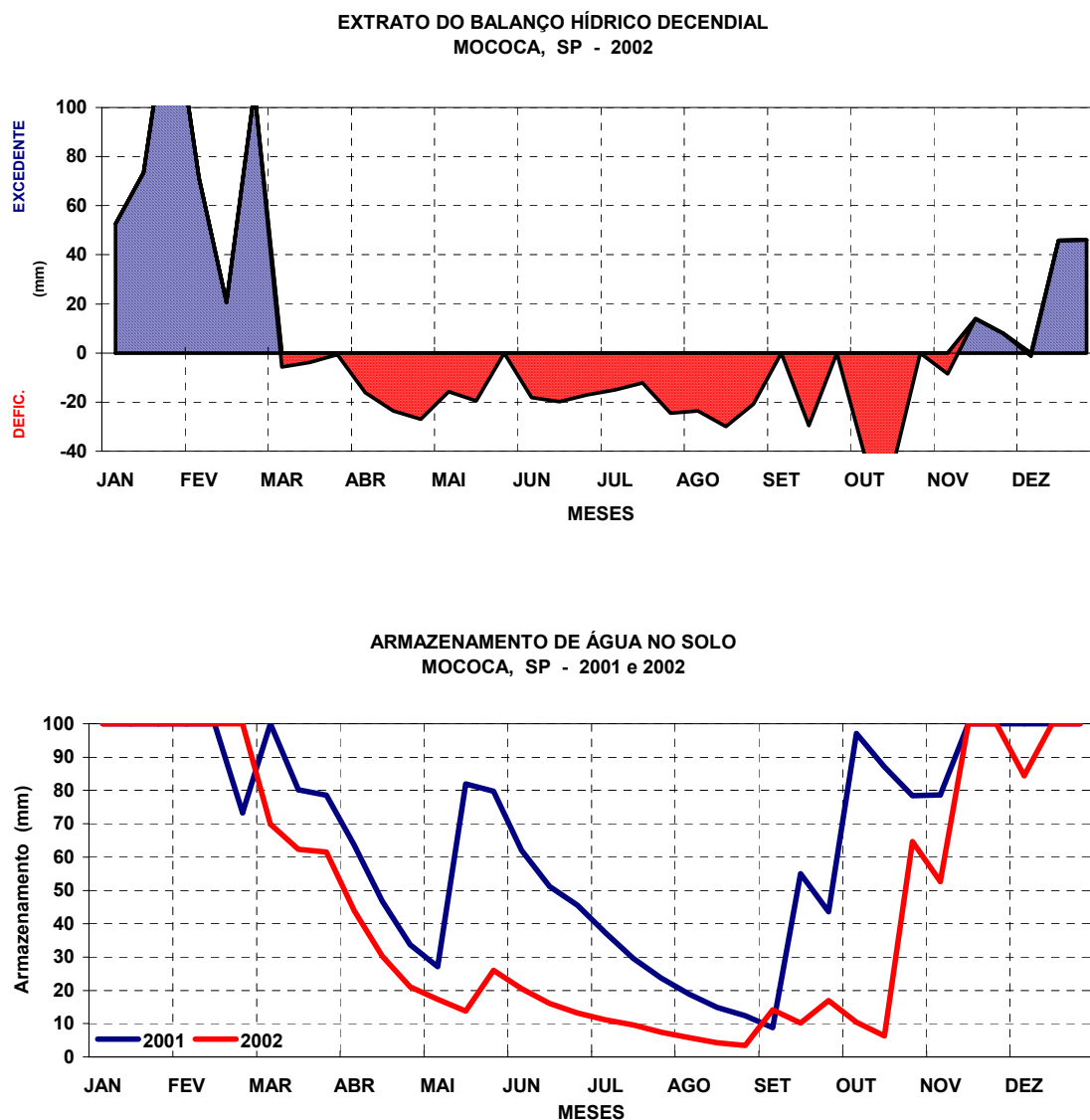


Figura 8. Extrato do balanço hídrico decenal do ano de 2002 e curvas de armazenamento de água no solo dos anos de 2001 e 2002 para a região de Mocooca-SP.

Referências

CAMARGO, A. P. A arborização como meio de reduzir as adversidades climáticas e promover a sustentabilidade da cafeicultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 16., 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Anais...** Espírito Santo do Pinhal: MAPA/DECAF/PROCAFÉ, 1990. v. 1, p. 6-7.

CAMARGO, M. B. P.; SANTOS, M. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; FAHL, J. I.; BRUNINI, O.; MEIRELES, E. J. L.; BARDIN, L. Modelo agrometeorológico de monitoramento e de estimativa de quebra de produtividade como subsídio à previsão de safra de café: resultados preliminares. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa-Cafê, 2003. v. 1, p. 75-76.

ORTOLANI, A. A.; CORTEZ, J. G.; PEDRO JUNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; THOMAZIELLO, R. A.; ALFONSI, R. R. Clima e qualidade natural de bebida do café arábica no Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa-Cafê, 2000. v. 1, p. 662-664.

ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; CAMARGO, M. B. P.; CORTEZ, J. G.; PALLONE FILHO, W. J. Regionalização da época de maturação e qualidade natural de bebida do café arábica no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Funceme/SBA, 2001. v. 1, p. 53-54.

Bibliografia recomendada

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, p. 65-68, 2001.

CAMARGO, A. P.; SANTINATO, R.; CORTEZ, J. G. Aptidão climática para a qualidade de bebida nas principais regiões cafeeiras de arábica no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 18., 1991, Vitória. **Anais...** Vitória: MAPA/DECAF/PROCAFÉ, 1992. v. 1, p. 70-74.

CAMARGO, M. B. P.; HUBBARD, K. G. Drought sensitivity indices for a sorghum crop. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 12, n. 2, p. 312-316, 1999a.

CAMARGO, M. B. P.; HUBBARD, K. G. Spatial and temporal variability of daily weather variables in sub-humid and semi-arid areas of the United States High Plains. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 93, n. 2 p. 141-148, 1999b.

CAMARGO, M. B. P.; ORTOLANI, A. A.; PEDRO JUNIOR, M. J.; ROSA, S. M. Modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade para o cultivar de laranja Valência. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 171-178, 1999.

CAMARGO, M. B. P.; MASCARENHAS, H. A. A.; MORAES, A. V. C.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; RECO, P. C. Development and test of agrometeorological models for predicting soybean yield based on soil water availability in the state of São Paulo, Brazil. In: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 6., 1999, Chicago.

Proceedings... Chicago: The University of Illinois/Soybean Research & Development Council, 1999. v. 1, p. 600-601.

CAMARGO, M. B. P.; BRUNINI, O.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BARDIN, L. Variabilidade espacial e temporal de dados termoplúviométricos diários da rede de estações meteorológicas do Instituto Agrônomo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Funceme/SBA, 2001a. v. 1, p. 207-208.

CAMARGO, M. B. P.; PEDRO JUNIOR, M. J.; CAMARGO, A. P.; FAHL, J. I.; FAZUOLI, L. C.; SANTOS, M. A. Modelo agrometeorológico de estimativa da época da plena floração do cafeeiro arábica em condições tropicais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa-Café, 2001b. v. 1, p. 173-180.

CAMARGO, M. B. P. Agrometeorological models for monitoring and predicting crop yield in São Paulo State, Brazil. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON CROP MONITORING AND YIELD FORECASTING: Tools for Food Early Warning, 2002, Cordoba. **Proceedings...** Cordoba: FAO/UN/JRC, 2002. v. 1, p. 7-11.

CAMARGO, M. B. P.; ALFONSI, R. R.; CAMARGO, A. A.; MELLO, M. H. A.; ASTOLPHO, F. Geadas severas na região cafeeira de Campinas-SP de 1890-2001 e sua relação com o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 123-127, 2002a.

CAMARGO, M. B. P.; PEDRO JUNIOR, M. J.; PALLONE FILHO, W. J.; ASTOLPHO, F. Mapeamento das probabilidades de ocorrência de geadas no Estado de São Paulo a partir de modelos digitais de elevação obtidos por sensoriamento remoto orbital. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: SBEA, 2002b. v. 1, p. 2641-2644.

CAMARGO, M. B. P.; CAMARGO, A. P.; THOMAZIELLO, R. A.; BARDIN, L. Influência do outono quente de 2002 sobre a precocidade da maturação e quebra de qualidade do café arábica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 28., 2002, Caxambu. **Anais...** Caxambú: MAPA/DECAF/PROCAFÉ, 2002c. v. 1, p. 458-459.

CORTEZ, J. G. Aptidão climática para qualidade de bebida nas principais regiões cafeeiras de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 187, p. 27-31, 1997.

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P.; ALFONSI, E. L.; SANTOS, M. A. Efeito das condições climáticas sobre a bienalidade da produtividade do café arábica na região de Mococa, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2001, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Funceme/SBA, 2001. v. 1, p. 155-156.

MORAES, A. V. C.; CAMARGO, M. B. P.; MASCARENHAS, H. A. A.; MIRANDA, M. A. C.; PEREIRA, J. C. V. A. Teste e análise de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja na região de Ribeirão Preto. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 393-406, 1998.

ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P. R.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. p. 71-81.

ORTOLANI, A. A.; SENTELHAS, P. C.; CAMARGO, M. B. P.; PEZZOPANE, J. E. M.; GONÇALVES, P. S. Agrometeorological model for seasonal rubber tree yield. **Indian Journal of Natural Rubber Research**, New Deli, v. 11, n. 1/2, p. 8-14, 1998.

PICINI, A. G.; CAMARGO, M. B. P.; ORTOLANI, A. A.; FAZUOLI, L. C.; GALLO, P. B. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 157-170, 1999.

VARIABILIDADE CLIMÁTICA ¹

HILTON SILVEIRA PINTO ²

EDUARDO DELGADO ASSAD ³

JURANDIR ZULLO JÚNIOR ⁴

ANA M. H. DE ÁVILA ⁵

²CEPAGRI/UNICAMP – FEAGRI/UNICAMP - CNPq

Cidade Universitária “Zeferino Vaz” - 13083-970 - Barão Geraldo - Campinas - SP, Brasil

{hilton, jurandir, avila@cpa.unicamp.br}

³EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA - CNPq

Caixa Postal 6041 - 13083-886 - Barão Geraldo - Campinas - SP, Brasil

assad@cnpia.embrapa.br

Resumo. Este trabalho descreve os efeitos da variação climática advindos do aquecimento global sobre as culturas agrícolas. De forma geral, com o aquecimento global, em um futuro próximo espera-se cenário de clima mais extremo, com secas, inundações e ondas de calor mais frequentes. A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e conseqüentemente há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas. Impactos como a elevação do nível dos oceanos e furacões mais intensos e mais frequentes também poderão ser sentidos.

Palavras-chave: clima, aquecimento global, .mudanças climáticas.

1. Introdução

O clima da terra passou por contínuas variações naturais ao longo de sua história evolutiva gerando e transformando novas organizações de ecossistemas. O último período de glaciação, por exemplo, terminou há 10 mil anos quando começou o atual período de interglaciação. Essas mudanças climáticas envolvem fatores internos e externos ao sistema. Os primeiros incluem variações no sistema solar, efeitos astronômicos sobre a órbita da terra e atividades vulcânicas. Os segundos incluem a variabilidade natural do clima e sua interação com a atmosfera, oceanos e superfície da terra.

¹ Finep-CNPq

A atmosfera terrestre é uma mistura mecânica de partículas sólidas, gases e massas líquidas. Os principais gases são o Nitrogênio (78%) e o Oxigênio (21%), existindo ainda outros gases em menores quantidades. Em presença da luz solar os gases reagem entre si formando-se e dissociando-se. Um outro componente importante é o vapor d'água que existe em quantidades variáveis, em torno de 4% por volume. Devido a essas características a atmosfera funciona como um filtro à luz solar, deixando passar apenas as ondas curtas, bloqueando a saída para o espaço da radiação infravermelha ou termal. Os principais elementos responsáveis por bloquear a saída da radiação para o espaço são o Metano (CH₄), o Dióxido de nitrogênio (NO₂) e o Dióxido de carbono (CO₂) que, associados ao vapor d'água, dão origem ao efeito estufa. Esse é um processo natural, sem o qual a temperatura da terra ficaria em torno de 17°C negativos.

A partir do Século XVIII com a Revolução Industrial a utilização (queima) de combustíveis fósseis, como o carvão mineral e derivados de Petróleo tem-se intensificado. Com o uso crescente desses elementos a atmosfera começou a alterar sua composição, aumentando a quantidade de gases poluentes de longa vida, sendo o principal deles o CO₂. O aumento excessivo desses gases forma uma espécie de barreira à radiação infravermelha mantendo-a próxima à superfície de Terra.

Reconhecendo a problemática das mudanças climáticas globais, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a UNEP (*United Nations Environment Programme*) criaram o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), em 1988. O IPCC é uma entidade formada por cientistas de todo o mundo, com objetivo de estudar e divulgar abertamente as informações técnicas e sócio-econômicas e os impactos relevantes aos riscos à humanidade visando criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais.

Segundo o IPCC, no século XX houve um aumento de 0,65°C na média da temperatura global sendo este mais pronunciado na década de 90. Quanto à precipitação esse incremento foi de 0,2 a 0,3% na região tropical, compreendida entre 10°C de latitude Norte e 10°C de latitude Sul. Do ponto de vista global, as possíveis causas dessas mudanças entre o sistema terra-atmosfera-oceano são estudadas levando-se em conta suas forçantes e seus mecanismos de interação. As causas dessa variação podem ser de ordem natural, causada pelo homem (antropogênica) ou uma soma das duas (**Figura 1**).

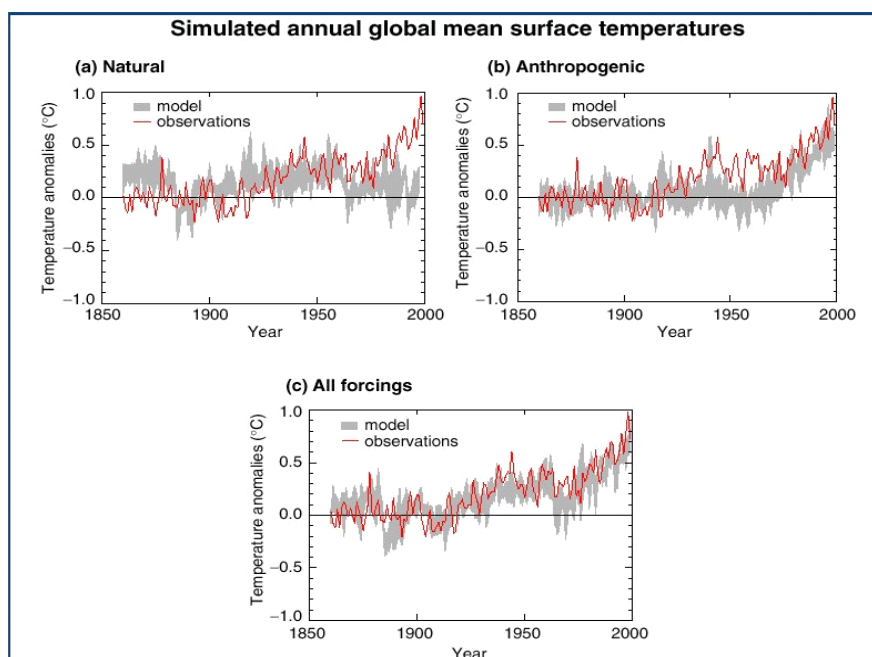


Figura 1. Variação da temperatura global, com base em dados observados e estimados por modelos, considerando variações naturais do clima, efeitos antropogênicos e ambos. Fonte: IPCC-WGII-TAR - Impacts, Adaptation and vulnerability 2001.

Em 2001 o IPCC, por meio de modelos matemáticos baseados em dados registrados nos Oceanos, Biosfera e Atmosfera, indicou um aumento entre 1,4 e 5,8°C da temperatura global até o final do século XXI (**Figura 2**). As magnitudes de tais previsões são ainda incertas, pois pouco se sabe sobre os processos de trocas de calor, de carbono e de radiação entre os diversos setores do sistema Terra. Recentemente um grupo de cientistas ingleses e americanos da Universidade de Virgínia (EUA) ratificou as informações divulgadas pelo IPCC de que a elevação da temperatura ocorrida no final do Século XX foi realmente anômala e que o homem teve um papel relevante nesse processo.

A fim de evitar catástrofes irreversíveis, o aumento da temperatura do planeta tem sido objeto de preocupação de cientistas e governantes, os quais tentam estabelecer meios para adaptação ou mitigação de seus efeitos. O Protocolo de Quioto realizado no Japão em 1997 estabelece metas para que os países industrializados reduzam, entre 2008 e 2012, as emissões combinadas de gases de efeito estufa em pelo menos 5% em relação aos níveis de 1990.

De forma geral, com o aquecimento global, em um futuro próximo espera-se cenário de clima mais extremo, com secas, inundações e ondas de calor mais freqüentes. A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e conseqüentemente há maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas. Impactos como a elevação do nível dos oceanos e furacões mais intensos e mais freqüentes também poderão ser sentidos.

Outro fenômeno natural de escala global que provoca alterações no clima no mundo inteiro é o El Niño/Oscilação Sul (ENOS). O ENOS é um fenômeno de grande escala composto por uma componente oceânica - aquecimento ou resfriamento das águas no Oceano Pacífico Tropical - e outra atmosférica – alteração da circulação atmosférica e deslocamento da região de máxima atividade convectiva. Na fase quente do ENOS (El Niño) o deslocamento da região de máxima atividade convectiva se dá do Pacífico Oeste para o Central, e na fase fria (La Niña) este deslocamento é para oeste. O calor latente gerado pela atividade convectiva tropical é a mais importante fonte de calor da atmosfera depois da forçante solar, e gera ondas atmosféricas de escala planetária. Desta forma, o deslocamento da região convectiva tem impacto de escala planetária interferindo no clima das Américas do Norte, Central e Sul, e outras regiões devido a teleconecções. Segundo Cobb et al. (2003) este fenômeno climático é suscetível à mudanças do clima e portanto poderá ser influenciado pelo efeito estufa, mas ainda é difícil prever qual será a sua resposta à esse aquecimento. Sendo o ENOS responsável por alterações no clima do planeta e sensível às mudanças climáticas, no futuro próximo poderão ocorrer mudanças mais radicais, isto é um aquecimento entre 1,5°C e 5,8°C na média da temperatura global em 100 anos, tem potencialmente quase a mesma intensidade das mudanças ocorridas entre o final da era glacial e o atual período interglacial.

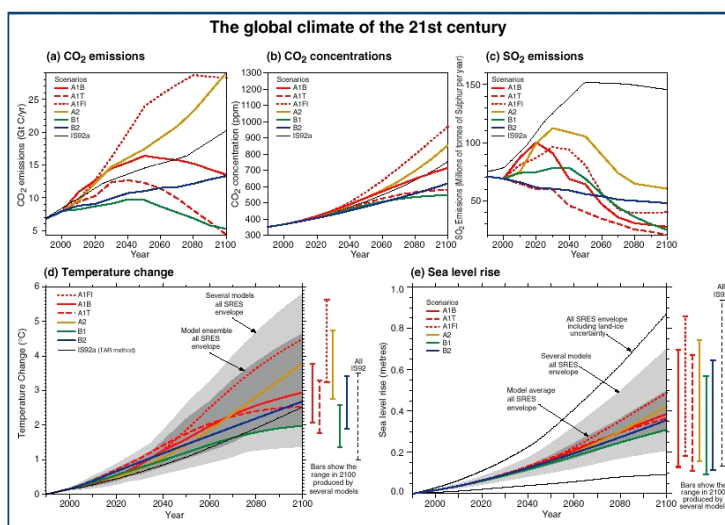


Figura 2. Prognóstico da Variação na Emissão e na Concentração de CO₂, na Emissão de SO₂, na atmosfera, mudança da temperatura e no nível dos Oceanos. Fonte: IPCC-WGII-TAR - Impacts, Adaptation and vulnerability 2001.

O Brasil com sua extensa dimensão continental caracteriza-se por uma considerável heterogeneidade climática, tipos de solo e topografia que imprimem condições favoráveis ou desfavoráveis ao desenvolvimento de determinadas culturas. Considerando-se os prognósticos futuros de aumento das temperaturas pode-se admitir que, nas regiões climatologicamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas, a anomalia positiva que venha a ocorrer será desfavorável ao desenvolvimento vegetal. Quanto maior a anomalia, menos apta se tornará a região, até o limite máximo de tolerância biológica ao calor. Por outro lado, outras culturas mais resistentes a altas temperaturas, provavelmente serão beneficiadas, até o seu limite próprio de tolerância ao estresse térmico. No caso de baixas temperaturas, regiões que atualmente sejam limitantes ao desenvolvimento de culturas susceptíveis a geadas, com o aumento do nível térmico devido ao aquecimento global passarão a exibir condições favoráveis ao desenvolvimento da planta.

Estudos desenvolvidos pelo CEPAGRI/UNICAMP e EMBRAPA demonstram, por exemplo, que a cultura cafeeira, que historicamente encontra condições ótimas de desenvolvimento na Região Sudeste do País, deverá migrar para latitudes maiores. Pinto et al. (1989 e 2001) simularam os efeitos das elevações das temperaturas e da precipitação no zoneamento do café

para os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Goiás e observaram uma drástica redução nas áreas com aptidão agroclimática, condenando a produção nestas regiões.

Outro aspecto a ser analisado refere-se ao efeito direto nas plantas, do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera, o qual tem sido intensamente estudado pelos especialistas em fisiologia vegetal. É bem conhecido o funcionamento, no que diz respeito à atividade fotossintética, da concentração do dióxido de carbono no crescimento das plantas. A concentração do CO₂ na atmosfera, sendo próximo de 300 ppm está bem abaixo da saturação para a maioria das plantas. Níveis excessivos, próximos a 1.000 ppm, passam a causar fitotoxicidade. Nesse intervalo, de modo geral, o aumento de CO₂ promove maior produtividade biológica nas plantas. Assad e Luchiari (1989) utilizando modelos fisiológicos simplificados mostraram que essas variações são significativas nos cerrados brasileiros. A temperatura média durante a estação chuvosa nessas regiões – de outubro a abril – é de 22°C, tendo um máximo de 26,7°C e um mínimo de 17,6°C, supondo que um aumento da concentração de CO₂ provoque um aumento de 5°C na temperatura, as plantas do tipo C4, como o milho e o sorgo, aumentariam a produtividade potencial em pelo menos 10kg/ha/dia de grãos secos. Para as plantas tipo C3, soja, feijão e trigo, esse aumento seria menor, da ordem de 2 a 3kg/ha/dia de grãos secos.

2. Alteração climática no Sul e Sudeste do Brasil

Uma avaliação da variabilidade climática ao longo do tempo no Brasil mostra que, dependendo da região analisada, podem ocorrer alterações contínuas ou ciclos bem demarcados dos elementos meteorológicos, como as temperaturas e a precipitação (Pinto et al., 1989). Não se verificou uma alteração com tendência secular de aumento ou decréscimo nos totais pluviométricos, mas uma oscilação cíclica passando por um mínimo de 1000 milímetros e um máximo de 1700 milímetros em fases de aproximadamente 35 anos.

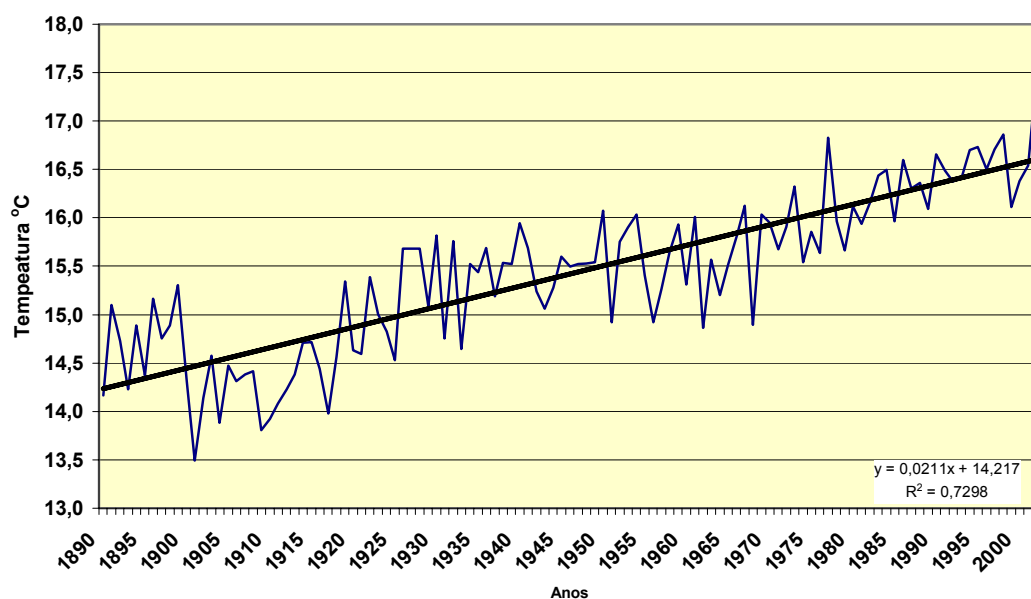


Figura 3. Variação das Temperaturas Médias Mínimas em Campinas – SP. Fonte: IAC/Apta/SAA.

A **Figura 3**, elaborada com dados de temperatura observados entre os anos de 1890 e 2002 medidos no Centro Experimental do Instituto Agrônomo de Campinas, mostra um acréscimo significativo de cerca de $0,02^{\circ}\text{C}/\text{ano}$ na temperatura média mínima anual, ou seja, um aumento de 2°C nos últimos 100 anos.

Deve-se salientar que essa variação não foi causada, necessariamente, pelo aumento do teor de CO_2 na atmosfera, uma vez que a taxa de crescimento está distribuída uniformemente por todo o período. Fatores astronômicos podem ter sido a causa principal (Gusev et al., 1995 e Pugacheva et al., 1995).

A **Figura 4** mostra a variação das temperaturas médias mínimas em Pelotas – RS com gradientes de aproximadamente $0,009^{\circ}\text{C}/\text{ano}$.

Pode-se observar que a variação das temperaturas em Pelotas é muito menor do que a observada em Campinas, explicada provavelmente pela maior frequência de entrada de frentes frias no Sul do país, que passam pelo Rio Grande do Sul, mas não chegam a atingir regiões de latitudes menores.

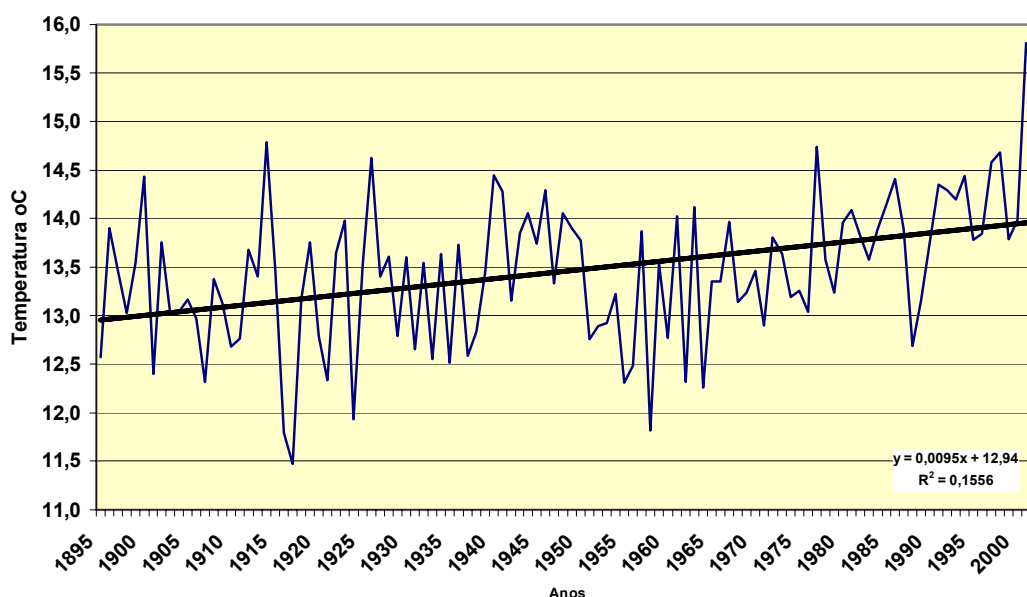


Figura 4. Variação das Temperaturas Médias Mínimas Anuais em Pelotas - RS. Fonte: Embrapa/UFPEL.

Embora ainda bastante restrita, as pesquisas sobre mudanças e suas implicações na agricultura brasileira, destacam-se as pesquisas desenvolvidas por Siqueira et al. (1994 a, b) e Siqueira et al. (1997). Na área de modelagem e de simulação, esses trabalhos são de abrangência nacional e os modelos indicam para o Brasil um aumento de 3°C a 5°C na temperatura com tendência maior de aquecimento entre as regiões Sul e Sudeste. Quanto à precipitação os prognósticos são menos consistentes com os modelos indicando aumentos médios de 11% para o Brasil. Diante dessas projeções, estimativas feitas para a cultura do trigo e do milho por Siqueira et al. (1994 a, b) indicam uma redução de 30% e de 16% respectivamente da produtividade, com maiores efeitos no Centro-Sul do país e quanto ao milho essa influência inclui a Região Norte. Estes resultados divergem daqueles encontrados por Assad e Luchiarri (1989), citados anteriormente, que indicam um aumento da produtividade na cultura do milho e do trigo e não uma redução. Em contrapartida, quanto às projeções da cultura da soja, ambos os autores são favoráveis ao aumento da produtividade, Siqueira et al. (1994 a, b) indicam que pode haver um aumento médio da produtividade nacional em torno de 21%.

Os mesmos autores estudando os cenários futuros para a cultura do milho no país prevêem resultados desfavoráveis para a referida cultura, estimando uma redução na produtividade de 16% em média com maiores efeitos no Centro-Sul e Norte do país. Também procurando avaliar o

efeito da variação das temperaturas sobre a agricultura nos próximos 100 anos, segundo as estimativas divulgadas pelo IPCC 2001, Pinto et al. (2001) estudaram a cultura do café no Estado de São Paulo. Salientando-se que a referida cultura encontra condições favoráveis ao seu desenvolvimento com temperaturas entre 18°C e 22°C. Temperaturas acima de 23°C provocam restrição pelo calor podendo provocar aborto floral, por outro lado também possui restrição pelas baixas temperaturas devido à sensibilidade à geada. Necessita também de um período de estiagem para o repouso das plantas, estímulo ao florescimento, qualidade da bebida, colheita e secagem. A **Figura 5** mostra as áreas aptas para a cultura do café no Estado de São Paulo, conforme o Zoneamento agrícola de 1974.



Figura 5. Zoneamento atual da cultura do café.

As **Figuras 6, 7 e 8** mostram a variação nas áreas de cultivo consideradas como potencialmente aptas ao café arábica nas condições climáticas, com temperaturas médias 1°C, 3°C e 5,8°C respectivamente, acima da média de 1990 e precipitação acima de 15% do mesmo ano.

Pode-se observar nos mapas que as áreas de inaptidão para a cultura cafeeira em função das temperaturas máximas suportadas pelas plantas -23°C de média anual, aumentam significativamente até o final do século, deslocando a cultura progressivamente para o Sul e para áreas mais elevadas, em busca de clima mais ameno. A incidência de geadas, por outro lado, diminui drasticamente.

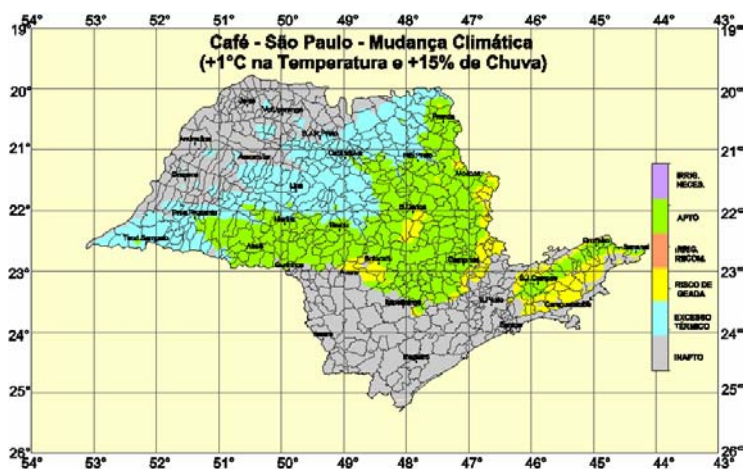


Figura 6. Mapa do potencial de cultivo do café arábica nas condições climáticas atuais e simuladas para alterações de precipitação com aumento de 15% e de temperaturas com 1°C acima da média de 1990.

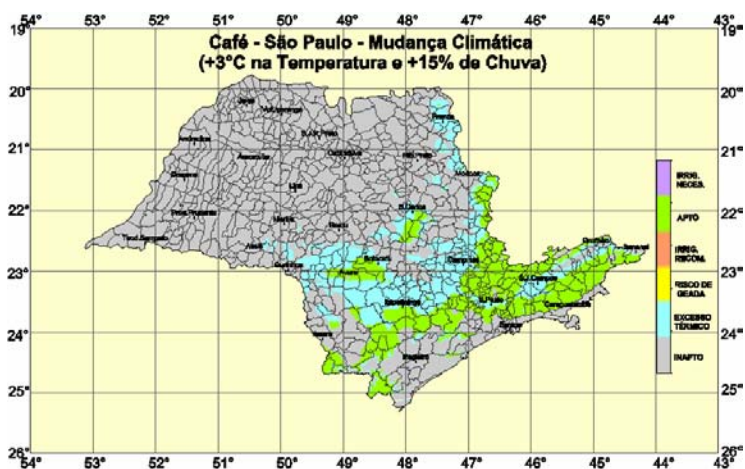


Figura 7. Mapa do potencial de cultivo do café arábica nas condições climáticas atuais e simuladas para alterações de precipitação com aumento de 15% e de temperaturas com 3°C acima da média de 1990.

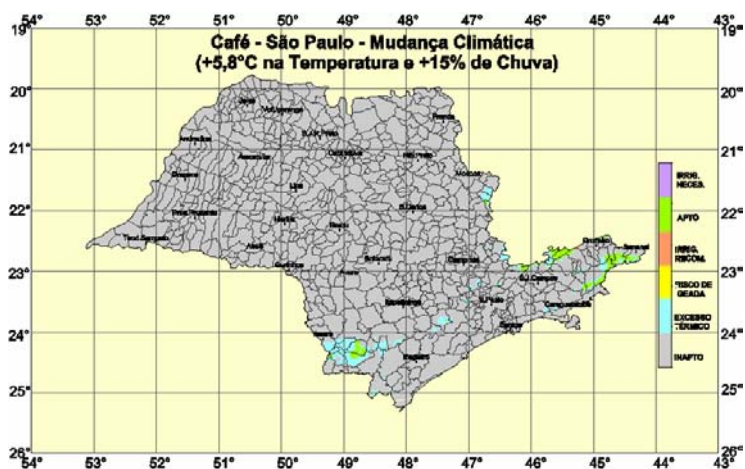


Figura 8. Mapa do potencial de cultivo do café arábica nas condições climáticas atuais e simuladas para alterações de precipitação com aumento de 15% e de temperaturas com 5,8°C acima da média de 1990.

A **Tabela 1** confeccionada a partir das **Figuras 5, 6, 7 e 8** mostra que o potencial atual de cultivo econômico de café arábica no Estado de São Paulo, corresponde a uma área de 97.848 km², ou seja, 39,4% da área do Estado. São consideradas como restritas, por geadas, áreas correspondentes a 57.428km² e por temperaturas elevadas, 39.604 km². Supondo 1°C de aumento médio da temperatura e 15% nas chuvas, a área apta para o café passa a ser de 74.426km², cerca de 10% menor que a atual. A área restrita por geadas passa a ser de 17.394km² e por temperaturas elevadas aumenta para 54.387 km². No caso de aumento de 3°C, as áreas com restrição diminuem para 38.240km², mas a faixa inapta cresce para 173.211 km². No caso extremo considerado pelo IPCC, de 5,8% de aumento de temperatura e 15% de precipitação, a área apta fica sendo de apenas 2.738 km², 1,1% do Estado, ou seja, nos próximos 17 anos São Paulo perde aproximadamente 10% de sua área apta ou 25% em 50 anos. As áreas restritas com temperaturas elevadas são caracterizadas por temperaturas médias anuais acima de 23°C.

Tabela 1. Potencial atual de cultivo econômico de café arábica no Estado de São Paulo

Situação	Inapto	Excesso Térmico	Risco de geada	Irrigação recomendada	Apto	Irrigação necessária
Atual	23,9	15,4	20,8	0,7	39,01	0,0
+1°C + 15% chuva	41,5	21,8	6,9	0,0	29,8	0,0
+3°C + 15% chuva	69,9	15,4	0,0	0,0	15,0	0,0
+5,8°C + 15% chuva	96,6	2,2	0,0	0,0	1,1	0,0

Referências

ASSAD, E. D.; LUCHIARI Jr., A. A future scenario and agricultural strategies against climatic changes: the case of tropical savannas. In: **Mudanças Climáticas e Estratégias Futuras**. USP. Outubro de 1989. São Paulo. SP

COBB, K. M.; CHARLES, C. D.; CHENG, H.; EDWARDS, R. L. **Nature**. v. 424, p. 271-276, 2003.

GUSEV, A. A.; MARTIN, I. M.; PUGACHEVA, G. I.; SILVA, M. G.; PINTO, H. S.; ZULLO Jr., J.; BEZERRA, P. C.; KUDELA, K. The study of solar-terrestrial connections in the Brazilian magnetic anomaly region. **Revista Brasileira de Geofísica**. v. 13, n. 2, p. 119-125, 1995.

IPCC. **Intergovernmental panel on climate change**. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. TAR: Summary for Policymakers. http://www.meto.gov.uk/sec5/CR_div/ipcc/wg1/WG1-SPM.pdf.

PINTO, H. S.; ZULLO Jr., J.; ZULLO, S. A. Oscilações pluviométricas temporais no E. S. Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6., 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: Soc. Bras. Agrometeorologia, 1989, p. 29-33.

PINTO, H. S.; ASSAD, E. D.; ZULLO Jr., J.; BRUNINI, O.; EVANGELISTA, B. A. Impacto do aumento da temperatura no zoneamento climático do café nos Estados de São Paulo e Goiás: avaliação dos cenários do IPCC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA; 12., 2001. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 2001, p. 605-606.

PUGACHEVA, G. I.; GUSEV, A. A.; MARTIN, I. M.; TURTELLI Jr., A.; PINTO, H. S.; ZULLO Jr., J.; BEZERRA, P. C. **The influence of geomagnetical disturbances on the meteorological parameters in the Brazilian magnetic anomaly region**. 24 ICRC. Contributed Papers v. 4., p. 1110-1113, Rome, Italy, 1995.

SIQUEIRA, O. J. F. de; FARIAS, J. R. B. de; SANS, L. M. A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture: applied simulations studies for wheat, maize and soybeans. In: ROSENZWEIG, C., IGLESIAS, A. (org.). **Implications for climate change for international agriculture: crop modeling study**. Washington, DC: EPA, p. 117-135, 1994a.

SIQUEIRA, O. J. F. de; FARIAS, J. R. B. de; SANS, L. M. A. Potential effects of global climate change for brazilian agriculture and adaptative strategies for wheat, maize and soybean. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 115-129, 1994b.

IMPACTOS DA APLICAÇÃO DA VINHAÇA NA ÁGUA SUBTERRÂNEA

SUELI YOSHINAGA PEREIRA

Instituto de Geociências – Universidade Estadual de Campinas
Caixa Postal 6152, CEP 13083-970, Campinas, São Paulo, Brasil
sueliyos@ige.unicamp.br

Resumo O artigo apresenta a situação atual do conhecimento sobre o comportamento da vinhaça, e os impactos de sua aplicação no solo e na água subterrânea. Existem numerosos estudos sobre as conseqüências da aplicação da vinhaça no solo, devido à larga utilização da disposição deste efluente por fertirrigação. Ainda são controversos os impactos dessa aplicação ao longo dos anos e seus efeitos no solo e na água subterrânea. A vinhaça é comprovadamente poluente por conter elevadas dosagens de matéria orgânica e sais minerais (destacando-se o potássio e série de nitrogênio). Os impactos da aplicação da vinhaça no solo e na água subterrânea variam de acordo com as condições fisiográficas da área, da composição química da vinhaça e do volume e periodicidade de aplicação. Notadamente são contaminadores as disposições em áreas de sacrifício, em canais de transporte de vinhaça e lagoas de acumulação e tanques de rejeitos sem impermeabilização. São necessários incentivos ao desenvolvimento de novas tecnologias de tratamento, redução e usos alternativos da vinhaça, em detrimento da fertirrigação, pois a elevada e crescente geração deste efluente não comportará apenas uma forma de destinação.

Palavras-Chaves: água subterrânea, solo, contaminação, vinhaça

1. Introdução

O presente artigo visa discutir o atual estágio do conhecimento sobre os impactos da aplicação da vinhaça no solo e na água subterrânea, com base nas pesquisas realizadas nas últimas décadas sobre o assunto.

A vinhaça é o principal efluente da produção do álcool. Gera-se cerca de 14 bilhões de litros de álcool/ ano, e conseqüentemente, cerca de 169 bilhões de litros de vinhaça no Brasil, proporção essa explicada pela produção de cerca de 13 litros de vinhaça a cada litro de álcool.

As pesquisas referentes ao aproveitamento da vinhaça, e análises de seu impacto no solo e na água subterrânea são reportadas desde 1952, e com boom na década de 70-80 – advindo do Programa Nacional do Álcool – PROÁLCOOL, os estudos se acentuaram procurando alternativas de uso do efluente, dada a preocupação na destinação de tamanho volume de efluente gerado na produção do álcool.

Assim, tecnologias para aproveitamento desse efluente para diversos fins desde então estão sendo desenvolvidas, bem como sistemas e equipamentos para evitar a contaminação do solo e da água subterrânea.

As alternativas de aproveitamento do efluente são a disposição in natura (fertirrigação), concentrada ou biodigerida, substituindo fertilizantes e fornecendo nutrientes em diversas culturas (cana-de-açúcar, feijão, milho, algodão e gergelim, por exemplo), produção de proteína microbiana (biomassa), componente complementar da ração de criações e produção de biogás.

2. A Produção do Álcool no Brasil

O PROGRAMA NACIONAL DO ÁLCOOL (PROALCOOL) iniciou-se em 1975, e teve como finalidade abastecer o mercado interno brasileiro com o álcool combustível, em substituição gradativa da gasolina, em decorrência da crise do petróleo de 1973.

O programa promoveu grande expansão da agroindústria canavieira no país, com implantação de usinas (destilarias autônomas) e transformações em antigas que já produziam açúcar, passando a produzir álcool também (destilarias anexas) (Ludovice, 1997).

A produção brasileira hoje é estimada em cerca de 14 bilhões de litros de álcool por ano, com perspectivas de crescimento de sua produção no mercado interno pelo incentivo do uso do combustível, e como aditivo em gasolina (em relação ao MTBE em outros países).

A **Tabela 1** apresenta a produção brasileira de 1997/98 e 1998/99.

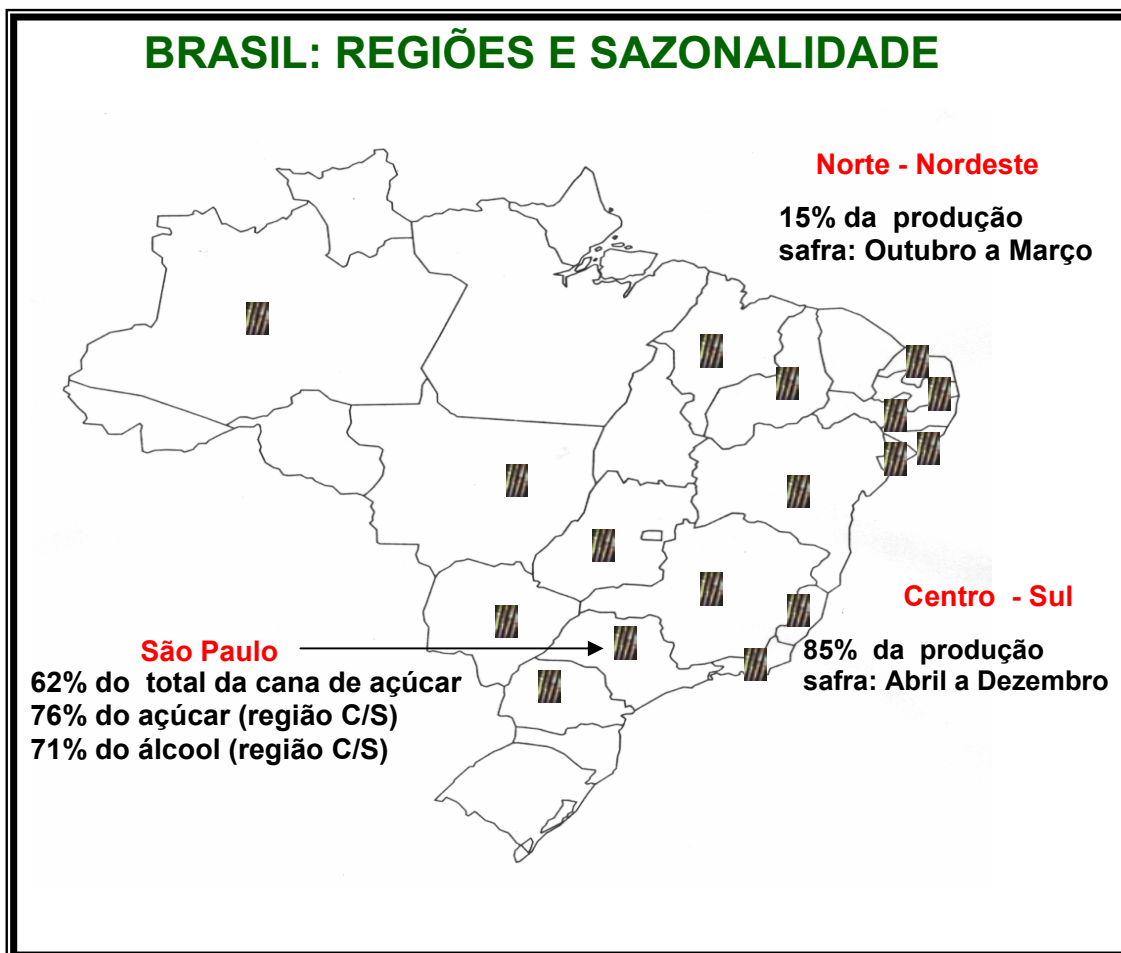
Tabela 1 – Produção de Álcool no Brasil

ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO (m³)		
Regiões	1997/98	1998/99
Norte	0	7.415
Nordeste	923.808	794.815
Sudeste	3.905.784	3.811.875
Centro Oeste	450.108	645.049
Brasil	5.696.407	5.608.159
ÁLCOOL ETÍLICO HIDRATADO (m³)		
Regiões	1997/98	1998/99
Norte	32.913	9.393
Nordeste	1.206.910	714.986
Sudeste	6.536.640	6.099.495
Centro Oeste	1.047.297	674.996
Brasil	9.726.026	8.175.228
ÁLCOOL ETÍLICO TOTAL (m³)		
Regiões	1997/98	1998/99
Norte	32.913	16.808
Nordeste	1.703.960	1.609.801
Sudeste	10.444.007	9.911.370
Centro Oeste	1.487.487	1.320.046
Brasil	14.976.620	13.783.387

Fonte: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio – Departamento do Álcool e Açúcar.

A produção de álcool se concentrou em algumas regiões do país, principalmente na região sudeste, onde o Estado de São Paulo possui os números mais expressivos.

A **Figura 1** apresenta as regiões onde se concentram a produção de álcool e sua importância.



Fonte: Laura Teti- apresentação em ppt.

Figura 1 – Distribuição da Produção de álcool no Brasil e sua importância.

O Brasil é o maior produtor mundial de álcool combustível. O país possui uma produção de 300 milhões de toneladas/ ano de cana-de-açúcar e aproximadamente 5 milhões de hectares cultivados, onde 48% é utilizado para a produção de açúcar e 52% para o álcool (Teti, apresentação).

Essa grande produção e sua perspectiva de crescimento gera preocupações na área ambiental devido aos impactos decorrentes, como a questão das queimadas na época de colheita e da geração e disposição da vinhaça, principal efluente das destilarias, cujo transporte e armazenamento são os problemas mais comuns.

O uso do álcool combustível possui muitos aspectos positivos em relação à poluição, reduzindo emissões de CO₂ para a atmosfera (Teti, apresentação) em relação ao combustível fóssil.

No entanto, a geração de efluentes como a vinhaça (ou vinhoto) e as queimadas de cana-de-açúcar apresentam problemas ambientais a serem administrados.

Em vista disso, pesquisas relativas a uma solução de destinação do efluente vêm sendo realizadas. A certificação ambiental em indústrias sucroalcooleiras e a busca pela produção mais limpa neste setor são também um incentivo à busca de manejo e tecnologias adequados para reduzir esses problemas.

3. A Vinhaça

A vinhaça é um subproduto da fabricação do álcool, procedente da fermentação do mel final. Almeida (1952) define-a como um resíduo composto de 93% de água, 7% de sólidos, sendo que destes, 74,85% são matéria orgânica e 25,15%, são correspondentes à fração mineral.

A composição varia de acordo com o mosto (líquido passível de sofrer fermentação), que se transforma em vinho após o processo de fermentação. Esse vinho, após o processo de destilação, produzirá o álcool e seu resíduo será a vinhaça.

O fluxograma do processo de produção do álcool é mostrado na **Figura 2**.

Fig. 2: Fluxograma do balanço de massa genérico de uma usina de açúcar e álcool

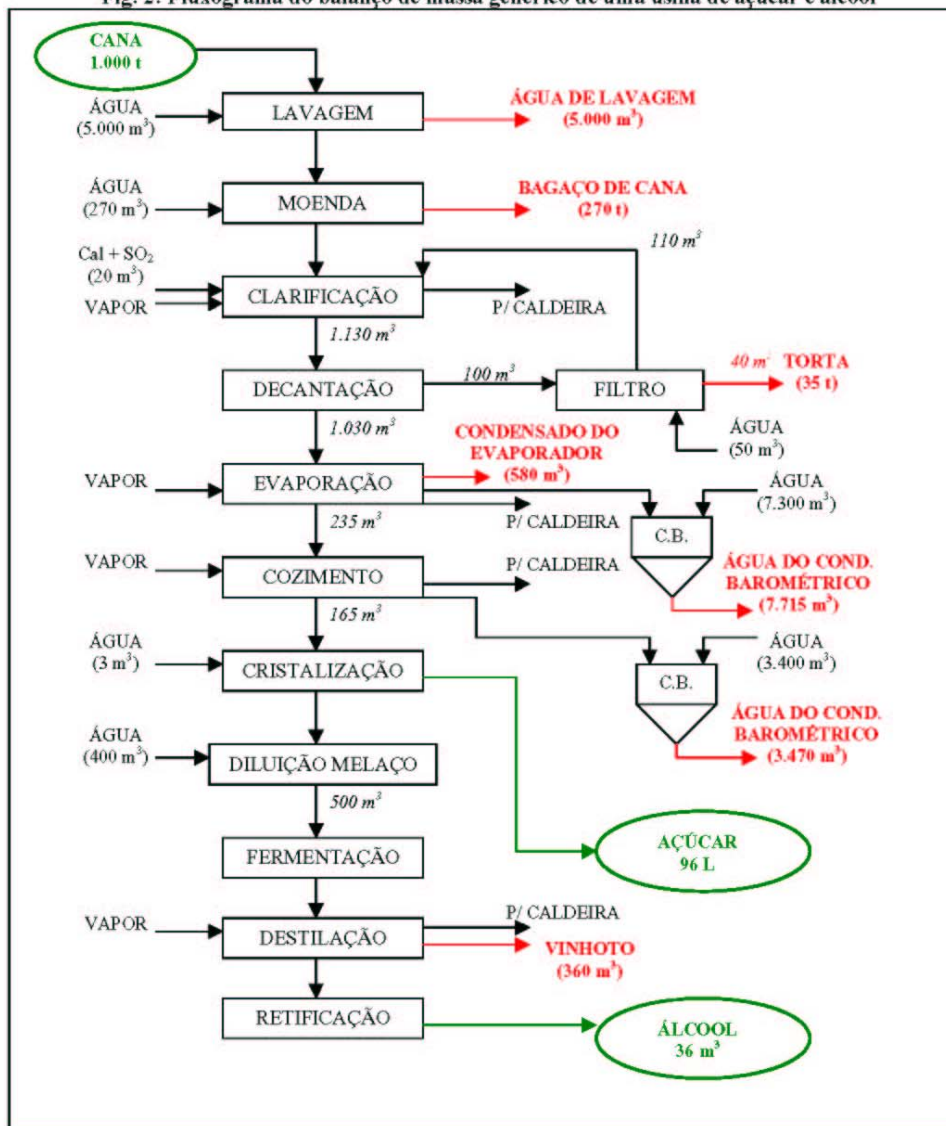


Figura 2 – Fluxograma dos processos e balanço de massa genérico de uma usina de açúcar e álcool (www.cetesb.sp.gov.br).

O subproduto da produção de açúcar, o mosto de melaço, é mais concentrado e é obtido pelo processo de cristalização do caldo da cana-de-açúcar. O mosto formado pela adição de ácido sulfúrico e nutrientes é denominado de mosto de caldo. A mistura de mosto de caldo com o mosto de melaço produz o mosto misto (Ludovice, 1997).

Estes três tipos de mosto apresentam composições físico-química distintas, apresentadas na **Tabela 2**.

Tabela 2 – Composição físico-química dos diversos mostos produzidos nas usinas de açúcar e álcool.

<i>Parâmetro</i>	<i>Mosto</i>		
	<i>Melaço</i>	<i>Caldo</i>	<i>Misto</i>
pH	4,2–5,0	3,7 – 4,6	4,4 – 4,6
Temperatura (°C)	80–100	80-100	80-100
DBO (mg/l O ₂)	23000	6000-16500	19800
DQO (mg/l O ₂)	65000	15000-33000	45000
Sólidos Totais (mg/l)	81500	23700	52700
Sólidos Voláteis (mg/l)	60000	20000	40000
Sólidos Fixos (mg/l)	21500	3700	12700
Nitrogênio (mg/l)	450–1610	150-700	480-710
Fósforo (mg/l)	100-290	10-210	9-200
Potássio (mg/l)	3740-7830	1200-2100	3340-4600
Cálcio (mg/l)	450-5180	130-1540	1330-4570
Magnésio (mg/l)	420-1520	200-490	580-700
Sulfato (mg/l)	6400	600-760	3700-3730
Carbono (mg/l)	11200-22900	5700-13400	8700-12100
Relação C/N	16-16,27	19,7-21,07	16,4-16,43
Matéria Orgânica (mg/l)	63400	19500	3800
Substâncias Redutoras (mg/l)	9500	7900	8300

Fonte: Cetesb apud Química e Derivados (1981).

Em síntese, a vinhaça produzida apresenta pH ácido, com elevada temperatura, altos teores de sais, entre 24.000 a 80.000 mg/l, grande teor de matéria orgânica (4.000 a 64.000 mg/l), concentrações elevadas de potássio, cálcio, magnésio, sulfato e nitrogênio, além de altos índices de DBO e DQO.

A vinhaça apresenta-se como líquido de cor parda clara, que escurece a medida que se oxida. Suas características como pH ácido, a presença de ácido sulfúrico livre, altas temperaturas, poder elevado de corrosão, e altas taxas de DBO e DQO provocam sérios danos ao meio aquático

(fauna e flora) quando dispostos diretamente em corpos de água. Casos de mortandade de peixes ocasionados pela disposição da vinhaça em corpos de água já foram reportados.

A vinhaça apresenta ainda mau cheiro decorrente da formação de gases por decomposição anaeróbia, e causa presença de vetores.

A disposição da vinhaça nas chamadas áreas de sacrifício também foi prática utilizada pelas usinas e reportada abaixo.

A geração de elevadas quantidades de vinhaça pelas usinas e sua alta capacidade poluidora de corpos de água, e conseqüente proibição de seu lançamento direto nestes corpos, levaram aos estudos sobre os usos alternativos da vinhaça como fertilizante.

4. Algumas Pesquisas sobre o Comportamento da Vinhaça no Solo e na Água Subterrânea

Este item apresenta uma síntese do levantamento dos estudos sobre a vinhaça no solo, seus impactos no solo e na água subterrânea.

Segundo Ludovice (1997), as aplicações de vinhaça na cultura de cana-de-açúcar são datadas de 1918, com resultados não satisfatórios. As aplicações sistemáticas de vinhaça em cultura de cana são reportadas em 1943. As ações por parte do órgão ambiental contra o lançamento da vinhaça em corpos de água incentivaram essa prática de disposição no solo, atualmente.

Os itens a seguir são algumas observações sintéticas, sobre o comportamento da vinhaça no solo e na água subterrânea, levantadas nos artigos pesquisados:

- A disposição da vinhaça provoca: elevação do pH do solo, aumento na disponibilidade de nutrientes, aumento da CTC, aumento na capacidade de retenção de água, melhoria na estrutura do solo, diminuição temporária da disponibilidade de nitrogênio e aumento na população e atividade microbiana no solo (Nunes, 1981; Leal et al., 1983; Camargo et al., 1983, apud Ludovice, 1997).
- Decréscimo no teor de alumínio, devido à elevação do pH e saturação por bases, leva a complexação do alumínio pelos componentes orgânicos da vinhaça (forma coloidal) (Orlando Filho & Leme, 1984, apud Coelho, 1991). Efeito temporário no aumento do pH (Camargo et al., 1987; Glória & Orlando Filho, 1983, apud Coelho, 1991).
- Alteração no CTC (Capacidade de Troca de Cátion) influenciada pela quantidade de húmus proveniente da matéria orgânica da vinhaça, atribuindo o aumento médio na CTC de 4,11

- meq/100g de solo para cada 1% de variação no teor de carbono (Glória & Magro, 1977; Orlando Filho & Leme, 1984; Igue & Pavan, 1984; Camargo et al., 1983, apud Coelho 1991).
- Alterações nas concentrações de cátions trocáveis, com aumento de potássio, cálcio e magnésio, com acréscimos em profundidade devido a lixiviação. Aumento do potássio no solo em detrimento do cálcio e magnésio também foi observado. Com doses crescentes de vinhaça o teor de potássio lixiviado e do potássio no solo aumentou e houve uma redução nas concentrações de cálcio e magnésio no solo, causando lixiviação desses elementos (Orlando Filho et al., 1983; Nunes et al., 1981; Cardoso, 1988; Camargo et al., 1987, apud Coelho 1991).
 - Há acréscimo de fósforo nas camadas superficiais (0 – 12 cm), ocorrendo aumento da imobilização desse elemento com doses crescentes de vinhaça em solo Podzólico Vermelho Amarelo, de textura média (Nunes et al., 1981, apud Coelho 1991).
 - Em relação ao comportamento do fósforo, há aumento do fósforo fixado proporcional à elevação das doses de vinhaça. Até 1000 m³/há em Latossolo Vermelho Escuro Distrófico de textura argilosa – o teor quase dobrou sem refletir na disponibilidade deste em solo. Há um aumento do enxofre (como sulfato) em superfície e em profundidade – produto de lixiviação do elemento (teores elevados até 80 cm) (Camargo et al., 1987, apud Coelho, 1991).
 - Em relação ao carbono orgânico, não há ainda uma análise mais acurada para seu comportamento com a aplicação da vinhaça.
 - Há um aumento de N-NH₄⁺ nos primeiros 30 dias de aplicação da vinhaça em Podzólico Vermelho Amarelo e N-N₂O nos quinze dias iniciais. Há um acúmulo lento de Nitrogênio orgânico nas primeiras 6 semanas, aumentando a disponibilidade de N-NO₃⁻ após o período. Há um aumento de N no solo acima dos níveis adicionados pela vinhaça devido a atuação da microflora existente. (Amaral Sobrinho et al., 1987; Neves et al., 1983).
 - Em relação ao tempo, há variações da matéria orgânica, com elevação de seus teores e de nitrogênio em áreas que receberam vinhaça há dois anos, em relação a outras que receberam vinhaça há 6 anos
 - Em estudos em Latossolo Vermelho Escuro Álico, fase cerrado, a vinhaça em cultura de milho resultou em fonte de cálcio e magnésio equivalente ao corretivo, não promovendo alterações qualitativas nas substâncias húmicas do solo, promoveu a incorporação do

nitrogênio orgânico ao solo, e o fósforo estava associado à matéria orgânica, promovendo a liberação do potássio de minerais micáceos do solo (Coelho, 1991).

- Longo (1994) estuda o comportamento do Latossolo Vermelho Amarelo, sob aplicação da vinhaça in natura e biodigerida em São João da Boa Vista, São Paulo, em cerrado. O emprego da vinhaça promoveu uma melhoria nos atributos do solo, com a diminuição da densidade, aumento da porosidade total e pH, estabilidade de agregados, atividade de uréase, no nitrogênio total e carbono orgânico. A vinhaça biodigerida provoca efeitos menos marcantes devido à sua concentração menor de matéria orgânica. Recomenda estudos mais prolongados sobre o tema, avaliando também a água subterrânea.

A vinhaça, por suas características composicionais, rica em sais minerais (potássio, cálcio e magnésio, nitrogênio) e matéria orgânica vem sendo utilizada como fertilizante, sendo em sua maior parte disposta por aspersão em culturas de cana, principalmente.

As pesquisas citadas, sobre as influências da vinhaça no solo, constataram que o efluente pode ser utilizado como fertilizante, pelos significativos teores de potássio e nitrogênio, além de fornecer nutrientes para as plantas. No entanto, alguns autores recomendam cautela em sua utilização e controle eficiente da qualidade do resíduo, pois efeitos negativos em sua produção podem ocorrer. Esses autores (Rodella & Ferrari, 1977 e Bittencourt et al., 1978) propõem um programa de fertirrigação para evitar resultados negativos na produção.

Em relação ao comportamento físico-mecânico do solo com a aplicação da vinhaça, algumas características, abaixo discriminadas, foram determinadas. Essas características modificadas, segundo Aguiar (1992), mostraram a viabilidade do uso do solo areno-argiloso como material de construção, desde que alguns cuidados sejam tomados.

- Aumento na retenção de umidade do solo (Ranzani, 1956, apud Aguiar, 1992).
- Redução nos valores de peso específico aparente seco, aumento de porosidade, maior estabilidade estrutural em solo areno-argiloso e argilo-siltoso. Nos solos areno-argilosos também foi observada maior resistência à compressão simples. A aplicação da vinhaça ainda provocou um aumento do limite de liquidez e o índice de plasticidade em solos areno-argilosos, e em solos argilo-arenosos, reduções significativas de limite de liquidez e plasticidade (Aguiar, 1992).

- Redução nos teores de areia fina, aumentos nas frações silte e areia média, porém necessitando maiores estudos (Aguiar, 1992).
- Em relação ao aumento de porosidade, no solo aluvial não foi observado tal processo (Resende, 1979), aumento da estabilidade de agregados (Camargo et al., 1983).
- Casarini et al. (1987) estudaram os efeitos da fertirrigação de vinhaça na população microbiana em cultura de cana-de-açúcar visando obter um indicador biológico. Os microorganismos nitrificantes e sua relação com os processos de oxidação da matéria orgânica foram observados.

Os estudos sobre os impactos ambientais da disposição da vinhaça no solo e na água subterrânea apresentam os seguintes resultados:

- É inegável o potencial poluente da vinhaça em corpos de água, pois possui ação redutora extremamente alta, exigindo grandes teores de oxigênio para decompor a matéria orgânica existente neste efluente, e assim desequilibrando o ecossistema aquático (Ludovice 1997). Segundo Kirzner (1981), apud Ludovice (1997) a poluição de dois litros de vinhaça (DBO 30.000 mg/l) é equivalente àquela provocada por um habitante; uma destilaria com produção de 120.000 litros de álcool (ou 1.560.000 litros de vinhaça), se lançada em rio, produziria uma poluição equivalente às águas servidas e dejetos de uma cidade de 780.000 habitantes.
- A aplicação da vinhaça provoca um aumento na salinidade do solo, devido à presença do potássio, aumentando a condutividade elétrica do meio em função da aplicação em doses crescentes da vinhaça (Ranzani, 1956; Rezende, 1979; Rossiello et al., 1981, apud Ludovice, 1997).
- A disposição de vinhaça e secagem posterior ao sol polui a água superficial, o ar e as águas subterrâneas (Valsechi, 1955, apud Ludovice, 1997).
- A aplicação da vinhaça em altas dosagens compromete a qualidade da cana para a produção de açúcar, poluição das águas subterrâneas e salinização do solo (Centúron et al., 1981; apud Ludovice, 1997).
- Resende (1984), apud Ludovice, (1997) discorre sobre o modo de disposição do efluente em áreas de sacrifício ou lagoas de acumulação (sem revestimento) como fontes pontuais de poluição, e da irrigação em volumes excessivos de vinhaça, que podem causar dispersão do sistema coloidal, que alteram as propriedades físicas e salinizam o solo, tornando-o infértil e oferecem possibilidade de contaminação do freático.

- Hassuda (1989) comprova a contaminação das águas subterrâneas pela disposição da vinhaça em áreas de sacrifício, em estudo no Aquífero Bauru, desenvolvido na área de proteção entre o Córrego da Estiva e a área de sacrifício. O autor comprovou a contaminação do aquífero pela vinhaça encontrando valores de nitrogênio amoniacal, magnésio, alumínio, ferro, manganês e cloreto acima dos padrões vigentes. Ainda prova que a pluma do contaminante se movimentava e descarregava no córrego, poluindo as águas superficiais; afirma ainda a salinização na zona não saturada.
- O mapeamento da vulnerabilidade e risco de contaminação das águas subterrâneas (São Paulo, 1990) define riscos potenciais de indústrias sucroalcooleiras, pela alta geração de carga contaminante e suas formas de disposição do efluente.
- Cunha et al. (1987) apresentam resultados de estudos visando entender a dinâmica de alguns constituintes (nitrogênio e potássio) da vinhaça e avaliar o risco de contaminação das águas subterrâneas pela fertirrigação. Os experimentos conduzidos resultaram em baixo potencial de risco destes dois elementos, devido à alta absorção de nutrientes que minimizam sua lixiviação.
- Gloeden et al. (1991) estudaram a mobilidade dos elementos químicos que compõem a vinhaça na zona não saturada e saturada no Aquífero Guarani, objetivando determinar a taxa ideal para irrigação da vinhaça, preservando a qualidade da água subterrânea. Os autores concluíram, após aplicarem taxas de 150 e 300 m³/ hectare que há risco à essa qualidade pelos elementos cloreto, carbono orgânico, amônia e nitrogênio orgânico. Alertam também de possíveis transformações de alguns elementos nas zonas saturada e não saturada, como o nitrogênio, que embora predominantemente orgânico na vinhaça, pode atingir níveis tóxicos por meio do processo de nitrificação. Recomendaram monitoramento dos elementos enxofre, cálcio, sódio e outros.
- Cruz et al. (1991), apud Ludovice (1997) estudaram os efeitos da aplicação da vinhaça em cultura de cana-de-açúcar, que recebia uma taxa anual de 300 m³/ha por aspersão, em áreas com 0, 5, 10 e 15 anos de experimentação. Os autores concluem que há manutenção da fertilidade do solo, porém constatam uma elevação de nitrato nas águas subterrâneas.
- Sabadia (1994) na região de Dobrada, São Paulo, apresenta os resultados do monitoramento de águas superficiais e subterrâneas (Aquífero Bauru) em área impactada por disposição de vinhaça e águas de lavagem de cana em lagoas de acumulação e células/ tanques de

decantação. O autor concluiu que os teores de manganês, ferro e alumínio superaram os padrões de potabilidade vigentes para as águas subterrâneas, e secundariamente o ferro total e fosfato.

- Centúrión (1994), apud Ludovice (1997) aponta os seguintes efluentes gerados em uma destilaria de álcool que impacta os recursos hídricos: (a) lavagem de cana, (b) coluna barométrica, (c) vinhaça, (d) lavagens de pisos e equipamentos, (e) águas de resfriamento, (f) lavagens de dornas de fermentação, (g) águas condensadas de evaporadores, (h) esgotos sanitários, (i) má disposição de resíduos sólidos em corpos de água, (j) fuligem da queima da cana e bagaço nas caldeiras, transportados pelos ventos, (k) contaminação das águas superficiais e subterrâneas por pesticidas e adubos, (l) contaminação das águas subterrâneas por disposição inadequada no solo de efluentes e resíduos sólidos, e (m) assoreamento de corpos de água por erosão.
- Em relação ao comportamento de metais pesados, Simambuco et al. (1996), apud Ludovice (1997) avaliam os elementos traços nas águas do solo e de percolação em solos que receberam vinhaça em São João da Boa Vista, São Paulo e constatam que o ferro se mobiliza até 1,5 m de profundidade podendo atingir o freático. Ramalho e Amaral Sobrinho (2001) estudaram os teores de cádmio, cobre, cromo, cobalto, manganês, níquel, chumbo e zinco em solo gley pouco húmico, uma antiga lagoa de vinhaça e dois cambissolos em Campos dos Goytacazes (RJ). Concluem que a vinhaça aumentou a concentração de zinco.
- Ludovice (1997) apresenta os resultados de seu estudo sobre os impactos da vinhaça no solo e na água subterrânea por canal condutor de terra. A autora conclui que há infiltração da vinhaça pelos canais condutores, que chega à água subterrânea alterando os valores de pH, condutividade elétrica, DBO, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito e Kjeldahl.

5. Considerações sobre os impactos da Vinhaça no solo e na água subterrânea

Nesta breve análise do conhecimento sobre os impactos da vinhaça, nota-se um extenso número de pesquisas, principalmente sobre o comportamento do solo sob a aplicação deste efluente, nas diversas formas (in natura, concentrada e biodigerida), refletindo uma grande preocupação da comunidade técnica sobre a destinação deste efluente, que é gerado em grandes volumes, bem como a busca de outros usos alternativos, como a produção de biogás e ração animal.

O potencial contaminante da vinhaça é notório devido às elevadas taxas de matéria orgânica, nitrogênio e sais minerais. A **Tabela 3** apresenta potencial poluidor da vinhaça em comparação com os resíduos domésticos gerados por habitante. A tabela apresenta também todos os efluentes gerados em uma destilaria de açúcar.

Tabela 3 – Potencial de carga poluidora em termos de equivalente populacional

Despejos	Volume Efluente	(20°C) DBO ₅ (mg/l)	Carga Poluidora (kg)	Poluição equivalente (quantidade de pessoas)	Porcentagem da carga poluidora (%)
Águas de lavagem de cana	8000	220	1100	20000	13,4
Águas condensadas de evaporadores	580	800	464	8600	5,6
Águas dos condensadores barométricos	11185	90	1000	18500	12,1
Restilo	350	15000	5400	100000	67,1
Águas das dornas	20	5000	100	1900	1,9
Totais			8054	149000	99,7
* a base de cálculo é válida para a produção de açúcar, sendo apresentado um volume de restilo característico de safras com excesso de produção de cana-de-açúcar.					

Fonte: Cetesb 1976.

Grande parte do impacto gerado pela vinhaça está no uso abusivo do efluente e na desobediência a algumas instruções de manejo, que além de impactar o ecossistema, diminuem a própria produtividade da cana-de-açúcar.

A forma de disposição da vinhaça no solo somada às características fisiográficas da área são os fatores que interferem diretamente na graduação e na geração ou não de impactos em algum ecossistema.

Menezes (1980), apud Longo (1994) apresenta algumas formas possíveis de descarte de vinhaça:

- Concentração de vinhaça por evaporação: para uso como ração animal e/ou fertilizante – porém de elevado investimento inicial;

- Incineração da vinhaça concentrada – produção de energia calorífica e cinzas, apresentando riscos a poluição e custos de implantação do sistema;
- Produção de proteína (biomassa) – por meio de tratamento fúngico, convertendo a matéria orgânica em biomassa protéica para ração animal – preserva o ambiente e a carência de alimentos no setor, porém o produto é perecível e não há mercado consumidor;
- Fermentação anaeróbica (produção de biogás) – reduz DBO em 70 a 90% da vinhaça e a quantidade de gás gerado é fonte adicional de combustível; porém em grandes destilarias é inviável devido a geração de grandes volumes do efluente.
- Lagoas de estabilização – são bacias de acumulação, que salinizam o solo nos locais e é fonte pontual de contaminação;
- Lançamento de vinhaça in natura no mar – o mar promove decomposição rápida e segura da matéria orgânica, porém tem alto custo de condução e implantação de dutos para tal fim, e
- Lançamento de vinhaça in natura no solo – a forma preferencial das destilarias, como fertirrigação, de baixo custo.

O grau de impacto da vinhaça no solo e na água subterrânea é função da forma de disposição do efluente e da vulnerabilidade do aquífero àquele contaminante. Essa forma de disposição está relacionada à facilidade de acesso do contaminante à água subterrânea e ao volume da carga contaminante (que afeta as propriedades e o ambiente do solo também). As condições climáticas e hidrogeológicas da área definirão os processos decorrentes deste impacto.

De acordo com a literatura científica, as formas de disposição que comprovadamente causam contaminação são as áreas de sacrifício, os canais condutores de vinhaça, lagoas de acumulação e resfriamento da vinhaça e células/ tanques de decantação sem impermeabilização.

Na disposição do efluente por fertirrigação há controvérsias sobre seu impacto no solo e na água subterrânea. Glória (1976), apud Longo (1984) e Glória & Orlando filho (1984), apud Longo (1994) alertam sobre as dosagens de aplicação da vinhaça que podem gerar problemas, se não forem observados a variação da composição do efluente, do clima (principalmente na região nordeste) que podem provocar salinização dos solos, do tipo de solo e da planta. Acrescentam-se aqui as características hidrogeológicas da área aplicada.

Glória (1976), apud Longo (1984) e Glória & Orlando filho (1984), apud Longo (1994) sugerem uma aplicação de vinhaça de mosto de melação em quantidade máxima de 50 m³/há/ano para evitar problemas de salinização.

O uso da vinhaça para a fertirrigação é o mais comum, devido à facilidade e economia para as usinas. A vinhaça produzida é utilizada como fertilizante, sem muitos custos de armazenamento, transporte, problemas ou investimentos para tratamento e disposição.

Rezende (1984), apud Longo (1994) apresenta os principais fatores limitantes do uso da vinhaça in natura como fertilizante:

- Quantidade de água contida: onera custos de aplicação;
- Desproporção entre os íons constituintes da vinhaça – produzindo uma adubação desbalanceada;
- Presença de ácido sulfúrico altamente corrosivo – prejudica os equipamentos de irrigação;
- Riscos de salinização do solo – quando do uso abusivo do efluente;
- Contaminação das águas subterrâneas

As lagoas e tanques de acumulação, bem como os canais de transporte de vinhaça devem seguir as normas técnicas estabelecidas para evitar problemas de infiltração e vazamento. Mantas impermeáveis e projetos construtivos, sistemas de tratamento específico para os resíduos e efluentes gerados pelas destilarias estão disponíveis no mercado.

As grandes usinas, a procura de certificação de qualidade, exigida para atingir o mercado exterior, já possuem sistemas de disposição e tratamento dos efluentes de acordo com as normas ambientais exigidas.

A contaminação da vinhaça consiste basicamente de alto teor de sais minerais, nitrogênio (onde, de acordo com as mudanças do ambiente, o ciclo natural do nitrogênio pode se alterar e provocar problemas) e matéria orgânica. Em relação a outros contaminantes, como os orgânicos sintéticos, por exemplo, seu grau de toxicidade é bem menor.

No entanto, a geração de grandes volumes de vinhaça (na proporção de 1 litro de álcool para 13 de vinhaça) e seu crescimento contínuo, devido ao uso como aditivo e combustível, não comporta e restringe um manejo adequado que proteja o solo e o recurso hídrico.

O conceito de Produção mais Limpa (P+L) visando uma produção sustentável é a tendência de implementação nas indústrias em geral, e especificamente no Setor Sucroalcooleiro.

Segundo Corazza (2000) as competências tecnológicas foram mais ou menos desmobilizadas com o sucesso da fertirrigação (que “solucionou o problema” de modo simples e pouco custoso). No entanto, segundo a autora, a diversidade tecnológica é “*um fator crítico para ocupação de espaços no mercado, tendo papel importante para se fazer face a diferentes trade-offs técnicos e econômicos, principalmente em momentos de rápidas mudanças no ambiente que seleciona as tecnologias, incluindo-se aí a concorrência de outras tecnologias (e firmas), as cláusulas ambientais do comércio exterior, a legislação ambiental, os processos de certificação verde*”.

A CETESB possui hoje a Câmara Ambiental do Setor Sucroalcooleiro elaborando procedimentos sobre a Produção mais Limpa. A Câmara Ambiental do Setor Sucroalcooleiro foi instalada em 11 de outubro de 2002, e até o momento foram realizadas 3 reuniões da plenária. O presidente da CA Sucroalcooleiro é o representante do UNICA, Sr. Eduardo Pereira de Carvalho e o Secretário Executivo, o Sr. Otávio Okano, da CETESB. As entidades representadas e que compõem o grupo são: [Copersucar](#) - Cooperativa dos Produtores de Açúcar do Estado de São Paulo, [UNICA](#) - União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo,- [ORPLANA](#) - Organização dos Plantadores de Cana do Estado de São Paulo, Sindicato da Indústria de Alcool e Açúcar do Estado de São Paulo, Sindicato dos Produtores Ruralistas de Ribeirão Preto; APAC - Associação dos Produtores de Açúcar, Aguardente e Alcool da Regional de Catanduva; [FERCANA](#) - Federação dos Empregados Rurais no Setor Canavieiro no Estado de São Paulo, [FETAESP](#) - Federação dos Trabalhadores na Agricultura do Estado de São Paulo, [IPT](#) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, [FUNDACENTRO](#) - Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho, [SEBRAE](#) - Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas de São Paulo, [FIESP/CIESP](#) - Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo, [SENAI](#) - Serviço Nacional da Indústria, [UFSCar](#) - Universidade Federal de São Carlos (Centro Araras), [USP](#) - Universidade de São Paulo (Faculdade de Saúde Pública), [Instituto de Química da UNESP / Araraquara](#), [IAC](#) - Instituto Agrônomo de Campinas, [ESALQ](#) - Escola Superior de Agronomia Luis de Queiroz, [EMBRAPA](#) - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, [USP - CENBIO](#) - Centro Nacional de Referência Biomassa, FAESP - Federação da Agricultura do Estado de São Paulo, CRF/CETESB - Conselho de Representantes dos Funcionários da CETESB, Representante da Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA, através do Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental - DAIA Representantes da CETESB: Presidência e Diretorias

de Controle de Poluição Ambiental, de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia e de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental.

Os principais temas atualmente em discussão são relativos à elaboração de guia de orientação para implementação de técnicas e tecnologias de Prevenção à Poluição - P2 e de Produção Mais Limpa - P+L nas atividades industriais; elaboração de um documento com referência à forma de controle de poluição ambiental pela aplicação de vinhaça e/ ou produtos agrícolas visando evitar os impactos no solo e nas águas subterrâneas pelas atividades agroindustriais; acompanhamento da aplicação do regulamento da Lei 11.241 de 19.09.2002; levantamento dos trabalhos técnico-científicos sobre os efeitos da Queima da Palha de Cana-de-Açúcar.

Estas ações conjuntas dos órgãos públicos e empresas revelam a intenção e o início de implementação de medidas de proteção ambiental, com bases sustentáveis.

Referências

- AGUIAR, M. A. **Incorporação da vinhaça ao solo:** efeitos sobre as características de resistência do material obtido. 1992. 74 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp, Campinas, 1992.
- AMARAL SOBRINHO, N. M. B., LUISI, M. V. V., ROSSIELLO, R. O. P, VELLOSO, A .C. .X.; LEAL, J. R. 1987. Transformações do nitrogênio mineral em solo Podzólico Vermelho Amarelo tratado com vinhaça. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 22, p. 249-256, 1987.
- ALMEIDA, J. R. **O problema da vinhaça em São Paulo.** Piracicaba: Instituto Zimotécnico da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, 1952. 24 p. (Boletim, 3).
- BITTENCOURT, V. C.; CASTRO, L. J. B de; FIGUEIREDO, A. A. M.; PAIXÃO, A. C. S.; POLLI, D. M. Composição da vinhaça. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 92, n. 4, p. 25-36, 1978.
- CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S; GERALDI, R. N **Características físicas e químicas do solo que recebeu vinhaça por longo tempo.** Campinas, Instituto Agrônômico. 1983. 30p. (Boletim Técnico, 76)
- CASARINI, D. C. P.; CUNHA, R. C. A.; MASEI FILHO, B. Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil: II – microbiological aspects. **Water Science and Technology**, v. 19, n. 8, p. 167-176, 1987.
- COELHO, R. M. **Influência da vinhaça, da fertilização mineral e do cultivo em características químicas da matéria orgânica e da fração mineral de um Latossolo Vermelho-Escuro.** 1991. 84 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **A produção mais limpa (P+L) no Setor Sucroalcooleiro – Informações Gerais.** Disponível: <http://www.cetesb.sp.org.br>. Acesso em: 2003.

CORAZZA, R.I. **Reflexões sobre o papel das políticas ambientais e de ciência e tecnologia na modelagem de opções produtivas “mais limpas” numa perspectiva evolucionista:** um estudo sobre o problema da disposição da vinhaça. Disponível: <http://nepam.unicamp.br/ecoeco/artigos/encontros/download/ Mesa3/6.pdf>. Acesso em:

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and the dynamics of its constituents in the soil: I – physical and chemical aspects. **Water Science and Technology**, v. 10, n. 8, p. 155-165, 1987.

GLOEDEN, E.; CUNHA, R.C.A.; FRACCAROLLI, M.J.B.; CLEARY, R.W. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu Aquífer recharge área. **Water Science and Technology**, v. 24, n. 11, p. 147-157, 1991.

HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru.** 1989. 92 p. Dissertação (Mestrado) - IGC-USP, São Paulo, 1989.

LONGO, R. M. **Efeito da vinhaça in natura e biodigerida em propriedades de um solo cultivado com cana de açúcar.** 1994. 98 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola - Unicamp, Campinas, 1994.

LUDOVICE, M. T. F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático.** 1997. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil - Unicamp, Campinas, 1997.

NEVES, M.C.P.; LIMA, I.T.; DOBEREINER, J. Efeito da vinhaça sobre a microflora do solo. **Rev. Bras. Cie. Solo**, v. 7, p. 131-136, 1983.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. A. Metais pesados em solos cultivados com cana de açúcar pelo uso de resíduos agroindustriais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 120-129, 2001.

RESENDE, J. C. **Conseqüências da aplicação de vinhaça sobre algumas propriedades físicas de um solo aluvial (Estudo de um caso).** 1979. 112 p. Tese (Doutorado) - ESALQ/USP, Piracicaba, 1979.

RODELLA, A. A.; FERRARI, S. E. A composição da vinhaça e efeitos de sua aplicação como fertilizante na cana de açúcar. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 1, p. 380-389, 1977.

SABADIA, J.A.B. **Impactos da estocagem de vinhaça e das águas de lavagem da cana de açúcar nos domínios do Aquífero Bauru - Dobrada, São Paulo.** 1994. 123 p. Dissertação (Mestrado) - IGC-USP, São Paulo, 1994.

ORDENAMENTO AGROAMBIENTAL DAS ÁREAS DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI – ESTUDOS DE CASO EM TERRITÓRIO BRASILEIRO

MARCO ANTONIO FERREIRA GOMES

EMÍLIA HAMADA

HELOISA FERREIRA FILIZOLA

SONIA CLAUDIA DO NASCIMENTO DE QUEIROZ

VERA LÚCIA FERRACINI

MARIA CONCEIÇÃO PERES YOUNG PESSOA

ALDEMIR CHAIM

EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil

{gomes, emilia, filizola, sonia, veraf, young, aldemir@cnpma.embrapa.br}

Resumo. As áreas de recarga direta ou de afloramento do Aquífero Guarani são consideradas muito frágeis e, por isso mesmo, bastante expostas ao risco de degradação, seja por contaminação de agrotóxicos seja por processos erosivos, principalmente em função da alta vulnerabilidade natural e do avanço das atividades agrícolas sobre as mesmas, sem um manejo adequado de seus solos. O método de trabalho proposto, envolve a integração de Planos de Informação (PI's) referentes à geologia, solos, profundidade do lençol freático, relevo, precipitação e uso agrícola atual das áreas de recarga, já utilizados na caracterização dos Domínios Pedomorfoagroclimáticos. A integração desses planos permitirá, também, a obtenção de informações, em escala de maior detalhe, como *vulnerabilidade natural*, *estimativas de risco de contaminação do lençol freático*, *avaliação da capacidade de uso do solo e determinação de áreas de conflito*, além do *perfil sócio-econômico dos agricultores ou proprietários rurais*, fundamentais na proposição do ordenamento agroambiental das áreas de recarga do Aquífero Guarani.

Palavras-chave: domínio pedomorfoagroclimático, vulnerabilidade natural, erosão, assoreamento, lixiviação, herbicidas, riscos de contaminação, lençol freático, uso agrícola, manejo adequado, gestão ambiental, boas práticas agrícolas.

1. Introdução

O Aquífero Guarani é considerado um dos mais importantes e estratégicos reservatórios de água subterrânea do planeta, com uma extensão intercontinental de cerca de 1.150.000 km², abrangendo o Brasil, a Argentina, o Uruguai e o Paraguai, evidenciando uma característica de

grande relevância no contexto do Mercosul. Sua importância é estratégica, uma vez que o volume aproveitável de água é de 40 km³/ano, superando em 30 vezes a demanda de cerca de 15 milhões de pessoas que vivem em sua área de ocorrência. Na prática, isso significa que o Aquífero Guarani possui uma reserva potencial para abastecer toda a população brasileira por cerca de 2.500 anos. Esse Aquífero possui, em toda a sua extensão, porções confinadas e de afloramento (recarga direta), sendo estas em torno de 150.000 km², das quais cerca de 100.000 km² encontram-se em território brasileiro.

As áreas de recarga direta exibem, naturalmente, alta vulnerabilidade, condição que as coloca em situação de grande fragilidade frente às diversas fontes potencialmente poluidoras. A existência de um cenário complexo nessas áreas, com uso agrícola bastante diversificado, exige a adoção de procedimentos que controlem ou que protejam o aquífero. Dessa forma, o presente trabalho tem como premissa a proposição de um planejamento efetivo de uso da terra nas áreas de recarga do Aquífero Guarani, fundamentada no princípio das chamadas *boas práticas agrícolas*, dentro de um contexto de ordenamento agroambiental, fundamental no processo de gestão sustentável dessas áreas.

2. Trabalhos anteriores

A Embrapa Meio Ambiente vem atuando nas áreas de recarga do Aquífero Guarani desde 1994. No período compreendido entre 1994 e 1999 foi realizado um estudo semi-detalhado, em escala de 1:25.000, na microbacia do Córrego Espriado, município de Ribeirão Preto, cujo uso agrícola tem se caracterizado pela cultura de cana-de-açúcar, com uso intensivo de agrotóxicos, há mais de duas décadas. Os conhecimentos adquiridos nesse período, permitiram melhor entendimento da dinâmica ambiental (Gomes et al., 1996; Gomes et al., 2002a) e maior conhecimento sobre o comportamento de alguns herbicidas nos solos, principalmente aqueles com maior potencial de lixiviação (Pessoa et al., 1998; Pessoa et al., 1999; Embrapa, 1999; Gomes et al., 2001).

Com o surgimento de uma demanda sobre o uso sustentável das áreas de recarga do Aquífero Guarani, a partir de uma proposta de agenda básica apresentada em Curitiba em 1996 (Rocha, 1996), a Embrapa Meio Ambiente propôs, em 1999, um trabalho com abrangência para todas as áreas de recarga em território brasileiro. Esse trabalho, com duração de três anos, possibilitou o levantamento de informações sobre geologia, solos, relevo, vegetação e uso agrícola. A

integração dessas informações, permitiu então a definição das áreas de recarga em *Domínios Pedomorfoagroclimáticos* (Gomes et al., 2002 b).

No Estado de São Paulo, as áreas de recarga do Aquífero Guarani possuem cerca de 16.000 km², ocupando uma faixa de norte a sul do Estado, localizadas na porção centro - oeste, entre as coordenadas 21° e 23° 00' S e 47° e 50° 00' O.

Devido a algumas diferenças significativas, quanto a clima e tipo de cultura, foi feita uma subdivisão em três regiões ou faixas de recarga, mas que não caracteriza uma subdivisão em domínios, conforme se segue:

2.1. Domínio da faixa de recarga da porção Centro- Norte, com os seguintes municípios: Franca, Batatais, Brodosqui, Altinópolis, Cajuru, Serrana, Ribeirão Preto, Cravinhos, São Simão e Luís Antonio;

2.2. Domínio da faixa de recarga da porção Central, com os seguintes municípios: Araraquara, Corumbataí, São Carlos, Ibaté, Analândia, Itirapina, Brotas, Bocaina, Dois Córregos, Boa Esperança do Sul, Bariri, São Pedro, Águas de São Pedro, Santa Maria da Serra, São Manuel e Botucatu;

2.3. Domínio da faixa de recarga da porção Centro-Sul, com os seguintes municípios: Pardinho, Bofete, Torre de Pedra, Paranapanema, Avaré, Itaí e Tejuapá.

O **Quadro 1**, a seguir, mostra as características de clima e cultivos principais em cada um dos três domínios identificados. O aspecto morfológico não foi ressaltado pela semelhança em toda extensão, estando toda a faixa de recarga inserida no *Planalto Médio Paulista*, nome também dado ao Domínio Pedomorfoagroclimático do Estado de São Paulo. O **Quadro 1** sintetiza as características gerais desse domínio.

No Estado de Minas Gerais as áreas de recarga do Aquífero Guarani ocupam cerca de 1.500 km², a menor entre todos os estados que possuem áreas de recarga, abrangendo os municípios de Monte Santo de Minas, Itamoji, São Sebastião do Paraíso, São Tomás de Aquino, Capetinga, Ibiraci e Claraval. Localizam-se entre as coordenadas 20° 00' e 21° 20' S e 47° e 47° 20' O.

Em função da relativa homogeneidade das características morfoclimáticas, optou-se por apenas um domínio pedomorfoagroclimático, denominado *Borda Ocidental da Mantiqueira*. O **Quadro 2** sintetiza as informações relativas e a esse domínio.

A área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de Goiás abrange cerca de 15.000 km², estando grande parte dessa área distribuída ao longo da região que abrange as 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. Devido à grande uniformidade, tanto de uso agrícola quanto dos aspectos climáticos, foi definida a existência de um único Domínio Pedomorfoagroclicmático denominado *Depressão ou Nascentes do rio Araguaia*, conforme descrição contida no **Quadro 3**.

Quadro 1. Características climáticas e tipos de culturas predominantes nas três faixas que compõe o Domínio Pedomorfoagroclicmático das áreas de recarga do Estado de São Paulo.

Domínio pedomorfoagroclicmático	Faixas	Culturas predominantes	Precipitação Média Anual (mm)	Temperatura Média Anual (°C)
Planalto Médio Paulista (Pmp)	Faixa norte	Cana-de-açúcar	1.550	22,4
	Faixa Central	Cana-de-açúcar/ citros, arroz irrigado e pastagem	1.700	21,6
	Faixa Centro-sul	Cana-de-açúcar e pastagem	1.650	20,3

Obs.: Dados médios de precipitação e temperatura obtidos de Estação do IAC- Ribeirão Preto, ESALQ-Piracicaba e UNESP-Botucatu, respectivamente, referentes ao período 1990-1998.

Quadro 2. Características climáticas e tipo de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclicmático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado de Minas Gerais.

Domínio Pedomorfoagroclicmático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Borda Ocidental da Mantiqueira (BOM)	Pastagem	1.580	20,9

Obs.: Informações obtidas “in loco” junto aos municípios de São Sebastião do Paraíso, Capetinga, Claraval, Monte Santo de Minas, Ibiraci e São Tomás de Aquino.

Quadro 3. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclicmático Depressão ou Nascentes do rio Araguaia das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado de Goiás.

Domínio Pedomorfoagroclicmático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Nascentes do rio Araguaia (DA)	Soja e pastagem	1.863	22,6

Obs.: Dados climáticos obtidos do Mosteiro Beneditino (Mineiros-GO) no período entre 1995 e 2000.

Existe, ainda, outro domínio no Estado de Goiás, conhecido por **Planaltos Rebaixados Alcantilados**, cujo uso agrícola se restringe às pastagens, uma vez que o relevo não favorece a mecanização agrícola necessária para atividades com culturas anuais. Possui cerca de 9.000 km² e localiza-se a leste do Domínio das nascentes do Araguaia, mais precisamente entre as coordenadas 18°00' e 21°00' S e 49°00 e 51°30' O. Estão inseridos nesse domínio os municípios de Jataí e Caiapônia. O **Quadro 4**, a seguir, sintetiza as características desse domínio.

No Estado de Mato Grosso, até o momento, foi considerada apenas a região de Alto Garças que mantém uma interligação entre a área de abrangência do Rio Araguaia e a área de afloramento do Aquífero Guarani localizada na divisa dos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. A área de afloramento nessa região é de cerca de 9.000 km², estando situada entre os paralelos 16°40' e 17°00' S e os meridianos 53° 30'e 54°00' O. Os dados contidos no **Quadro 4** expressam suas características que, pela semelhança e proximidade, também se insere no domínio **Depressão ou Nascentes do Araguaia**. O **Quadro 5**, a seguir, mostra as características gerais desse domínio no Estado de Mato Grosso.

Quadro 4. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclimático Planaltos Rebaixados Alcantilados das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado de Goiás.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Planaltos Rebaixados Alcantilados (Pr)	Pastagem	1.650	22,4

Obs.: Dados climáticos obtidos do Mosteiro Beneditino (Mineiros-GO) no período entre 1995 e 2000 e da EMATER-GO no período de 1994-1995.

Quadro 5. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani na porção leste do Estado de Mato Grosso.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Nascentes do Araguaia (DA)	Soja/milho	1.830 a 2.130	22,3

Obs.: Dados obtidos da EMATER-GO no período de 1994-1995 e de produtores rurais "in loco" no município de Alto Garças/MT.

A área de afloramento do Aquífero Guarani mais importante no Estado de Mato Grosso do Sul representa cerca de 31.000 km² localizada na região nordeste e parte da região sudoeste, 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 Taquarí. Esta é composta basicamente pelos rios Taquarí, ao norte, e Coxim na porção sudoeste-oeste da área. Entre os municípios mais importantes estão São Gabriel D'oeste, Coxim, Camapuã, Alcinópolis e Pedro Gomes. Devido à predominância de um único padrão pedomorfoagroclicmático, considerando somente as áreas de *recarga direta ou de afloramento* do Aquífero Guarani, com diferença apenas entre vegetação/pastagem nativa e pastagem cultivada, foi definido apenas um domínio denominado de **Alto Taquarí**, conforme descrição contida no **Quadro 6**.

Quadro 6. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclicmático do Alto Taquarí, Estado de Mato Grosso do Sul.

Domínio Pedomorfoagroclicmático	Culturas predominantes	Precipitação média anual* (mm)	Temperatura média anual* (°C)
Médio/Alto Taquarí e Coxim (MATq)	Pastagem nativa	1.460	23,5
	Pastagem cultivada		

*Obs.: Média de 5 anos, considerando medidas realizadas em Coxim- MS (Informações obtidas do COINTA).

A área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado do Paraná abrange cerca de 7.000 km², distribuída ao longo de uma faixa estreita a oeste de Curitiba, com extensão de norte a sul. Os municípios mais importantes localizados nessa área são Jacarezinho, Santo Antônio da Platina, Cândido Abreu, Ortigueira, Ivaiporã, Pitanga, Guarapuava, e União da Vitória na divisa com Santa Catarina.

Em razão da existência de duas condições predominantes de uso agrícola e uma pequena variação climática, principalmente precipitação, foram definidas duas faixas de domínio: *faixa centro-norte* e *faixa centro-sul*, integrantes do **Segundo Planalto Paranaense**, conforme os dados contidos no **Quadro 7**.

No Estado de Santa Catarina a área de afloramento do Aquífero Guarani é de cerca de 5.000 km², abrangendo os municípios de Porto União, Timbó Grande, Ponte Alta, Lages e Urubici.

A porção de recarga nesse estado apresenta uma faixa bastante delgada, tendo em alguns locais menos de 1 km de largura. Em razão do uso agrícola ser, predominantemente pastagem, como

também de outros aspectos ambientais, tais como solo, relevo e clima, foi definido apenas um domínio para o Estado de Santa Catarina, caracterizado por **Planalto Médio Catarinense**, considerando a mesma nomenclatura usada para as características morfológicas. Todavia, há necessidade de uma avaliação mais detalhada, sobre as áreas ocupadas com o cultivo de maçã. O **Quadro 8**, a seguir, sintetiza as informações gerais desse domínio.

Quadro 7. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado do Paraná.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Faixas	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Segundo Planalto Paranaense (II° Pp)	Centro-norte	Pastagem	1.380	19,0
	Centro-sul	Soja/milho e pastagem	1.300	18,5

Fonte: IAPAR (2002).

Quadro 8. Características climáticas e tipos de culturas predominantes no Domínio Pedomorfoagroclimático das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado de Santa Catarina.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Culturas predominantes	Precipitação média anual (mm)	Temperatura média anual (°C)
Planalto Médio Catarinense (Pmc)	Pastagem	1.250	17,5
	Maçã		

Fonte: EPAGRI (1997); INSTITUTO DE PLANEJAMENTO AGRÍCOLA (1999).

A área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul possui cerca de 13.500 km², distribuída ao longo de uma faixa delgada de leste a oeste do Estado, com inflexão para o sul até a divisa com o Uruguai, adentrando-se nesse país por cerca de dezenas de quilômetros. Essa faixa encontra-se inserida nas coordenadas 29°00' e 30°00' S e 50°30' e 55°40' O, envolvendo três Domínios Pedomorfoagroclimáticos denominados de *Serra Gaúcha/Encosta Inferior Nordeste*; *Borda do Planalto Médio/Missões e Campanha*. O clima predominante é do tipo subtropical úmido, sem estiagem (Cfa). Em geral, a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês menos quente varia de 3 a 18°C.

As principais cidades ao longo das áreas de recarga estão assim distribuídas: **Serra Gaúcha/encosta nordeste** – Portão, Novo Hamburgo, São Leopoldo, Parobé, Taquara e Santo Antônio da Patrulha; **Borda do Planalto Médio/Missões** - Santa Maria, Santiago, São Pedro do Sul, Jaguarí e São Francisco de Assis ; **Campanha** – Alegrete, Rosário do Sul e Santana do Livramento. O **Quadro 9**, a seguir, sintetiza as informações relativas a esses domínios.

Quadro 9. Características climáticas e tipos de culturas predominantes nos diversos Domínios Pedomorfoagroclimáticos das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Estado do Rio Grande do Sul.

Domínio Pedomorfoagroclimático	Culturas dominantes	Precipitação média anual* (mm)	Temperatura média anual* (°C)
Serra Gaúcha/encosta inferior nordeste (SG/EN)	Uva	2.470	< 18
Borda do Planalto Médio/Missões (Pm/M)	Pastagem	2.000	18 a 22
Campanha (Camp)	Arroz irrigado/pastagem	1.190	20 a 24

Fonte: BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1973).

A partir da classificação das áreas de recarga em Domínios Pedomorfoagroclimáticos e com a inclusão de informações de uso de agrotóxicos, considerando o tipo de cultura, pode se estabelecer uma caracterização dessas áreas quanto ao *risco potencial* de contaminação da água subterrânea, por domínio, conforme ilustração da **Figura 1** (Embrapa, 2002). Devido à área restrita e sem maiores riscos causados pela agricultura, o Domínio da *Borda Ocidental da Mantiqueira* não aparece no mapa da **Figura 1**. Essa caracterização fundamentou-se em três níveis – *baixo, médio e alto* conforme o tipo de atividade agrícola predominante em cada um dos domínios. Nesse aspecto, foram considerados os agrotóxicos de maior risco para a água subterrânea, conforme mostra o exemplo contido na **Tabela 1**.

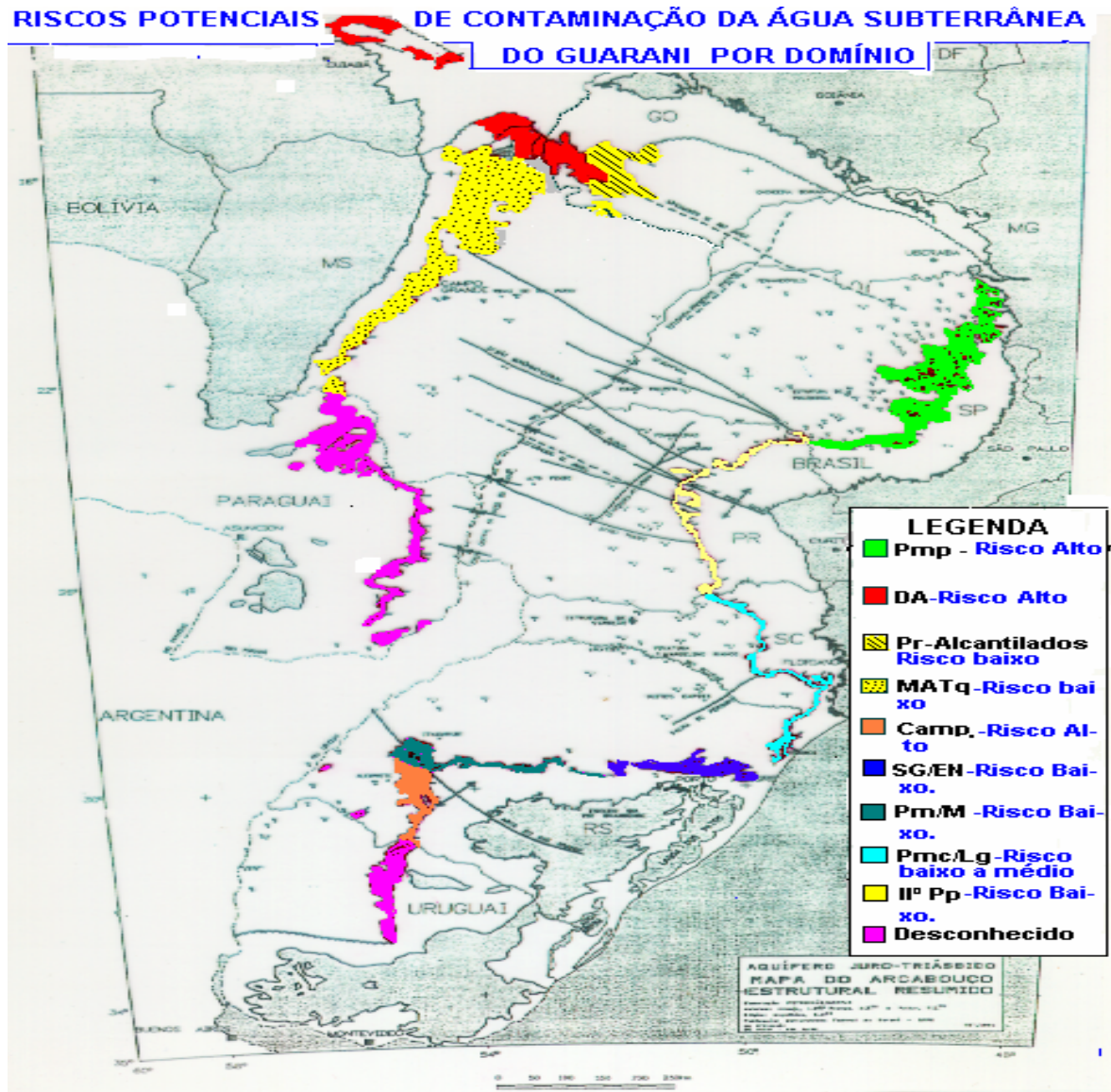


Figura 1. Mapa de risco potencial de contaminação da água subterrânea a partir dos Domínios Pedomorfoagroclimáticos (escala 1:5.000.000)

Pmp – Planalto Médio Paulista; **DA** – Depressão ou Nascentes Araguaia; **Pr Alcantilados** – Planaltos rebaixados Alcantilados; **MATq** – Médio/Alto Taquari; **Camp** – Campanha; **SG/EN** – Serra Gaucha/Encosta Nordeste; **Pm/M** – Planalto Médio/Missões; **Pmc/Lg** – Planalto Médio Catarinense/Litoral gaúcho; **II° Pp** – Segundo Planalto Paranaense.

Obs.:Mapa obtido da base proposta por ARAÚJO, L.M.; FRANÇA,A.B.; POTTER, P.E. Aquífero Gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai (1995).

Tabela 1. Classificação dos riscos potenciais de contaminação da água subterrânea a partir das áreas de recarga do Aquífero Guarani no Brasil, considerando a presença de cinco herbicidas em quatro Estados.

Produto aplicado	Quantidade (L/ha)	Características do produto	Cultura	Estado	Área (ha)	Precipitação Média*** (mm/ano)	Vulnerabilidade			Risco Potencial ¹ de contaminação da água subterrânea
							Condutividade de hidráulica* (cm/h)	Nível d'água** NA (m)	Índice	
Imazetaphyr	1,0	Koc = 10; (T) ^{1/2} vida = 90 dias.	Soja	Goiás	4.000	1.863	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Alto Médio/Alto Médio
Atrazina	1,5	Koc = 100; (T) ^{1/2} vida = 60 dias	Milho	Goiás	10.000	1.863	Média/alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Médio Médio/baixo Baixo
	1,0		Milho	Mato Grosso	5.800	2.130	Média/alta	<10- 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Médio/Alto Médio Baixo
	2,0		Milho	Mato Grosso do Sul	2.600	1.460	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Médio Médio/baixo Baixo
Simazina	2,0	Koc= 130 ; (T) ^{1/2} vida curta = 60 dias	Milho	Goiás	10.000	1.863	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Médio Médio/Baixo Baixo
Tebuthiuron	1,3	Koc= 80 ; (T) ^{1/2} vida = 360 dias	Cana-de-açúcar	São Paulo	980.000	1.600	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Alto Médio/Alto Médio
Hexazinone	2,3	Koc= 54; (T) ^{1/2} vida = 90 dias	Cana-de-açúcar	São Paulo	980.000	1.600	Alta	<10 10-20 >20	ALTO alto (Aa) ALTO baixo (Ab) MÉDIO alto (Ma)	Alto Médio/Alto Médio

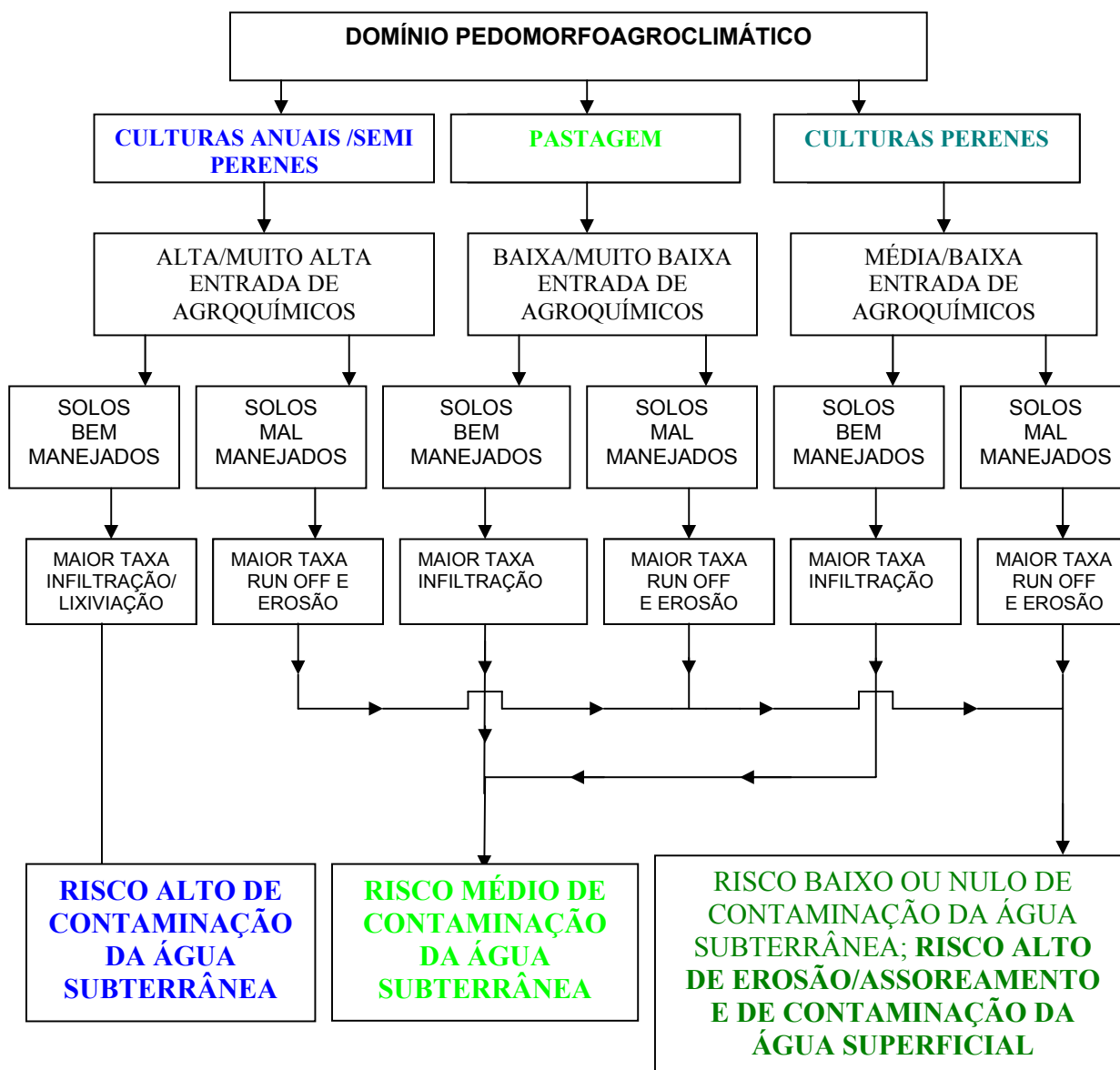
*Classificada em alta (12,5 a 25 cm/h); média (2,5 a 12,5 cm/h) e baixa (< 2,5 cm/h), conforme KRAMER (1969). ** NA<10m (vulnerabilidade do tipo alto-alto); NA 10-20m (alto-baixo); NA>20 (médio -alto) conforme SÃO PAULO (1997).

*** Média dos últimos 5 anos.

1. Define-se aqui risco potencial como sendo o **risco estimado** em função da integração das informações relativas aos produtos aplicados com suas respectivas quantidades (carga contaminante estimada) com aquelas relacionadas à vulnerabilidade natural.

A caracterização dos riscos potenciais, por Domínio Pedomorfoagroclimático, permitiu a identificação e seleção de *áreas críticas* em função do tipo de atividade agrícola, com ênfase para o uso intensivo de agrotóxicos e de processos erosivos, de acordo com o esquema da **Figura 2**.

Figura 2. Esquema adotado para identificação e seleção das áreas críticas por Domínio Pedomorfoagroclimático, considerando cenários de riscos de contaminação e de processos erosivos.



A partir desse estudo foram selecionadas, inicialmente, cinco áreas críticas (*worst case*) distribuídas em cinco Estados, conforme a seguinte descrição: **a) Microbacia do Córrego Espreado, município de Ribeirão Preto/SP** – Domínio do Planalto Médio Paulista; **b) Microbacia dos Córregos Cabeceira Alta e Buracão, município de Mineiros/GO** – Domínio da Depressão ou Nascentes do rio Araguaia; **c) Afluentes da margem direita do rio Taquarí, município de Alcínópolis/MS** – Domínio do Médio/Alto Taquarí e Coxim; **d) Nascentes do rio Ivaí, município de Cândido de Abreu/PR** – Domínio do Segundo Planalto Paranaense; e **e) Arroio Jacaguá, margem esquerda do rio Ibicuí, município de Alegrete/RS** – Domínio da Campanha. Posteriormente, foi identificada mais uma área na região de Lages/Ponte Alta – SC, envolvendo as **nascentes dos rios Caveiras e dos Cachorros**, dentro do Domínio definido como Planalto Médio Catarinense, que assim servirão de estudos de caso e de suporte a uma proposta de gestão, fundamentada nos princípios de sustentabilidade.

3. Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é o de desenvolver uma proposta de ordenamento agroambiental específico para as áreas de recarga do Aquífero Guarani em território brasileiro, como subsídio a uma proposta de gestão ambiental, apoiada nas técnicas *de Boas Práticas Agrícolas*, tendo como áreas piloto duas porções consideradas críticas, selecionadas a partir de cinco já levantadas, conforme descrição no item anterior.

Entre os objetivos específicos estão: determinar a vulnerabilidade natural das áreas piloto com ênfase para as águas subterrâneas, caracterizar os riscos de contaminação da água subterrânea por agrotóxicos, determinar os processos erosivos lineares, determinar a capacidade de uso das terras e o conflito de uso, adaptar métodos analíticos para determinação dos agrotóxicos com maior potencial de contaminação da água subterrânea, quantificar e qualificar a deposição de agrotóxicos em solo dos sistemas produtivos predominantes nas áreas piloto, determinar a tendência de contaminação de água subterrânea por simulação e determinar o risco efetivo de contaminação da água subterrânea nas áreas piloto.

4. Metodologia

4.1. Levantamento de informações

A seleção das duas microbacias, as quais servirão como áreas pilotos para estudo de caso e de suporte à elaboração do ordenamento agroambiental das áreas de recarga, será realizada com base em dois critérios: *estar localizada em área de recarga do Aquífero Guarani e possuir predominância da atividade agrícola, preferencialmente intensiva*. São muito freqüentes a cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e o arroz no Rio Grande do Sul, culturas que possuem como característica, em comum, o uso intensivo de agrotóxicos.

O levantamento das características fisiográficas das microbacias selecionadas será feito por meio do material cartográfico e bibliográfico já existente, enquanto que os dados climáticos, pluviosidade e temperatura, serão obtidos a partir de dados já compilados pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC para o Estado de São Paulo e junto ao Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado para o Rio Grande do Sul.

O levantamento do uso agrícola atual das áreas piloto será feito a partir de imagens de satélite Landsat TM, utilizando técnicas de processamento digital de imagem (correções radiométrica e geométrica) e identificação e classificação dos diferentes alvos agrícolas, com confirmação em campo.

Este trabalho terá como suporte básico à utilização das técnicas de geoprocessamento para o armazenamento, manipulação e integração de dados ambientais referenciados espacialmente. A elaboração dos Planos de Informação (PIs) será feita a partir das informações citadas acima, utilizando técnicas de captura digital e de geoprocessamento para montagem do banco de dados. Neste estudo, a entrada dos dados será realizada através de mesa digitalizadora, utilizando o software de digitalização AutoCAD, da Autodesk Inc. Como controle da qualidade da digitalização será adotado o Quadrado Médio do Resíduo (QMR), que é uma medida da precisão, visando garantir a qualidade dos dados no SIG. Os mapas serão digitalizados na projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM).

Para o levantamento dos agrotóxicos mais utilizados será aplicado um questionário aos proprietários, técnicos e revendedores, buscando informações quanto aos produtos aplicados (dose, número médio de aplicações e histórico das aplicações). Serão também levantadas informações desses agrotóxicos, a partir de dados da literatura, referentes ao princípio ativo e às

características físico-químicas. Estas informações serão utilizadas posteriormente no cálculo do índice de GUS (Gustafson, 1989).

4.2. Avaliação da vulnerabilidade natural

O levantamento da profundidade do lençol freático nas áreas piloto será realizada por meio de sondagem elétrica, com o uso do método da eletrorresistividade (Fernandes, 1984), tendo como referências de pontos de amostragem, cotas altimétricas que representem mudanças de expressão no relevo da área.

O método de avaliação da vulnerabilidade natural das áreas a serem estudadas se fundamentará nas proposições de Foster & Hirata (1993) e se baseia na exposição do lençol freático a uma carga contaminante, que passa a ser função da: a) *profundidade do solo*, que influencia na acessibilidade da carga contaminante à zona saturada e b) *capacidade de atenuação da carga contaminante*, controlada principalmente pelos parâmetros geológicos e de cobertura de solos, ajustadas para este trabalho com inclusão de dados de condutividade hidráulica e declividade do solo, como também da taxa média de precipitação anual que dá indicativos do potencial do veículo condutor (água) de movimentar a suposta carga contaminante (Gomes et al., 2002).

A profundidade do solo será inicialmente avaliada por meio de tradagens profundas. Quando forem atingidas as áreas de ocorrência dos saprolitos, serão feitas estimativas da espessura desse material e da profundidade da zona saturada, utilizando-se métodos geofísicos como a eletroresistividade, por exemplo. Análises de condutividade hidráulica serão conduzidas em laboratório, adotando-se o método da coluna de solo (20 cm) saturada em água e com lâmina constante (carga hidráulica) de 2 cm.(Embrapa, 1997). Informações pré-existentes das áreas a serem estudadas como mapas geológicos, geofísicos e geomorfológicos darão subsídios a esses estudos.

A avaliação dos processos erosivos lineares (voçorocas e ravinas) nas áreas selecionadas será feita por meio de fotointerpretação e de análise de imagens de satélite, conforme procedimentos propostos pelo DAEE& IPT (1989).

4.3. Capacidade de suporte das terras

Serão adotados os métodos de capacidade de suporte das terras pelo Sistema de Classificação da Capacidade de Uso da Terra (Lespach et al., 1991) e o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho et al., 1978), empregando um SIG, de forma a utilizar suas operações espaciais. Nesses métodos são utilizadas as informações de solo, de classes de declive e de clima. A declividade será obtida do mapa de curvas de nível, utilizando-se de modelo de interpolação presente no SIG e, posteriormente, serão separadas em classes. A determinação do balanço hídrico para as culturas predominantes nas áreas estudadas será feita com base no modelo proposto por Franquin & Forest (1984). Os resultados obtidos pelos dois métodos serão comparados, utilizando-se as técnicas de geoprocessamento.

Utilizando-se o plano de informação de ocupação e uso atual, obtido de imagens recentes do satélite Landsat TM da áreas piloto e confrontando-o com os mapas de capacidade de suporte, será obtido o mapa de áreas de conflito de uso.

Serão utilizados os seguintes softwares de SIG: o Idrisi for Windows, da Universidade de Clark (EUA) e o Spring, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, este último de domínio público. Os dois softwares trabalham basicamente em formato raster e serão utilizados de forma complementar, por possuírem algumas características específicas de interesse deste trabalho.

4.4. Estudo dos agrotóxicos

A avaliação do potencial de contaminação de água subterrânea pelos agrotóxicos será realizada utilizando-se o método proposto por GUS (Gustafson, 1989). Esse método calcula o índice de GUS para cada princípio ativo, mediante o fornecimento de valores de coeficiente de adsorção ao carbono orgânico (K_{oc}) e de meia-vida ($t_{1/2}$) do produto no solo, os quais são posteriormente aplicados à fórmula do Índice de GUS e classificados, em função do resultado, em relação ao potencial de lixiviação em: a) não sofre lixiviação ($GUS \leq 1,8$), b) faixa de transição ($1,8 < GUS < 2,8$); e c) provável lixiviação ($GUS \geq 2,8$). O valor de GUS serve como uma ferramenta auxiliar para a identificação de agrotóxicos a serem priorizados nas atividades de monitoramento ambiental *in loco*. Este método é amplamente utilizado pela *Environmental Protection Agency* – *EPA*, dos EUA e outros organismos de proteção ambiental internacionais.

Serão desenvolvidos métodos para a determinação dos agrotóxicos selecionados nas matrizes de água e solo. Antes da análise instrumental será necessária a execução das seguintes etapas: extração, remoção de interferentes (*cleanup*) e pré-concentração dos agrotóxicos da matriz a fim de ajustar as concentrações dos compostos de interesse à sensibilidade do detector, bem como remover a maior parte dos interferentes. Assim, serão testados diversos métodos de extração e pré-concentração para escolher o que fornece melhor recuperação e seletividade (cromatogramas relativamente livres de interferentes nos tempos de retenção dos compostos a serem analisados). Os extratos serão analisados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) para compostos polares e instáveis termicamente ou cromatografia gasosa (CG) para compostos voláteis. Inicialmente serão desenvolvidos ou adaptados métodos da literatura para determinação de resíduos dos agrotóxicos nas matrizes de solo a fim de serem utilizados nas determinações dos seguintes parâmetros: coeficiente de adsorção do agrotóxico no solo; determinação da meia-vida e estudos de lixiviação. Serão também desenvolvidos métodos para a determinação multiresíduos dos agrotóxicos em água subterrânea coletada nas áreas de estudo. A análise multiresíduos permite que em uma mesma corrida cromatográfica sejam determinados simultaneamente vários compostos. Isso diminui o número total de análises, o tempo e o custo. Após a otimização das condições de análise os métodos serão validados e os seguintes parâmetros serão avaliados: limite de detecção, limite de quantificação, linearidade, seletividade, precisão (repetibilidade e precisão intermediária) e recuperação.

Os agrotóxicos são adsorvidos, principalmente, à matéria orgânica, aos minerais de argila, e óxidos/hidróxidos metálicos do solo. As propriedades de ligação destes componentes do solo diferem significativamente e são influenciadas por condições do ambiente, tais como o pH e a força iônica da solução. A lixiviação acarreta a movimentação dos agrotóxicos ao longo do perfil do solo, juntamente com a percolação da solução do solo, em direção ao lençol freático. Os testes de lixiviação serão executados em laboratório usando colunas de PVC, utilizando uma coluna para cada tipo de solo. Os solos serão acondicionados nas colunas na mesma sequência de camadas encontradas no campo. As colunas serão previamente saturadas com carga hidráulica e fluxo ascendente. Após a saturação mede-se a condutividade do solo saturado pelo método de Klute (1965). A seguir o excesso de água será drenado por ação gravitacional por três dias. Serão adicionados ao topo uma solução contendo o agrotóxico e a cada 10 cm de profundidade da

coluna serão coletadas soluções do solo. Estas soluções serão analisadas por cromatografia. O resultado deste estudo indica qual é a profundidade que o agrotóxico atinge no solo.

Neste trabalho, será realizado um estudo de adsorção de agrotóxicos com maior potencial de contaminação nos solos das regiões. Os testes de adsorção/dessorção baseiam-se na determinação das isotermas de sorção de Freundlich do agrotóxico estudado (Basiley & White, 1970). O estudo de adsorção será realizado nos diferentes tipos de solos das áreas de estudo. Para determinar as isotermas de adsorção, as amostras dos solos, em triplicatas, serão colocadas em tubos de polipropileno, contendo solução de cloreto de cálcio, e submetidas a agitação horizontal com cinco concentrações diferentes do agrotóxico. Após agitação as amostras serão centrifugadas e o sobrenadante analisado por cromatografia. A quantidade do agrotóxico adsorvida pelo solo é obtida pela diferença entre a concentração inicial das soluções e a concentração final ou concentração de equilíbrio (Lanças et al., 1994).

A meia vida dos agrotóxicos varia muito dependendo do pH do solo e da temperatura. Assim, a meia-vida será determinada através da curva de decaimento do agrotóxico incubando os solos com concentração conhecida e analisando sua concentração periodicamente. O tempo de meia vida corresponderá ao tempo necessário para que a sua concentração decresça 50%.

Serão realizadas pulverizações simuladas em campo, substituindo-se o agrotóxico pelo traçador fluorescente Rodamina B. A pulverização de calda contendo água e Rodamina B em concentração de 0,5 mg/L será realizada com pulverizador de barra, equipado com bicos tradicionalmente utilizados por produtores das áreas de estudo. A amostragem da deposição do traçador será realizada com alvos constituídos de cartões de 50 cm² papel de filtro com gramatura de 250 g/m². A extração do traçador das amostras será realizada com 50 mL de solução de água e Tween 80 em concentração de 0,1%. A quantificação do traçador será feita com fluorímetro Turner 450, utilizando filtro NB540 para excitação e SC585 para emissão. A qualificação da deposição da pulverização será efetuada com a utilização de papel sensível a água, sendo os parâmetros de tamanho e densidade de gotas analisados pelo programa de computador “Gotas”, desenvolvido em parceria pela Embrapa Meio Ambiente e Embrapa Informática Agropecuária.

4.5. Risco de contaminação

O simulador CMLS-94, “*Chemical Movement in Layered Soils*” (Nofziger & Hornsby, 1994), será utilizado em função: a) da quantidade de dados de entrada necessários para sua

utilização ser bem inferior ao demandado pelos outros simuladores elaborados para o mesmo fim; b) pela facilidade de obtenção do software (disponível na internet), sendo de fácil acesso a outros usuários; c) pelas informações que disponibiliza como resultados (profundidade e quantidade de produto) serem próprias ao estudo de previsão de contaminação de águas subterrâneas. Para efeito de simulações serão realizados cenários que permitam estimar a quantidade relativa de agrotóxicos presente no solo em qualquer instante de tempo, dentro do período estipulado para a simulação (3 anos).

Os dados necessários para a utilização do simulador são: a) temperaturas máxima e mínima diárias; b) pluviosidade diária; c) coeficientes de distribuição (K_{OC}) e meia-vida ($t_{1/2}$) dos agrotóxicos; d) percentagens de carbono orgânico, densidade aparente ($Mg\ m^{-3}$), capacidade de campo, ponto de murcha e saturação, para cada solo a ser estudado, nas profundidades determinadas pelo usuário; e) dados dos coeficientes culturais (K_c); f) Recomendações de doses (kg/ha) do agrotóxico utilizado, assim como a época (mês) e profundidade (cm) de lançamento do produto.

Os solos a serem simulados para efeito da verificação do comportamento dos agrotóxicos serão aqueles priorizados pelo levantamento dos solos predominantes da área. As características do agrotóxico (K_{oc} e $t_{1/2}$) utilizadas serão determinadas em estudos desse projeto, para os solos priorizados. Os agrotóxicos selecionados nas áreas de estudo serão simulados separadamente em cada solo analisado, utilizando-se o mesmo cenário base de cultivo e clima, para o período de três anos. Ao término desse período, serão comparadas as profundidades alcançadas, em metros, com as profundidades do lençol subterrâneo.

Os resultados obtidos indicarão para cada período simulado se os agrotóxicos irão ou não atingir profundidades comprometedoras ao lençol subterrâneo.

Os resultados obtidos (profundidades para os três anos) em simulações dos agrotóxicos nos solos predominantes das áreas piloto das regiões em estudo serão inseridos como mais um Plano de Informação no SIG. Essa informação mais os Planos de Informação de Profundidades dos lençóis e de Uso das terras serão cruzados (operações de análise geográfica), de forma a se obter um mapa de alto risco de contaminação. Posteriormente a área de alto risco será calculada.

A partir da informação da localização das áreas pilotos, viabilizada pelo projeto, representativas dos sistemas produtivos, serão identificados os pontos de coleta das amostras. Serão coletadas dez amostras a cada 4 meses por um período de um ano e meio. As amostras

serão analisadas de acordo com o método multiresíduos desenvolvido neste trabalho. Esta avaliação permitirá verificar as implicações causadas pelo uso intensivo de agrotóxicos nestas áreas.

4.6. Ordenamento agroambiental

A concepção do ordenamento agroambiental engloba a proposta de Figueiredo et al., (2000) para o zoneamento agrícola/florestal com aquelas do zoneamento ambiental proposta por Ribeiro (1994) e Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 1997). Essa integração requer uma base de informações fundamentada em: 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 sócio-econômico e cultural dos produtores localizados nas áreas de estudo.

A **Figura 3**, a seguir, exibe o diagrama com a proposição do ordenamento agroambiental, considerando uma área em São Paulo e outra no Rio Grande do Sul.

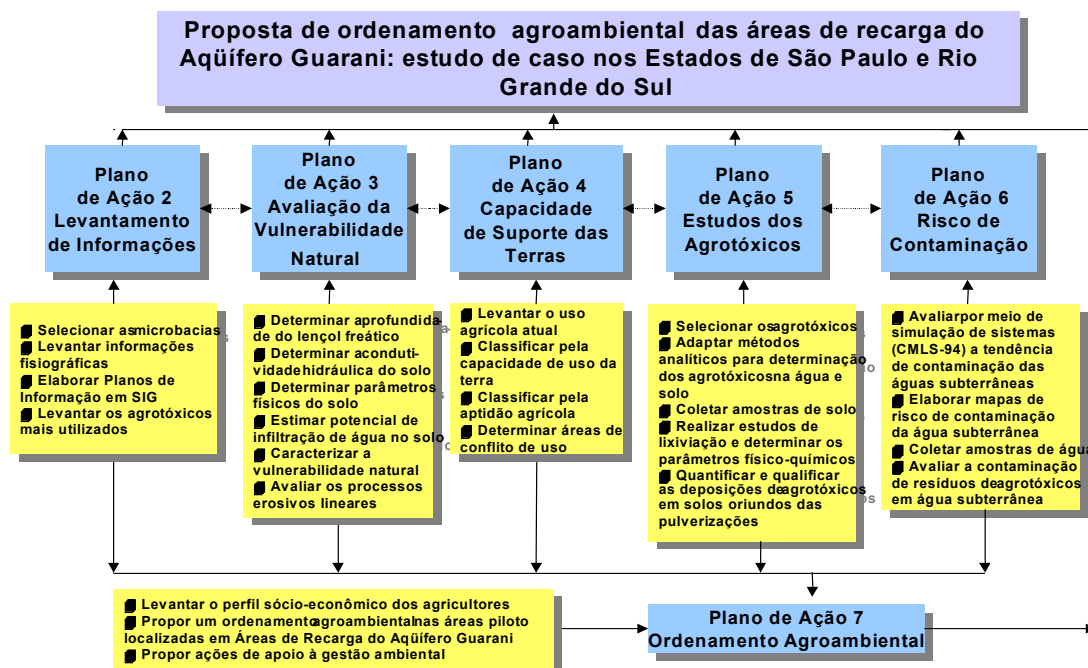


Figura 3. Diagrama dos planos de execução para obtenção do Ordenamento Agroambiental.

5. Considerações Finais

A proposta de Ordenamento Agroambiental para as áreas de recarga do Aquífero Guarani em território brasileiro, dará subsídios a diversas ações voltadas para a sustentabilidade de áreas frágeis ou de alta vulnerabilidade natural. Nesse sentido, a contribuição será na forma de um documento orientador para formulação de políticas públicas para essas áreas, bem como de uma cartilha de *Boas Práticas Agrícolas*, ajustadas para cada domínio pedomorfoagrocimático.

Nesse contexto, haverá também uma contribuição para o programa de Zoneamento Ecológico-Econômico do Ministério do Meio Ambiente, dentro do escopo de racionalização da ocupação do espaço territorial e do redirecionamento das atividades, convergindo assim para o Ordenamento Agroambiental ora proposto.

Em síntese, a expectativa é a de que o presente trabalho possa, efetivamente, contribuir com o processo de gestão sustentável do Aquífero Guarani, considerando as atividades em suas áreas de recarga no Brasil.

Referências

ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. **Aquífero gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai**: mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: UFPR/Petrobrás, 1995. 16 p. (9 mapas).

BASILEY, G. W.; WHITE, J. L. Factors influencing the adsorption, desorption and movement of pesticides in soil. **Residue Reviews**, v. 32, p. 29-91, 1970.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico, 30).

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília, 1997. 43 p.

DAEE/IPT. **Controle de erosão**: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de boçorocas urbanas. São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento, Depto. de Águas e Energia Elétrica, 1989. 92 p.

EMATER. **Programa de assistência técnica e extensão rural – Proater**. Mineiros: EMATER-Escritório Local Mineiros, 1995. 27 p.

EMBRAPA Meio Ambiente. **Impacto ambiental e implicações sócio-econômicas da agricultura intensiva em água subterrânea**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 43 p. (Relatório de projeto).

- EMBRAPA Meio Ambiente. **Uso agrícola das áreas de afloramento do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. 32 p. (Relatório de projeto).
- EPAGRI. **Zoneamento agroambiental.** Florianópolis: EPAGRI, 1997. CD-ROM.
- FERNANDES, C.E.M. **Fundamentos de prospecção geofísica.** Rio de Janeiro: Interciência, 1984. 190p.
- FIGUEIREDO, E. O.; ASSIS, L.D.; COSTA, J.; RECCO, R.D. **Proposta metodológica para o zoneamento florestal pós-estratificado.** Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 17 p. (Embrapa Acre. Documentos, 54).
- FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinação de risco de contaminação das águas subterrâneas:** um método baseado em dados existentes. São Paulo: Instituto Geológico, 1993. 92 p. (Instituto Geológico. Boletim, 10).
- FRANQUIN, P.; FOREST, F. Des programmes d'évaluation et analyse fréquentielles des termes du balance hydrique. **L'agronomie Tropicale**, v. 32, n. 1, p. 1-22, 1984.
- GOMES, M. A .F.; NEVES, M.C.; SPADOTTO, C. A ; LUIZ, A .J.B. Mapeamento expedito dos potenciais de infiltração e de escoamento superficial da água para os solos da microbacia do Córrego do Espraiado em Ribeirão Preto-SP. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Piracicaba: SBCS/ESALQ, 1996. 4 p. CD-ROM.
- GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C.; LANCHOTTE, V. L. Ocorrência do herbicida tebuthiuron na água subterrânea da microbacia do Córrego Espraiado, 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 a.
- GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F.; SPADOTTO, C.A. Uso agrícola das áreas de recarga do Aquífero Guarani e implicações na qualidade da água subterrânea. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA E MERCOSOJA, 2., 2002, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 2002 b. p. 36-42.
- GUSTAFSON, D.I. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v.8, p. 339-357, 1989.
- IAPAR. **Caracterização da estrutura de produção agropecuária do Estado do Paraná.** Londrina, 2002. 1p. (Informe Técnico, 01/2002).
- INSTITUTO DE PLANEJAMENTO E ECONOMIA AGRÍCOLA. **Síntese anual de agricultura de Santa Catarina – 1998 – 1999.** Florianópolis, 1999. 159 p.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis.** Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 210-221.

LANÇAS, F.M.; VILEGAS, J.H.Y.; GALHIANE, M. S. Uso de técnicas cromatográficas para a avaliação de propriedades físico-químicas de pesticidas em solos. I. Determinação de adsorção/dessorção. **Pesticidas: Revista Técnico Científica**, v. 4., p. 39-48, 1994.

LESPCH, I.F.; BELLINAZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**: 4ª aproximação,, 2ª imp. revisada. Campinas: SBCS, 1991. 175 p.

NOFZIGER, D.L.; HORNSBY, A. G. **CMLS-94 – Chemical Movement in Layered Soils**. Oklahoma: University of Florida, Department of Agronomy, 1994. 76 p.

PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M. .A. F.; DORNELAS DE SOUSA, M.; 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 em Ribeirão Preto,SP. **Revista Científica Rural**, v. 3, n. 2, p. 11-19, 1998.

PESSOA, M.C.P.Y.; GOMES, M. A. F.; DORNELAS DE SOUSA, M.; NICOLELLA, G.; CERDEIRA, A. L.; MONTICELLI, A. Simulação do movimento de herbicidas utilizados no monocultivo de cana-de-açúcar em Latossolo Vermelho-Escuro da área de recarga do Aquífero Guarani em Ribeirão Preto, SP. **Revista Científica Rural**, v. 4, n. 1, p. 15-24, 1999.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, E. G.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Brasília: SUPLAN/Embrapa/SNLCS, 1978. 70p.

RIBEIRO, M. A. **Zoneamento ambiental**. Belo Horizonte: IGA/CETEC-MG, 1994. 21 p.

ROCHA, G..A. **Mega reservatório de água subterrânea do Cone Sul**: bases para uma política de desenvolvimento e gestão. Curitiba: UFPR/IDRC, 1996. 25 p.

PROCESSOS EROSIVOS LINEARES EM ÁREAS DE RECARGA DO AQUÍFERO GUARANI

HELOISA F. FILIZOLA ¹

RENÉ BOULET ²

MARCO ANTONIO FERREIRA GOMES ¹

¹EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil

{filizola, gomes@cnpma.embrapa.br}

²Nupegel / ESALQ -USP

Av. Pádua Dias, 11 - 13418-900 - Piracicaba - SP

Resumo. Sulcos, ravinas e voçorocas presentes em grande parte do território brasileiro. Geralmente estão associados ao uso do solo, ao substrato geológico, ao tipo de solo, ao relevo e às características climáticas e hidrológicas. O desenvolvimento dos processos erosivos é geralmente atribuído a mudanças ambientais induzidas pelas atividades humanas. As áreas de recarga do Aquífero Guarani são áreas potencialmente frágeis frente aos processos erosivos. Trabalhos em desenvolvimento nestas áreas, próximas às nascentes do Rio Araguaia, nos Estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, têm mostrado que, com o incremento da agropecuária a partir dos anos 70, os processos erosivos lineares, em especial aqueles de grande porte, têm aumentado de maneira considerável e que até agora não foi possível encontrar-se soluções duradouras e de baixo custo para a estabilização das voçorocas existentes, já que os processos de gênese e evolução das mesmas são ainda pouco conhecidos.

Palavras-chave: ravinas, voçorocas, gênese, Rio Araguaia.

1. Introdução

Sulcos, ravinas e voçorocas estão presentes em praticamente todo o Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil e geralmente estão associados ao uso do solo, ao substrato geológico, ao tipo de solo, às características climáticas, hidrológicas e ao relevo. O desenvolvimento das ravinas e voçorocas descrito na literatura brasileira é geralmente atribuído a mudanças ambientais induzidas pelas atividades humanas (IPT 1986, 1988; Oliveira & Salomão, 1992; Salomão, 1994).

A grande maioria de trabalhos sobre as ravinas e voçorocas mostra que sua ocorrência está associada a formações sedimentares arenosas (Setzer, 1949; Prandini, 1974; Vieira, 1978;

Furlani, 1980; Rodrigues, 1982; IPT, 1986; Salomão, 1994), mas há também exemplos de voçorocas em solos provenientes de rochas cristalinas (Rodrigues, 1984; Meis et al., 1985; Oliveira & Meis, 1985; Silva, 1991; Bacellar et al., 2001). Segundo os dois últimos, a geologia das regiões do embasamento cristalino, com suas abruptas variações laterais, influi intensamente na propagação do voçorocamento. Contatos geológicos, diques ou até mesmo bandas internas à rocha de composição diferente são suficientes para acelerar, impedir ou desviar a propagação de uma voçoroca.

No Estado de São Paulo, os trabalhos desenvolvidos pelo DAEE e pelo IPT (1989) mostram que a predominância de erosões lineares está associada aos arenitos com cimentação carbonática, pertencentes às formações Marília e Adamantina do Grupo Bauru. As formações areníticas Caiuá, Santo Anastácio, Piramboia e Botucatu apresentam menores concentrações de ocorrências erosivas por unidade de área.

A influência do relevo no desenvolvimento de ravinas e voçorocas no Estado de São Paulo é enfatizada por vários autores, que as relacionam especialmente à forma e à declividade das vertentes. Oka-Fiori & Soares (1976), estudando a ocorrência de ravinas e voçorocas nas proximidades de Casa Branca e nas Folhas de Piracicaba, Rio Claro, São Pedro e Itirapina, verificaram que 95% dessas erosões se desenvolviam em encostas convexas. Conclusão semelhante foi observada por Vieira (1978), em voçorocas da cidade de Franca, e por Furlani (1980), na região de Casa Branca.

Já Bacellar et al. (2001) trabalhando na bacia do Rio Maracujá (MG) e Barbalho & Campos (2001), na alta bacia do Rio Araguaia (GO/MT), mostram que grande parte das voçorocas se desenvolve nos setores côncavos das cabeceiras de drenagem, com formas anfiteátricas (concavidades ou “hollows”). Estas formas propiciam a convergência natural das águas superficiais e subsuperficiais, favorecendo os movimentos de massa e o desenvolvimento de voçorocas.

As voçorocas atuais, que são mais frequentes nas concavidades do relevo, muitas vezes representam feições erosivas antigas, numa prova de que a erosão é recorrente e que tende a avançar pelas mesmas rotas já seguidas anteriormente, certamente devido ao condicionamento hídrico subsuperficial. Tal fato foi comprovado por Bacellar et al. (2001), que constataram que uma das voçorocas estudadas segue a trajetória de um antigo canal erosivo.

Estes autores chamam também a atenção para voçorocas com crescimento não concordante

com o gradiente topográfico local, que conduziu ao estudo da hidrologia subterrânea, dada a impossibilidade dos fluxos superficiais explicarem esta propagação anômala. Dados de levantamento geofísico por eletroresistividade sugerem que o crescimento desta voçoroca se deu em direção a uma zona subsuperficial com grande afluxo de água subterrânea. Levantamentos de campo demonstraram que estes afluxos de água acontecem ao longo de estruturas geológicas, principalmente fraturas e falhas.

Quanto à influência da cobertura pedológica no desenvolvimento de ravinas e voçorocas, observa-se concordância no que se refere a maior suscetibilidade dos solos de textura arenosa e média (Setzer, 1949; Christofolletti, 1968; Vieira, 1978; IPT, 1986; Salomão 1994).

Apesar de mais restrita, há possibilidades do desenvolvimento de ravinas e voçorocas em solos argilosos (Hsu, 1978; Folque, 1977), como os Latossolos Vermelho Escuro observados na região de Casa Branca, que estão associados à ocorrência de voçorocas, segundo Prandini et al. (1990). Neste caso, o desenvolvimento de voçorocas deve-se principalmente à presença de um horizonte C altamente erodível, proveniente da alteração de arenitos feldspáticos com intercalações de argilitos e siltitos pertencentes à Formação Aquidauana, que facilita o aprofundamento erosivo e a interceptação do lençol freático, desenvolvendo fenômenos de "piping".

Conclusão semelhante é manifestada por Parzanese (1991) com relação ao desenvolvimento de voçorocas em terrenos cristalinos constituídos por granitóides da região de Cachoeira do Campo, Minas Gerais, que considera como principal condicionante a existência de um horizonte C de textura arenosa pouco coerente e extremamente erodível.

2. Processos de gênese e evolução de voçorocas

Na grande maioria dos casos, nas áreas agrícolas, as voçorocas começam com a formação de sulcos que evoluem para ravinas, na parte final das vertentes, devido a uma concentração de fluxos superficiais das águas de escoamento, geralmente provocada por desmatamento, trilhas de gado, construção de cercas, estradas ou caminhos mal posicionados ou de qualquer outra obra que interfira diretamente no regime hidrológico. Se o processo não for interrompido, a ravina aprofunda-se e progride longitudinalmente para montante.

Quando a ravina, aprofundando-se, atinge o lençol freático torna-se voçoroca (**Figura 1**); seu aprofundamento diminui pois o lençol torna-se seu nível de base (IPT, 1986). A dinâmica da

erosão muda por causa da intervenção das exportações de matéria sólida pela saída do lençol na base das paredes da voçoroca (piping). Estas exportações desestabilizam as paredes que caem em grandes blocos provocados por escorregamentos rotacionais, favorecidos pelos altos gradientes hidráulicos nos taludes. A voçoroca alarga-se e seu recuo, por erosão remontante, progride até que seu novo ponto de equilíbrio seja encontrado.



Figura 1.

Passagem de uma ravina a voçoroca.

O trabalho erosivo das águas superficiais persiste. Na borda das voçorocas, como das ravinas profundas, aparecem rachaduras paralelas a esta em consequência da decompressão do solo ligada à presença da parede (tension crack). A água de escoamento superficial, penetrando nestas rachaduras, provoca a queda dos blocos correspondentes.

Existem também voçorocas que se abrem de maneira abrupta por uma corrida de lama, como é o caso de duas voçorocas existentes próximas às nascentes do Rio Araguaia (Filizola, 2001).

3. As áreas de recarga do Aquífero Guarani

O Aquífero Guarani está localizado na região centro-leste da América do Sul, entre 12° e 35° de latitude Sul e entre 47° e 65° de longitude Oeste e ocupa, no Brasil, uma área de 840.000 km²,

abrangendo os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (**Figura 2**).

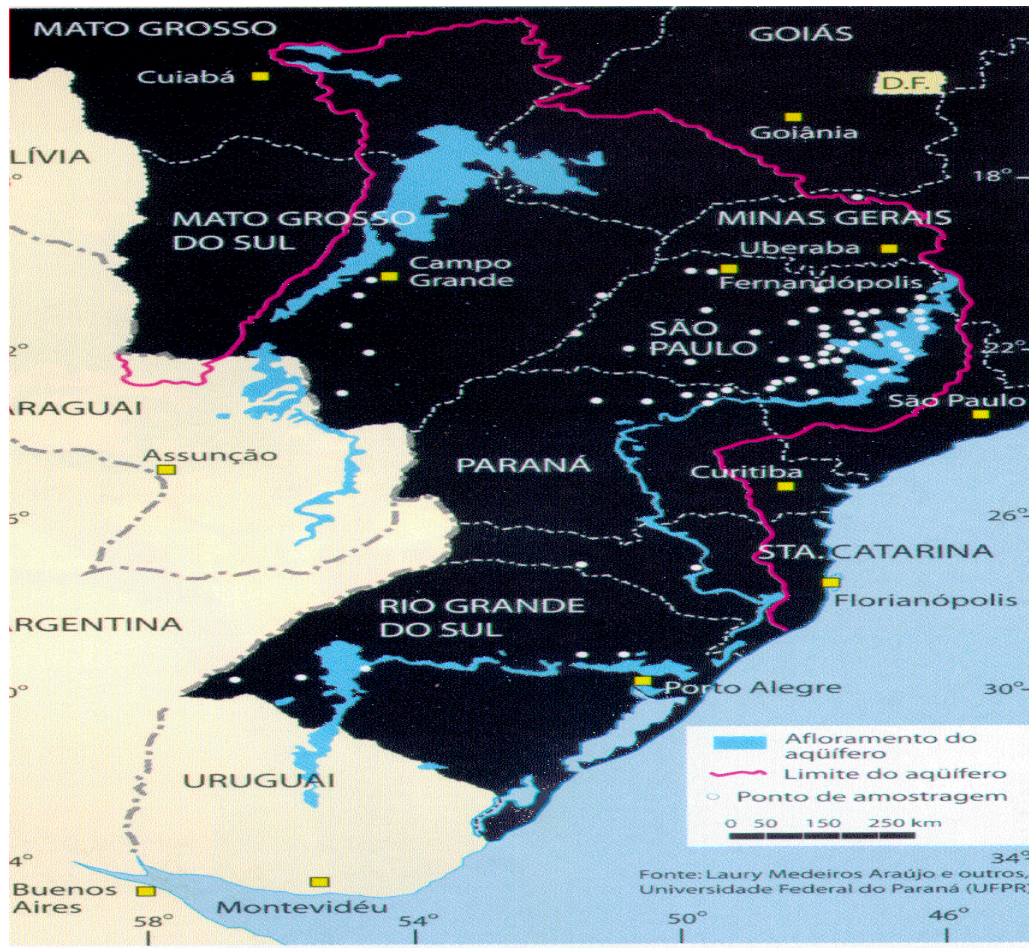


Figura 2. Localização das áreas de recarga do Aquífero Guarani.

Esse reservatório de água subterrânea é formado pelos sedimentos arenosos da Formação Pirambóia na base e pelo arenito Botucatu no topo e recoberto por derrames de basalto da Formação Serra Geral.

As áreas de afloramento das formações sedimentares acima são as áreas de recarga e estão localizadas principalmente nas bordas do aquífero. É através delas que a água, principalmente a da chuva, reabastece o aquífero. Sua recarga natural anual é de 160 km³/ano (DAEE, 2002).

Os solos desenvolvidos sobre os sedimentos arenosos das formações Botucatu e Piramboia são em grande parte classificados como Neossolos Quartzarênicos. São solos arenosos,

profundos, bem drenados, com seqüência de horizontes A-C, com baixíssimos teores de ferro e argila. Exibem, normalmente, cerca de 90% ou mais de quartzo nas frações areia fina e areia grossa, com ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis. A estabilidade destes solos é baixa e quando não são utilizados com os devidos cuidados, os processos erosivos podem se instalar e progredir rapidamente.

Atualmente, a porção das áreas de recarga do Aquífero Guarani mais sujeita aos processos erosivos lineares está localizada nos Estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

4. Processos erosivos lineares nas nascentes do rio Araguaia

Moreira (1999) mapeou 196 erosões lineares de grande porte em uma área de 90 X 100km, nas nascentes do Rio Araguaia (**Figura 3**). Destas, a maior parte evoluiu de maneira gradativa e sua gênese e evolução estão ligadas ao uso inadequado do solo. Nas fotos aéreas de 1964 e de 1977, não foi observada nenhuma voçoroca ou ravina de grande porte na região, o que significa que elas apareceram com o desenvolvimento agropecuário (Filizola et al., 2001).

Um trabalho desenvolvido em parceria com a Fundação Emas, na áreas das nascentes do Rio Araguaia, permitiu que tomássemos contato com o problema e tivéssemos maior conhecimento das grandes erosões lineares da região, das quais algumas serão apresentadas aqui, a título de exemplos.



Figura 3. Localização de voçorocas e ravinas de grande porte (em vermelho), nas nascentes do Rio Araguaia.

Voçoroca Olho d'água: comporta dois braços, muito compridos e profundos. No braço direito, com mais de 800m de extensão e 30m de profundidade, o solo, na extremidade da cabeceira, é arenoso até 1,90m de profundidade e argilo-arenoso a partir de 2,50m. Na margem

esquerda deste braço, a textura é argilo-arenosa desde 20 a 60 cm de profundidade. Na margem da direita, a textura é arenosa. No braço da esquerda, com mais de 500m de extensão, a margem esquerda é argilo-arenosa desde 20 cm de profundidade e sobre várias centenas de metros de extensão a partir da cabeceira.

Isso parece mostrar que a textura não tem influência determinante sobre o crescimento longitudinal destas voçorocas e que são outros os principais fatores atuantes. As paredes da voçoroca não mostram cicatrizes de desmoronamentos recentes, dando a impressão que a voçoroca Olho d'água está praticamente parada.

Por outro lado, um morador do local conta que, no momento da abertura do braço da esquerda da Olho d'água em 1983, sua casa foi invadida por 50 cm de lama, indício de uma gênese catastrófica.

Na **Fazenda Roda Viva** existe uma grande voçoroca (> 400m de extensão), instalada num material muito arenoso, denominado localmente de areia. Na cabeceira desta voçoroca existia uma ravina profunda que foi fechada na estação de seca 2000. Em março 2001, data de nossa visita, observamos que a ravina não está se reconstituindo, mas a voçoroca continua funcional, alargando-se, já que a saída do lençol provoca o desmoronamento das paredes sob o efeito do piping e das águas de escoamento superficial.

Na **Fazenda Morro Limpo**, foram observadas várias voçorocas que correspondem ao modelo clássico. Começam por uma ravina profunda de 3 a 4 metros onde o papel das águas superficiais - desmoronamento do topo das paredes - é bastante perceptível. Foram construídas curvas de nível a montante da cabeceira das ravinas, que são refeitas a cada dois anos. Em uma das ravinas, foi construída uma barragem de terra que parece segurá-la. Mais para jusante podemos observar a passagem da ravina à voçoroca (**Figura 1**) por causa da saída do lençol no fundo da voçoroca. Lá, o problema da contenção muda por causa da intervenção do lençol. Foi feita uma barragem que foi destruída porque a água do lençol freático desestabilizou sua base.

Existe, na **Fazenda da Empresa Sementes Granada**, uma grande e profunda voçoroca instalada num material arenoso a areno-argiloso (**Figura 4**). Segundo um dos proprietários, existia inicialmente uma nascente que abastecia uma pequena represa onde havia uma roda de água. Em 1988, chuvas muito fortes derrubaram a represa e a roda de água foi colocada diretamente na nascente. Desenvolveu-se então uma voçoroca que progrediu 300 metros em 60 dias. Na estação seca de 1990, foi construída uma grande barragem para conter a voçoroca. A

barragem estourou em agosto do mesmo ano, ainda na estação seca, o que mostra que foi o lençol freático e não as chuvas, o responsável pela destruição da barragem. Após o acidente, foram construídas curvas de nível altas ao redor da voçoroca.



Figura 4. Vista parcial da voçoroca Granada.

Em março de 2001, quando visitamos a voçoroca, constatamos que as curvas de nível foram cortadas pela voçoroca (**Figura 5**).

Constatou-se também que, na margem direita, pedaços da plantação de eucaliptos desceram na parede da voçoroca (**Figura 6**). Mais para jusante, existe uma vegetação de mata nativa, que também está deslizando na parede da voçoroca. A **Figura 4** mostra o que permanece da barragem: um pedaço de rampa utilizado pelos animais silvestres quando vão beber água no fundo da voçoroca.

Esta voçoroca apresenta um dado muito interessante, que é a relação entre a ravina inicial e a voçoroca. Na cabeceira da voçoroca pode-se observar que a ravina está cortada pela voçoroca e que o último desmoronamento correspondente é recente (**Figura 7**). Coloca-se então o problema da velocidade de crescimento da ravina inicial e aquela da voçoroca. Visitamos esta ravina e parece que está parada por causa das curvas de contenção instaladas em 1990. Então, nada se pode concluir no que diz respeito à velocidade relativa de crescimento da ravina inicial e da voçoroca que deriva desta. Todavia, é provável que a voçoroca progrida mais rapidamente que a

ravina “matriz” e acabe por fazê-la desaparecer.



Figura 5. Curva de nível cortada pela voçoroca da Fazenda Granada.



Figura 6. Deslizamentos nas paredes da voçoroca Granada.



Figura 7. Ravina inicial cortada pela voçoroca Granada.

Nas **Fazendas Santa Rita e Vida Nova**, foi realizada, pelos proprietários, uma tentativa de contenção de voçorocas médias (menos de 10 m de profundidade) muito interessante, esquematizada na **Figura 8** e que consiste em estabelecer barragens com um tubo de PVC que elimina a maior parte da água da represa, deixando esta decantar e permitindo seu assoreamento. Esta obra apesar de ser recente (estação de seca 2000) parece eficaz. O que se quer é conservar a terra e eliminar a água. Porém, parece já existir um problema, que corresponde a um início de desmoronamento da barragem superior. Isso é exclusivamente devido à saída de água que exporta matéria na base da barragem.

A voçoroca Chitolina (**Figura 9**) foi estudada com detalhe e sua gênese parece ter sido similar a do braço esquerdo da voçoroca Olho d'Água. Houve dois episódios de abertura da Chitolina. O primeiro deixou um canal à esquerda do atual e um depósito, o segundo depositou o recobrimento observado na topossequência feita na várzea (**Figura 10**), abriu o caminho do atual canal e projetou blocos de couraça de até 70cm de diâmetro, presentes na cobertura pedológica da

vertente, a 40 m de distância do canal, assim como prismas do perfil da várzea associando a turfa e a argila branca.

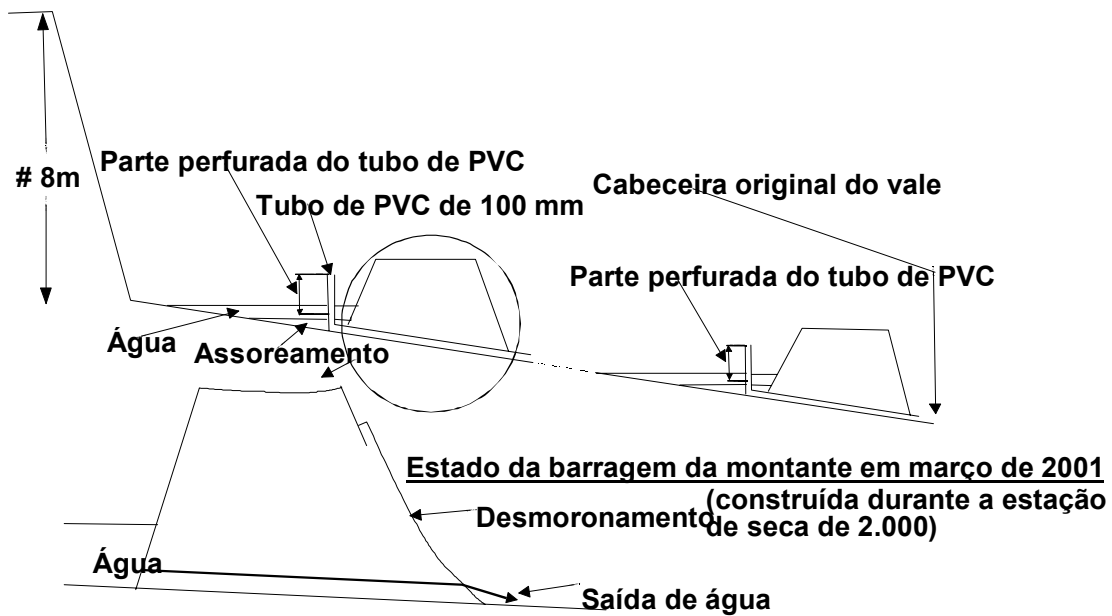


Figura 8. Obra de contenção de uma voçoroca na Fazenda Vida Nova (Mineiros - GO). Esquema sem escala.



Figura 9. Vista aérea da voçoroca Chitolina, Mineiros GO.

Os depósitos barraram parcialmente o curso do Rio Araguaia, desviando-o e provocando assim a submersão de boa parte da mata galeria (**Figura 11**). A área destes depósitos delimitada na margem direita do rio Araguaia, atinge 11ha. Depois destes dois eventos catastróficos, a voçoroca começou a evoluir gradativamente, principalmente por piping, crescendo bastante rapidamente nos primeiros anos e diminuindo depois seu ritmo, atingindo 1300 m de comprimento em 2000. O volume de material erodido nestes quinze anos de existência da voçoroca foi calculado em 229.906 m³.

O delta do córrego (**Figura 9**) que aparece em bege claro a jusante do canal não corresponde a depósitos mas à presença de areia lavada na superfície do solo e à quase ausência de vegetação. Corresponde à área submersa por uma lâmina de água que transborda do canal durante a estação de chuva.

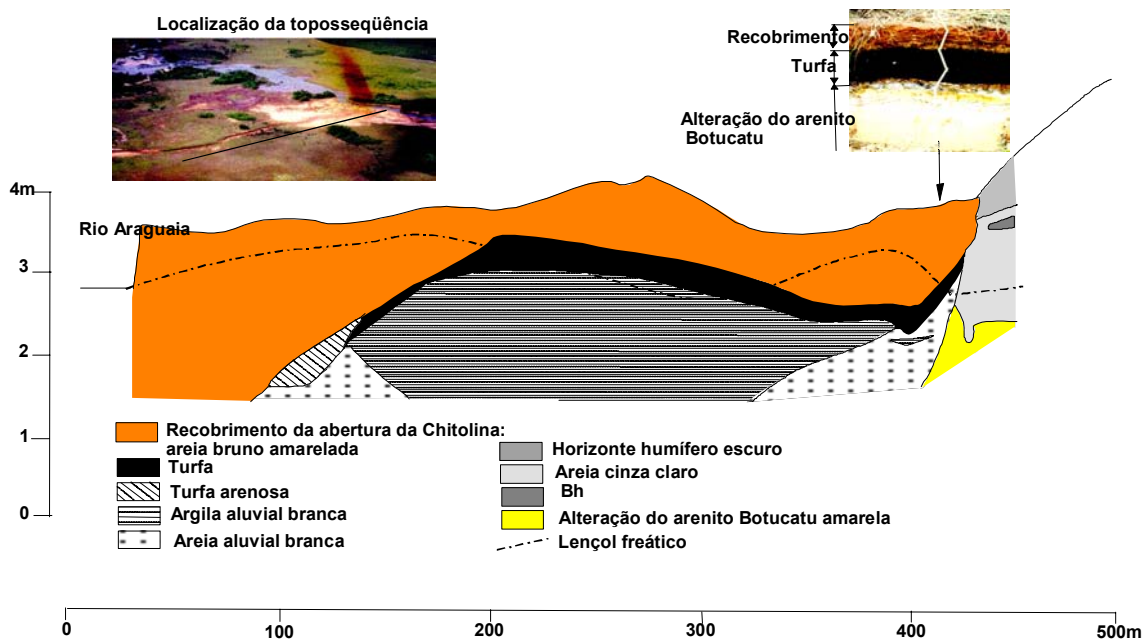


Figura 10. Toposequência na várzea do Rio Araguaia, margem direita do exutório da Chitolina.

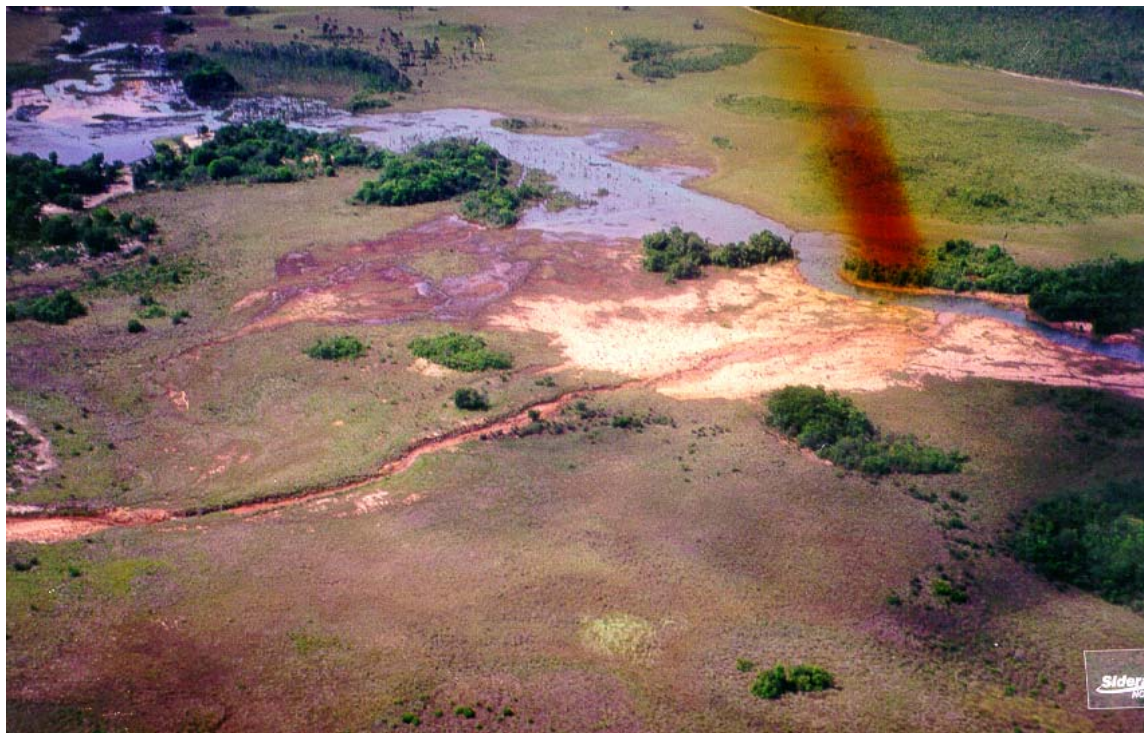


Foto 11. Mata galeria submersa pelo desvio de curso do Rio Araguaia.

5. Gênese e evolução da voçoroca Chitolina

Na área onde hoje se encontra a voçoroca, a cultura da soja começou em 1981 com a utilização de curvas de contenção destinadas a eliminar o escoamento superficial e a erosão. A vegetação inicial era o cerrado, com predominância de gramíneas e, no período de introdução da agropecuária, houve relativamente poucas mudanças no ecossistema, particularmente no que se refere à pastagem, já que o cerrado era utilizado como pasto. A maior alteração foi provocada pelas trilhas de gado e caminhos e estradas que concentram as águas de escoamento superficial e provocam ravinamento. Mas, como a Chitolina não começou por uma ravina, podemos eliminar os fatores acima como causa da formação desta voçoroca.

As fotos aéreas de 1964 e 1977 mostram que, próximo da extremidade jusante de onde é hoje a voçoroca, havia um talvegue por onde corriam as águas pluviais. Estas fotos mostram também que a vegetação predominante era de campo limpo (pasto?), entremeada com áreas de campo sujo e capões de mato.

Segundo as declarações do ex-proprietário da área onde se encontra a voçoroca, “a Chitolina,

iniciou-se, da noite para o dia, em decorrência de uma chuva muito intensa. A utilização da área, para o plantio de soja, tinha sido iniciada dois anos antes. Nos anos de 1981 e 1982, as chuvas foram menos intensas e as curvas de nível baixas e com 2% de declividade suportaram bem as chuvas. Com as chuvas mais intensas do ano seguinte, as curvas foram levadas pelas águas e a voçoroca iniciou-se, em dezembro de 1983 com aproximadamente 150 m de extensão X 6m de profundidade e 8m de largura. No verão seguinte (1984/85) a voçoroca atingiu 300m de comprimento X 8m de profundidade e 10m de largura.”

O acompanhamento das imagens de Landsat, de 1984 a 1999, mostra que a Chitolina só é visível, na escala 1:100.000, em 1988; fica bem claro nesta imagem, e nas que a sucedem, que a voçoroca é marcada pelo córrego que passa a existir em seu fundo. O mapa planialtimétrico da área, assim como as fotos tomadas do avião, mostram que a Chitolina comporta mais de uma direção, chegando a apresentar uma forma meandrante em sua metade inicial.

Comparando uma fita vídeo de um vôo de 1995, com as fotos aéreas batidas em 2000, pode-se constatar que a voçoroca cresceu muito pouco longitudinalmente desde 1995 ou mesmo antes. Somente dois divertículos (A e B na **Figura 12**) existentes em 1995 cresceram com um estreito mas profundo entalhe. Um destes (A) atinge o pé da curva de nível e se formou depois da construção desta. Considerando que as curvas de contenção altas foram estabelecidas em 1997, papel destas curvas de contenção na quase parada do crescimento longitudinal da voçoroca permanece duvidoso. Um outro fator que pode ter diminuído o crescimento da voçoroca é que esta atingiu o material argilo-arenoso (25-40% de argila). Com efeito, os dois divertículos que cresceram estão do lado arenoso (**Figura 12**). A textura arenosa pode favorecer o voçorocamento, mas não parece ser determinante, como visto na voçoroca Olho d'Água.

6. Conclusões

No caso da voçoroca Chitolina, é provável que durante as chuvas excepcionais do verão 1983-84, a sobrealimentação do lençol tenha provocado a fluidificação do armazém do lençol no eixo de drenagem pluvial, provocando a corrida de lama e abrindo o primeiro estágio de abertura. A voçoroca Chitolina começou então por um processo cataclísmico que se repetiu no verão de 1984-85. Isso é um fenômeno raro e dificilmente previsível, que aconteceu também com a voçoroca Olho d'água.

Atribuímos as duas corridas de lama, que abriram a Chitolina, à sobrecarga do lençol devido aos

altos índices pluviométricos e às curvas de contenção que aumentaram a infiltração, deixando claro que isso não significa que estas curvas não permaneçam indispensáveis para impedir o ravinamento.



Figura 12. Vista longitudinal da voçoroca Chitolina, com os divertículos designados pelas letras A e B.

Foi constatado que o crescimento longitudinal da Chitolina quase parou entre 1995 (ou possivelmente antes) e 2000 o que mostra que as curvas de nível altas construídas em 1997, a montante da cabeceira, não tiveram um papel importante nesta parada.

A importância relativa dos dois mecanismos de evolução da voçoroca (ação do lençol freático e ação das águas superficiais) permanece desconhecida. A determinação é difícil, mas tem uma grande importância para a concepção de obras de contenção.

As evidências de processos de erosão interna no solo (piping), relacionados à ocorrência frequente de voçorocas em cabeceiras de drenagem e junto a fundo de vales, mostram a necessidade de pesquisas que subsidiem a compreensão das condições de seu desenvolvimento, especialmente aquelas relacionadas ao comportamento hídrico das vertentes. São praticamente ausentes na literatura especializada trabalhos que procuram identificar o comportamento diferenciado das águas superficiais e subsuperficiais em vertentes. Neste sentido, tendo em vista que a frequência das precipitações e os totais pluviométricos interferem nas oscilações do lençol freático e, portanto, no surgimento e desaparecimento de piping nas erosões lineares, e como potencialmente o nível do lençol está mais alto nos períodos chuvosos, são estes os períodos mais indicados para análise da dinâmica erosiva associada aos processos de piping.

Referências

- BACELLAR, L. A. P. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos e geotécnicos dos mecanismos de voçorocamento na bacia do rio Maracujá, Ouro Preto, M.G.** 2000. 226 p. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- BACELLAR, L. A. P.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, L. C. Fatores condicionantes do voçorocamento na bacia hidrográfica do Rio Maracujá, Ouro Preto, Minas Gerais. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001. CD-ROM.
- BARBALHO, M. G. S.; CAMPOS, A. B. Relações entre o relevo e as ocorrências erosivas na zona da alta bacia do Rio Araguaia (GO/MT). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7., 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGE, 2001. CD-ROM.
- CHRISTOFOLETTI, A. O fenômeno morfogenético de Campinas. **Notícia Geomorfológica**, v. 8, n. 16, p. 3-92, 1968.
- DAEE/IPT. **Controle de erosão: bases conceituais e técnicas; diretrizes para o planejamento urbano e regional; orientações para o controle de voçorocas urbanas.** São Paulo: Secretaria de Energia e Saneamento, Departamento de Águas e Energia Elétrica, 1989. 92 p.
- FILIZOLA, H. F. **Classificação dos domínios pedomorfoagroclimáticos e avaliação de riscos potenciais contraminação de águas subterrâneas Aquífero Guarani.** Relatório final do subprojeto. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2001.

FOLQUE, J. Erosão interna em solos coesivos, filtros de proteção. **Geotecnia**: Revista da Sociedade Portuguesa de Geotecnia, v. 20, p. 35-50, 1977.

FURLANI, G. M. As boçorocas de Casa Branca e seu significado geomorfológico. **Geomorfologia**, v. 10, p. 12-15, 1980.

HSU, S. J. C. Aspectos de erosão interna ou "piping" em solos argilosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 6., 1978, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS, 1978. v. 1, p. 101-122.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Orientações para o combate à erosão no Estado de S. Paulo, Bacia do Peixe - Paranapanema**. São Paulo, 1986. 6 v. (IPT. Relatório, 24739).

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo Bacia do Baixo Tietê**. São Paulo, 1988. 3 v. (IPT. Relatório, 26 339).

MEIS, M. R. M.; COELHO NETTO, A. L.; MOURA, J. R. J. As discontinuidades das formações colúvias como condicionantes dos processos hidrológicos e de erosão linear acelerada. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 1985, Maringá. **Anais...** Maringá: ABGE, 1985. v. 1, p. 179-189.

MOREIRA, R. A. **Aqüífero Guarani**: caracterização agrícola das áreas de recarga na região de Mineiros-GO. 1999. 61 p. Trabalho de Graduação - Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior de Mineiros, Mineiros, 1999.

OKA-FIORI, C.; SOARES, P.C. Aspectos evolutivos das vossorocas. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 3, p. 114-124, 1976.

OLIVEIRA, M. A.; MEIS, M. R. M. Relações entre a geometria do relevo e formas de erosão linear acelerada (Bananal, SP). **Geociências**, v. 12, p. 87-99, 1985.

OLIVEIRA, A. M. dos S.; SALOMÃO, F. X. de T. (Coord.). Erosão e assoreamento. In: INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Tecnologia, ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: IPT, 1992. p. 47-54.

PARZANESE, G. **Gênese e desenvolvimento das voçorocas em solos originados de rochas granitóides da região de Cachoeira do Campo, M.G.** 1991. Dissertação (Mestrado) - UFV, Viçosa, 1991.

PRANDINI, F. L. Occurrence of boçorocas in Southern Brazil geological conditioning of environmental degradation. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ENGINEERING GEOLOGY, 2., 1974, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: ABGE, 1974. v. 1, T-III-36.

RODRIGUES, J. E. **Estudo de fenômenos erosivos acelerados, boçorocas**. 1982. 162 p. Tese (Doutorado) - USP/ Escola de Engenharia, São Carlos, 1982.

RODRIGUES, J. E. **Estudo geotécnico de fenômenos erosivos acelerados (boçorocas)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 4., 1984, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABGE, 1984. v. 2, p. 169-182.

SALOMÃO, F. X. de T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP)**: regionalização cartográfica aplicada ao

controle preventivo urbano e rural. 1994. 199 p. Tese (Doutorado) - USP-FFCL, Departamento de Geografia, São Paulo, 1994.

SETZER, J. **Os solos do Estado de São Paulo**: relatório técnico com considerações práticas. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1949. 387 p. (Bibliografia Geográfica Brasileira. Publicação, 6).

SILVA, T. H. **Evolução geomorfológica e sedimentação de canais erosivos holocênicos no médio vale do rio Paraíba do Sul**. 1991. 166 p. Dissertação (Mestrado) - UFRJ-IGC, Rio de Janeiro, 1991.

SILVA, T. R. M. **Caracterização e erodibilidade dos solos de uma voçoroca na região de Ouro Preto, Minas Gerais**. 2000. 107 p. Dissertação (Mestrado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.

VIEIRA, N. M. **Estudo geomorfológico das boçorocas de Franca**. 1978. 226 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Franca, 1978.

USO DO GEOPROCESSAMENTO NA ANÁLISE DE BACIAS DE DRENAGEM

MARIA VICTORIA RAMOS BALLESTER^{1*}

ALEX VLADIMIR KRUSCHE^{2**}

ANDRÉ TOLEDO^{1***}

JEAN PIERRE B. OMETTO^{2****}

REYNALDO L. VICTORIA^{1,2*****}

¹Laboratório de Geoprocessamento - CENA/USP
Av. Centenário, 303 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil
*vicky@cena.usp.br

²Laboratório de Ecologia Isotópica - CENA/USP
Av. Centenário, 303 - 13416-000 - Piracicaba - SP, Brasil
{** alex, *** atoledo; **** jean, ***** reyna@cena.usp.br}

Resumo. A bacia do rio Piracicaba é um exemplo típico de como as mudanças na paisagem resultantes do desenvolvimento das regiões tropicais e sub-tropicais vêm resultando em um aumento significativo da demanda de água e a um decréscimo na sua qualidade. Neste trabalho são apresentados os resultados de uma série de estudos realizados nesta bacia, através do uso de uma análise integrada das características da paisagem, para avaliar o efeito das mesmas na qualidade de suas águas. Para entender as complexas relações ambientais existentes entre as mesmas, foi desenvolvido um arcabouço metodológico combinando o uso de técnicas de geoprocessamento para a análise espacial e parâmetros de qualidade das águas em escala regional.

Palavras-chave: geoprocessamento, bacias de drenagem, biogeoquímica, rios.

1- INTRODUÇÃO

Uma paisagem, definida como uma área terrestre heterogênea composta de um agregado de ecossistemas interativos que se repete de forma similar (Forman, 1997), reflete processos geomorfológicos, climáticos, estabelecimento da biota e especiação, desenvolvimento do solo e perturbações. Paisagens podem ser diferenciadas através das relações espaciais de suas partes componentes e caracterizadas tanto pela composição quanto pela configuração (Turner, 1989;

Dunning et al., 1992). Estas duas características podem afetar a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas de modo isolado ou conjuntamente (McGarical & Marks, 1995). Em uma paisagem, os ecossistemas aquáticos e terrestres estão interligados pelo movimento da água no ciclo hidrológico, derivando o conceito do rio como uma função da paisagem ao longo da qual flui (Ward, 1994; Hasler, 1975). Portanto, pode-se assumir que características da paisagem que descrevem a quantidade e o arranjo espaço-temporal das alterações humanas da bacia de drenagem proporcionam uma forma direta de quantificar os impactos antrópicos e podem ser correlacionadas com a composição química das águas superficiais (Gergel et al., 2002).

Desde o início da revolução industrial, a distribuição da água doce na superfície terrestre tem sofrido modificações devido ao manejo humano dos recursos hídricos e às alterações provocadas pelo uso da terra (urbano e rural) no fluxo, armazenamento e qualidade da água (L'vovich et al., 1995). As conseqüências das mudanças do uso e cobertura do solo na dinâmica fluvial foram documentadas em estudos realizados, majoritariamente, em rios de pequeno porte do hemisfério norte. Nestes observou-se, por exemplo, que o corte das florestas pode aumentar o aporte de cátions (Likens et al., 1970) e nitrato (Likens et al., 1969). Córregos que drenam terras com pastagens misturadas a cultivo de grãos normalmente carregam mais nitrato que similares em áreas florestadas (Taylor et al., 1971; White et al., 1981; Correl, 1983), enquanto o aporte de fósforo da bacia de drenagem em locais onde há florestas e pastagens é maior do que onde existem somente florestas (Dillon & Kirchner, 1974; Lenat & Crawford, 1994). Com a retirada das florestas para o uso agrícola da terra, há aumento do aporte de sedimentos aos cursos d'água (Lull & Sopper, 1969), que podem carrear consigo fósforo (Dorich et al., 1984) e compostos orgânicos (Hobbie & Likens, 1973). Também o transporte de carbono orgânico dissolvido pode aumentar significativamente logo após o corte da floresta (Meyer & Tate, 1983). Mudanças na quantidade e qualidade da matéria orgânica transportada pelos rios podem, em última instância, afetar a distribuição das comunidades aquáticas (Vanote et al., 1980).

Nas regiões tropicais, apesar de existirem um número menor de estudos, os resultados obtidos até o momento demonstram uma clara influência das mudanças do uso e cobertura do solo na composição química dos rios (Krusche et al., 1997; Ballester et al., 1999) e de sua biota (Ometto et al., 2001), em escalas locais (Toledo, 2002) e regionais (Ballester et al., no prelo). Por outro lado, estas regiões apresentam uma excelente oportunidade para entender como estes processos estão influenciando a qualidade e os fluxos de água, devido às extensas modificações

no uso e cobertura do solo que vêm ocorrendo nas últimas décadas. A bacia do rio Piracicaba é um exemplo típico de como as mudanças na paisagem resultantes do desenvolvimento destas regiões vêm resultando em um aumento significativo da demanda de água e a um decréscimo na sua qualidade. Neste trabalho, são apresentados os resultados de uma série de estudos realizados nesta bacia, através do uso de uma análise integrada das características da paisagem, para avaliar o efeito das mesmas na qualidade de suas águas. Para entender as complexas relações ambientais existentes, foi desenvolvido um arcabouço metodológico combinando o uso de técnicas de geoprocessamento para a análise espacial e parâmetros de qualidade das águas em escala regional.

Geoprocessamento pode ser definido como uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de várias áreas do conhecimento humano para o estudo de fenômenos espacialmente distribuídos. O geoprocessamento integra a cartografia automatizada, sistemas de manipulação de banco de dados e o sensoriamento remoto, com um desenvolvimento metodológico em análise geográfica para produzir um conjunto distinto de procedimentos analíticos com base em um banco de dados único, georeferenciado e integrado. Para tal, são utilizadas ferramentas matemáticas e computacionais para adquirir, processar e analisar dados espacialmente distribuídos. Estas ferramentas, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs), permitem adquirir, armazenar, manipular, integrar e expor dados ambientais. Para tal, são desenvolvidas uma série de atividades organizadas, utilizadas para medir aspectos dos fenômenos e processos geográficos, representar estas medidas, operar e transformar estas representações permitindo a modelagem e a simulação de eventos. Técnicas de geoprocessamento são, portanto, de extrema utilidade no estudo de bacias de drenagem, podendo ser usadas para caracterizar e descrever os processos físicos e antrópicos agindo na mesma como será exemplificado a seguir.

2-METODOLOGIA

2.1- Descrição da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba, localizada na região sudeste do Brasil (**Figura 1**), é um exemplo típico de como a ocupação do solo resultante do desenvolvimento em regiões tropicais tem resultado em um aumento na demanda de água (Moraes et al., 1998) associado a um empobrecimento na qualidade da mesma (Krusche et al., 1997; Ballester et al., 1999; Martinelli

et al., 1999; Daniel et al., 2002). Cobrindo uma área de 12.400 km², a bacia era ocupada por cerca de três milhões de habitantes em 2001, distribuídos heterogeneamente ao longo de 61 municípios. A ocupação do solo é desuniforme, com 91% da população concentrada em centros urbanos e 9% em áreas rurais. Mesmo no caso dos centros urbanos, observa-se uma concentração na porção central da bacia, onde vivem 67% da população urbana. As atividades econômicas são também heterogêneas, com áreas dominadas pela agricultura e outras por indústrias. Uma população em expansão, combinada com um contínuo desenvolvimento nos setores agrícola e industrial, são responsáveis por profundas mudanças no uso e cobertura do solo que, por sua vez, causam impactos severos nos ecossistemas aquáticos (Ballester et al., 2002).

O clima da bacia do rio Piracicaba, segundo o sistema Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco em que a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18° C e no mês mais quente ultrapassa os 22° C. O índice pluviométrico deste tipo climático varia entre 1.100 e 1.700 mm e a temperatura no mês mais quente oscila entre 22 e 24° C.

2.2- Análise da bacia de drenagem

As características físicas da bacia de drenagem foram derivadas das bibliotecas digitais georeferenciadas, compiladas no Projeto PiraCena (www.cena.usp.br/piracena), através do uso do Sistema de Informações Geográficas Arc-Info (ESRI, 1997) e dos Processadores de Imagem Erdas-Image e Spring. Os planos de informação empregados incluíram: o modelo digital de elevação do terreno, a rede de drenagem e a localização dos pontos amostrais, solos e uso e cobertura do solo. A base cartográfica utilizada foi composta pelas Cartas do Brasil, escala 1:50000 (IBGE, 1980). Para a obtenção e análise das características ambientais, a mesma foi dividida em setores (ou trechos) de acordo com a localização dos 10 pontos (**Figura 1**) de medidas da composição biogeoquímica e do fluxo de água, utilizando-se o modelo digital de elevação do terreno, distribuídos da seguinte forma: três nos rios Atibaia e Piracicaba, dois no Jaguarí e um no Camanducaia e no Corumbatai. Cada setor compreende a porção do rio entre os pontos amostrais. Estes pontos se distribuem ao longo de um gradiente de ambientes com características físicas, bióticas e antrópicas distintas.

As cartas referentes ao levantamento de reconhecimento dos solos do Brasil, escala 1:500.000, foram digitalizadas manualmente.

Os mapas de uso do solo de 1985, 1993 e 1997 foram obtidos pela classificação digital de

duas cenas de Landsat5- sensor Thematic Mapper. Uma descrição detalhada da metodologia para obter os mapas pode ser obtida em Ballester et al. (2002). Em linhas gerais, foram utilizados os seguintes procedimentos: 1- correções geométrica e radiométrica das imagens; 2- segmentação das imagens corrigidas para extração dos objetos relevantes pela divisão da mesma em regiões que correspondem às áreas de interesse; 3- classificadas supervisionadamente das imagens segmentadas nas classes de uso: água, urbanização, cana-de-açúcar, pasto, silvicultura, floresta, culturas anuais, culturas perenes, solos expostos e outros. Os mapas de uso foram então submetidos à análise de acurácia. A precisão de classificação do usuário foi 88,6%.

A distribuição do uso do solo em cada setor de drenagem foi avaliada a partir do mapa de uso do solo de 1997. Para cada setor, foram extraídas e calculadas as áreas de cada um dos tipos de uso da terra. O mapa de uso do solo em 1978, obtido pela digitalização manual das cartas de uso do solo do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, escala 1:250.000. A malha municipal digital (IBGE, 1996), com a situação em 1994, escala 1:500.000, foi adquirida junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A área referente à bacia de drenagem do rio Piracicaba foi extraída e projetada de modo a ser incorporada ao banco de dados digital georeferenciado. Esta foi utilizada para espacializar os dados dos censos populacionais.

Cada um dos setores de drenagem foi individualmente caracterizado em termos da topografia (delta altitude e declividade), solos, estrutura da rede de drenagem (densidade, frequência e número de confluências), população (densidade demográfica), uso e cobertura do solo e composição biogeoquímica das águas superficiais.

2.3- Composição Biogeoquímica dos sistemas fluviais

A composição biogeoquímica dos principais tributários da bacia do rio Piracicaba foi determinada entre junho de 1995 e setembro de 1997, ao longo de 10 pontos de coleta (**Figura 1**), totalizando 40 amostragens, 16 realizadas durante o período chuvoso e 24 no período seco. As amostras de água para análise química foram coletadas na superfície e no meio do canal com o auxílio de uma garrafa de Niskin. Imediatamente após a coleta, as amostras foram filtradas em filtros de fibra de vidro pré-calcinados (0,7 µm, GF/F) para análise do carbono orgânico dissolvido e em filtros de acetato de celulose (0,45 µm) para as determinações inorgânicas. Após a filtração, todas as alíquotas foram acondicionadas em caixas de isopor contendo gelo. No campo, foram determinados o pH, com o auxílio de um medidor Orion 250A, a condutividade

com um condutivímetro Amber Science 2052 e a temperatura, determinados com um medidor Yellow Springs 58. Os íons maiores e nutrientes inorgânicos (nitrato, sulfato, cloreto cálcio, magnésio, sódio, potássio e amônio) foram determinados em um período de até 24 horas após a coleta das amostras, utilizando um cromatógrafo de íons modelo LC-10AD. As amostras de água para a determinação dos sólidos totais em suspensão foram coletadas no meio do canal com um amostrador que integra profundidade. Após a homogeneização com um “splitter” do US Geological Survey , 1 a 2 L de água foram coletados. No laboratório, 0,5 a 1 L de água foram filtrados em filtros de acetato de celulose pré-pesados. Após secagem do filtro a peso constante, a concentração de sedimentos foi determinada gravimetricamente.

2.4- Análise estatística

A identificação das correlações estatisticamente significativas entre os componentes estruturais e funcionais da bacia e a composição química foi efetuada através do uso do teste estatístico não paramétrico de Spearman (no nível de 95 % de certeza). Os testes foram aplicados para as seguintes variáveis: declividade média do setor, densidade de drenagem e percentual de área coberta por cada tipo de uso do solo.

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1- Caracterização física da bacia de drenagem do rio Piracicaba

Em termos geomorfológicos, a bacia do rio Piracicaba pode ser dividida em dois grandes setores (São Paulo, 1991): à montante de Campinas predominam as rochas cristalinas e, na porção restante, as rochas sedimentares e intrusivas da depressão periférica. O primeiro setor geomorfológico estende-se desde as cabeceiras até a porção média. A análise do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) indica que o relevo é montanhoso e acidentado nestas áreas, com altitudes entre 2.059 metros a.n.m. nas cabeceiras, podendo atingir até 700 metros nos fundos dos vales (**Tabela 1**). A declividade média do terreno varia entre 8,5 e 10,1 graus. O relevo alto e inclinado, determina uma rede de drenagem do tipo treliçada muito densa, com frequência e a densidade de confluências elevadas e predomínio dos córregos de baixa ordem, conforme indicado pela análise digital da rede de drenagem (**Figura 2**). A largura do canal dos principais tributários (rios Atibaia, Jaguarí e Camanducaia) varia entre 40 e 75 metros. À medida que o rio avança no segundo setor geomorfológico, o qual corresponde aos terrenos sedimentares

que formam a depressão periférica, o relevo torna-se do tipo colinoso, com cotas variando de 700 metros até pouco abaixo de 500 metros de altitude. A declividade média diminui para valores entre 6,4 a 7,8 graus e a rede de drenagem torna-se menos densa e dendrítica. A frequência e o número de confluências também diminuem e a paisagem passa a ser dominada por canais maiores, formando um canal principal com largura superior (83 a 99 metros). O limite oeste da bacia é constituído por relevo característico de transição, com cuevas ou escarpas festonadas de declividade média entre 4,7 a 6,7 graus. A rede de drenagem é predominantemente do tipo dendrítica, apresentando os menores valores de densidade, frequência e densidade de confluência do sistema. Em termos de variabilidade nas características físicas observa-se que a maior parte desta ocorre nos primeiros quatro setores amostrais, em trechos de 100 a 200 quilômetros de comprimento.

Uma série de reservatórios nos rios Cachoeira, Atibaia e Jaguari (**Figura 2**), usados para regular a descarga do rio e para transferir água para a região metropolitana de São Paulo, foi construída nas décadas de 70 e 80. Este sistema, chamado de Cantareira, exporta, em média, $31 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ de água da bacia. Como resultado, existe uma tendência, estatisticamente significativa, de decréscimo na descarga na região das cabeceiras (Moraes et al., 1998).

A análise do mapa de solos da área de estudo, indica que a mesma abrange vinte unidades de mapeamento, representadas pelas classes dos Latossolos, Podzólicos, Podzolizados, Litossolos, Regossolos, Hidromórficos, Aluvionais e Mediterrâneos. A porcentagem de ocupação de cada unidade mapeada mostra que os Latossolos Vermelho-Amarelo, Podzólicos Vermelho-Amarelo e Podzólicos Vermelho-Amarelo variação Laras são os mais expressivos em área, e correspondem a aproximadamente um terço do total mapeado. Os Regossolos, Podzolizados variação Marília, Latossolos Vermelho-Amarelo intergrade, Podzólico Vermelho-amarelo e os Mediterrâneos Vermelho-Amarelo são os menos expressivos, onde cada unidade ocupa menos de 1% da área mapeada (**Figura 4**). Espacialmente, a distribuição é relativamente homogênea com um predomínio dos latossolos (50 a 74% da área) seguida dos Podzólicos (12 a 45%) e Litossolos (5 a 12 %). No sistema 2 também predominam os Latossolos, com 64 % da área mapeada, seguidos pelos Podzólicos que ocupam 30% da área. A única exceção é o setor 3, onde os Podzólicos ocupam 71 % da área mapeada e os Latossolos 24 %.

Outra característica importante da bacia de drenagem, que pode ter papel importante na determinação da qualidade da água, é a ocorrência de erosão e conseqüente arraste de material

pelo escoamento superficial para os rios. Cerri et al. (2002) demonstraram que mudanças no uso do solo podem resultar em um aumento do risco potencial de erosão. Utilizando técnicas de geoprocessamento e a Equação Universal de Perda de Solos, estes autores constataram que na bacia do rio Piracicaba os riscos de erosão mais acentuados estão localizados, principalmente, em duas áreas: ao redor do eixo de maior desenvolvimento urbano (entre as cidades de Piracicaba e Campinas) e próxima às nascentes dos rios que compõem a bacia. Na primeira região mencionada, o maior risco se deve, provavelmente, à inadequação da cultura implantada ao tipo de solo existente. Exemplo disso é a exposição de solos de textura arenosa às chuvas, especialmente sob o cultivo da cana-de-açúcar, que, em seu estágio inicial de desenvolvimento, não oferece uma boa cobertura vegetal. As causas do risco de erosão elevado, na área próxima às nascentes, estão relacionadas à interação dos agentes: relevo acidentado, solos pouco profundos, pastagem mal manejada (algumas vezes bastante degradada) e pluviosidade concentrada. A análise do efeito das mudanças do uso da terra também é evidenciada quando os autores compararam dois anos distintos, 1978 e 1993. Neste período, 9 a 12% das áreas com risco baixo em 1978 passaram para risco médio ou elevado de erosão em 1993. Esta diferença foi atribuída, em grande parte, às mudanças no uso da terra entre os anos de 78 e 93, principalmente pela expansão no cultivo da cana-de-açúcar, e diminuição nas áreas ocupadas por pastagem.

3.2- Evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo

A **Figura 3** apresenta os mapas de uso do solo na bacia do rio Piracicaba em 1978, 1985, 1993 e 1997. Os valores das áreas em percentuais são apresentados na **Tabela 1**. Em termos gerais, as mudanças no uso e cobertura do solo ocorridas entre 1978 e 1997 tiveram como consequência um aumento nas áreas com plantio de cana-de-açúcar e uma diminuição das áreas com pastagens. Culturas perenes e anuais também sofreram intenso processo de retração, enquanto a silvicultura apresentou um pequeno aumento.

De acordo com Ballester et al. (2002), a evolução temporal da cobertura do solo na bacia do rio Piracicaba está associada principalmente com os ciclos econômicos da cana-de-açúcar. Estes autores argumentam que a expansão no plantio da cana-de-açúcar observada entre 1978 e 1997, é consistente com os dados da produção de álcool da região centro-sul do país, área na qual está inserida a bacia do rio Piracicaba. No biênio 1978-1979, foram produzidos 2.079.352 m³ de álcool, valor este que aumentou 4,7 vezes no biênio 1985-1986, 1,12 vezes em 1993-1994 e 1,28

vezes em 1996-1997, quando foi atingido o valor de 12.113.607 m³ (Pinazza & Alimandro, 2000). Além de incentivos econômicos oferecidos pelo governo, o plantio de cana-de-açúcar apresenta vantagens econômicas sobre outras culturas anuais e perenes. A expansão menos acentuada observada na década de 90 está associada com o início do declínio deste programa. Ao mesmo tempo, observa-se que o plantio de citros passa por ciclos rápidos de expansão e retração, os quais estão associados às demandas do mercado internacional, decorrentes das condições climáticas adversas que ocorrem em outras regiões produtoras de laranja no mundo. No caso da silvicultura, o aumento observado no final da década de 90 está associado à instalação e ao crescimento da indústria de papel e celulose na região.

Contudo, é importante lembrar que as mudanças no uso do solo não são determinadas apenas pelos ciclos econômicos aos quais uma dada região está submetida. Fatores físicos, como por exemplo clima, solos e topografia da região também são determinantes dos padrões observados. Como exemplo, podemos citar o caso do cultivo de cana-de-açúcar. Em 1997, 97% do mesmo estava restrito às regiões com declividades menores que 20%.

A bacia do rio Piracicaba apresenta, atualmente, diferenças marcantes em termos de uso e ocupação do solo. Historicamente, o uso inicial da terra foi semelhante em toda a área. Porém, ao longo das últimas décadas, a região das cabeceiras passou a apresentar um padrão distinto do observado na região central e à jusante. Segundo São Paulo (1993), no início do século XIX aproximadamente 82% da área de estudo era coberta por florestas. Neste período é observada a primeira mudança no uso e cobertura do solo, a substituição da floresta por plantações de café. A diferenciação na distribuição espacial do uso das terras ocorre na segunda década deste século quando o café foi substituído por cana-de-açúcar na região da depressão periférica central, a qual tornou-se a cultura predominante até o presente momento. Nas nascentes, porém, as culturas de café foram suplantadas por pasto, principalmente nos anos 60. Por sua vez, as pastagens vêm sendo gradualmente substituídas por silvicultura, a partir da segunda metade da década de 90 nesta região.

Em termos gerais, os processos de expansão e retração dos diferentes usos e coberturas do solo, ocorridos entre 1978 e 1997, tiveram como consequência um aumento na fragmentação da paisagem do rio Piracicaba (**Tabela 2**). O número de fragmentos praticamente dobra entre 1978 e 1985, a área média dos mesmos diminui 1,95 vezes, a densidade de fragmentos dobra e a diversidade cai de 1,46 para 0,16. As métricas de área basal apresentam o mesmo tipo de

comportamento, aumentam em número e densidade, mas diminuem em termos de área média. O pequeno aumento no índice do maior fragmento pode ser associado com a expansão da cana-de-açúcar na porção central, que domina esta região, formando um grande fragmento. O aumento observado no índice de formas indica que os mesmos se tornam ainda mais irregulares. Entre 1985 e 1993, observa-se uma pequena retração no processo de fragmentação, diminuem o número de fragmentos e aumentam a área média, a densidade e o índice de diversidade. Os valores de área basal acompanham esta tendência e os fragmentos permanecem irregulares. Em 1997, novamente observa-se um aumento acentuado na fragmentação, o número de fragmentos é 1,7 vezes maior do que em 1993 (3 vezes maior do que em 1978), atingindo o maior valor do período de estudo, 12.276. A área média de cada fragmento cai para 1,03 km², e a densidade aumenta para 0,097. Um fato interessante é o aumento no índice de diversidade, o qual pode ser associado com expansões simultâneas das áreas de silvicultura e floresta e, em menor grau das culturas perenes e anuais.

Outro padrão espacial interessante observado na área de estudo é a concentração dos grandes centros urbanos a partir do início da depressão periférica central (**Figura 4**). A análise dos dados censitários indicou que, nos últimos 41 anos, a distribuição espacial da população na bacia do rio Piracicaba permaneceu praticamente inalterada. Os 2.800.000 habitantes estão heterogeneamente distribuídos ao longo da bacia, com a maior parte da população (67%) concentrada nas áreas urbanas localizadas ao longo do canal do rio na porção central, nos 11 municípios mais industrializados: Campinas, Piracicaba, Limeira, Americana, Rio Claro, Santa Bárbara do Oeste, Sumaré, Bragança Paulista, Itatiba, Valinhos e Atibaia. A rede de drenagem representa uma fonte conveniente de água potável, bem como um depósito para os rejeitos das atividades industriais e domésticas (lançamento de esgotos). Outro fator importante na determinação dos padrões de distribuição espacial da população na bacia é a topografia. Na região das cabeceiras e na porção oeste, onde o terreno é mais acidentado, a densidade demográfica é baixa, 68 habitantes por km², com predomínio das atividades silvopastoris. Na porção central, onde os vales são mais amplos e o terreno menos acidentado, a população aumenta consideravelmente, atingindo a densidade demográfica mais elevada de toda a bacia, 250 habitantes por km², e as atividades agro-indústrias passam a ser predominantes. A área de transição na porção noroeste da bacia apresenta uma densidade demográfica intermediária de 106 habitantes por km². Uma relação inversa, estatisticamente significativa, foi observada entre a declividade do terreno e o número de

habitantes ($R_s = -0,70$, $p < 0,05$) e o delta altitude e o número de habitantes ($R_s = -0,86$, $p < 0,01$).

3.3- Composição biogeoquímica das águas superficiais

As concentrações médias dos analitos estudados observadas nas estações de amostragem nos períodos de seca e cheia são apresentadas na **Tabela 3**. Os valores médios de condutividade, sulfato, cloreto, sódio, cálcio e nitrogênio inorgânico dissolvido foram estatisticamente distintos quando comparados com aqueles do período chuvoso para $<0,01$. As concentrações médias dos solutos foram, em geral, 1 a 2 vezes maiores durante o período seco. Estudos prévios efetuados na bacia do rio Piracicaba (Martinelli et al., 1999a) demonstraram que íons conservativos apresentam uma correlação inversa com a descarga do rio, efeito este resultante da mistura de três fontes distintas. Durante o período chuvoso, água de precipitação empobrecida em íons e o escoamento superficial predominam. Durante a estação seca, águas enriquecidas em íons pela drenagem dos solos e o lançamento de efluentes domésticos tornam-se a fonte mais importante.

Durante ambos os períodos, o mesmo tipo de distribuição espacial foi observado ao longo da bacia, com as concentrações aumentando constantemente a partir das cabeceiras em direção à jusante. Um pequeno decréscimo foi observado na estação 7, o qual pode ser atribuído ao efeito do reservatório de Salto Grande localizado à montante deste ponto.

Em termos de qualidade da água, a análise da série histórica de 18 anos (Krusche et al., 1997) revelou que, especialmente, existe um decréscimo na mesma à medida que o rio progride em direção à foz, resultando em um aumento marcante na demanda bioquímica de oxigênio e nos teores de nitrato e carbono total, associados a uma queda nos teores de oxigênio dissolvido. Tais padrões resultam do lançamento de esgotos industriais e domésticos. Devido às entradas de esgoto, as concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), carbono inorgânico dissolvido (CID), e íons maiores e menores aumentam significativamente das cabeceiras rio abaixo (Ballester et al., 2002).

3.4- Efeitos das características da bacia na composição química das águas superficiais

A análise estatística efetuada evidenciou que a topografia apresenta uma relação significativa, negativa, com todos os parâmetros analisados, com exceção dos sólidos totais em suspensão (STS) (**Tabela 3**). Dois processos podem estar associados com este tipo de comportamento, a urbanização, em função das características do terreno, e as propriedades hidrológicas da área .

Uma boa correlação entre erodibilidade e STS ($R^2 = 0,69$, $p < 0,05$) foi obtida para o período de seca. Nenhuma correlação foi observada com o uso do solo para este parâmetro. Tais resultados permitem inferir que as características físicas, notadamente as propriedades do solo da bacia, têm papel predominante na determinação da quantidade de material em suspensão carregado pelo rio. A erodibilidade também apresentou uma boa correlação com os teores de cálcio, magnésio e condutividade, tanto no período de seca quanto no chuvoso (**Tabela 4**). Solos arenosos e práticas de manejo do solo, podem ser associados com estes resultados. Concentrações mais elevadas de cálcio e magnésio foram observadas nas áreas com predomínio de solos arenosos e o cultivo de cana-de-açúcar. O manejo do solo nestas áreas consiste, usualmente, na adição de calcário para a correção da acidez, que pode constituir uma fonte adicional destes íons para os rios.

3.5- Efeitos das mudanças no uso do solo na composição química das águas superficiais

As modificações no uso e cobertura do solo vêm sendo consideradas como um dos principais fatores que determinam mudanças na composição química das águas superficiais (Wear et al., 1998). A remoção das florestas nativas, associada à expansão das áreas agrícolas e urbanas resultam na alteração das entradas e ciclos de nutrientes e no regime hidrológico. Os resultados obtidos neste estudo indicam que as fontes pontuais de poluição, expressas como percentual de urbanização, representam a característica da paisagem que mais afeta a qualidade da água do rio. Estes resultados são comparativamente distintos quando comparados com os observados em estudos realizados em países desenvolvidos de regiões temperadas, nos quais as fontes não pontuais de poluição (áreas agrícolas) são o principal contribuidor da poluição (Naiman, 1995; Puckett, 1995).

A maior parte dos parâmetros analisados apresentou uma correlação estatisticamente significativa com o percentual de urbanização, tanto para o período de seca quanto para o de cheia. A expansão dos centros urbanos ocorre principalmente na porção central da bacia e está diretamente correlacionada com o aumento observado nas concentrações dos analitos estudados, com exceção do oxigênio dissolvido, que decresce. No período de seca, foi observada uma correlação estatisticamente significativa entre condutividade, sulfato, cloreto, sódio, cálcio, carbono inorgânico dissolvido, nitrogênio inorgânico dissolvido e urbanização ($p < 0,01$, **Tabela 5**). Entre os parâmetros analisados, cloreto, condutividade, sulfato e nitrogênio inorgânico

dissolvido foram os que melhor se correlacionaram com a urbanização em ambos os períodos hidrológicos. Estes resultados são consistentes com estudos prévios que identificaram o aumento da urbanização, e o conseqüente aumento da quantidade de esgotos domésticos lançados no rio, como o principal fator na determinação das concentrações destes elementos (Ometto et al., 2000; Ballester et al., 1999; Martinelli et al., 1999a).

Estudos semelhantes efetuados em duas microbacias do rio Piracicaba (das Cabras e Piracicamirim) apresentaram resultados semelhantes. Comparando a variabilidade da composição química e da comunidade de macroinvertebrados ao longo das mesmas, observou-se que a maior parte dos parâmetros analisados se correlacionam com o uso do solo da bacia de drenagem (Ometto et al., 2000; Toledo, 2001). De modo geral, o uso do solo na escala da microbacia de drenagem é uma boa característica para prever a composição química do rio, especialmente para condutividade e íons maiores. Como um todo, a urbanização causou um impacto maior na qualidade da água do rio do que as atividades agrícolas de plantio de cana-de-açúcar e pastagem.

Para detectar o efeito da substituição da floresta por cana-de-açúcar e pasto e assumindo que a vegetação da bacia de drenagem é a principal fonte de material orgânico particulado para os rios, Martinelli et al., (1999b) acoplaram técnicas de geoprocessamento e traçadores isotópicos (composição isotópica estável do carbono da matéria orgânica particulada do rio $\delta^{13}\text{C-MOP}$). Desta forma, os autores foram capazes de demonstrar que, na bacia do rio Piracicaba, durante a estação chuvosa, plantas C4 (cana-de-açúcar e pasto) eram uma fonte importante de carbono para o material particulado do rio. Da mesma forma que em ecossistemas naturais, a vegetação desempenha um papel importante na composição do material orgânico particulado do rio em sistemas agrícolas como o da Bacia do Rio Piracicaba e, o uso de Sistemas de Informações Geográficas para determinar a distribuição espacial e dinâmica da vegetação provou ser uma ferramenta poderosa para interpretar a composição da matéria orgânica particulada do rio em relação às propriedades e características da bacia de drenagem.

Estudos prévios da bacia do Piracicaba indicaram, empiricamente, que o esgoto lançado no rio é a principal fonte de alteração na composição biogeoquímica do mesmo ao longo da bacia (Martinelli et al., 1999a; Ballester et al., 1999). Porém, somente após o acoplamento das técnicas de geoprocessamento e traçadores biogeoquímicos foi possível estabelecer relações estatísticas entre a composição química das águas e as características da paisagem que as geram, permitindo

identificar e quantificar os parâmetros físicos e antrópicos que melhor prevêm a composição química da água.

REFERÊNCIAS

- BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M.; CAMARGO, P. B. Effects of increasing organic matter loading on the dissolved O₂, free dissolved CO₂ and respiration rates in the Piracicaba river basin, southeast Brazil. **Water Research**, v. 33, n. 9, p. 2119-2129, 1999.
- BALLESTER, M. V. R.; KRUSCHE, A.V; MARTINELLI, L. A.; FERRAZ, E.; VICTORIA, R. L.; BERNARDES, M. C.; OMETTO, J. P.; CERRI, C. E .P; TOLEDO, A. M. A.; CAMARGO, P.; FRACASSI, F. C. Análise integrada de bacias de drenagem utilizando Sistemas de Informações Geográficas e biogeoquímica de águas superficiais na bacia do rio Piracicaba (São Paulo). In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Ed.). **Conceito de bacias hidrográficas, teoria e aplicações**. Ilhéus: Editora Editus, 2002. Cap. 11, p. 219-238.
- BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, D. de C.; COBURN, R.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R. L.; RICHEY, J. E.; LOGSDON, M. G.; MAYORGA, E.; MATRICARDI, E. A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Paraná River Basin (Western Amazônia). **Remote Sensing of the Environment**, no prelo.
- CERRI, C. E. P.; DEMATTÊ, J. A. M. ; BALLESTER, M. V. R.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; ROOSE, E. GIS erosion risk assessment of the Piracicaba River basin in southeastern Brazil. **Mapping Sciences and Remote Sensing**, v. 38, n. 3, p. 157-171, 2001.
- CORRELL, D. L. N and p in soils and runoff of three coastal plain land uses. In: LOWRANCE, R.; TODD, R.; ASMUSSEN, L.; LEONARD, R. (Ed.). **Nutrient cycling in agricultural ecosystems**. Athens: University of Georgia, College of Agriculture, 1983. (Special Publication, 23).
- DANIEL, M.; MONTEBELLO, A.; BERNARDES, M. C.; CAMARGO, P. B.; KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M. V. R.; VICTORIA, R. L.; MARTINELLI, L. A. Effects of urban sewage on dissolved oxygen, dissolved inorganic carbon and organic carbon, and electrical conductivity of small streams along a gradient of urbanization in the Piracicaba River basin. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 136, p. 189-206, 2002.
- DILLON, P. J.; KIRCHNER, W. B. The effects of geology and land use on the export of P from watersheds. **Water Research**, v. 9, p. 135-148, 1974.
- DORICH, R. A. et al. Algal availability of P in stream sediments of varying particle size. **Journal of Environmental Quality**, v. 13, p. 82-86, 1984.
- DUNNING, J. B.; DANIELSON, B. J.; PULLIAM, H. R. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. **Oikos**, v. 65, p. 169-175, 1992.
- ESRI. **Arc-Info version 7.3**. Redlands, California, 1997.

- FORMAN, R. T. T. **Land mosaics**: The ecology of landscapes and regions. New York: Cambridge University Press, 1997. 632 p.
- GERGEL, S. A.; TURNER, M. G.; MILLER, J. R.; MELACK, J. M.; STANTELY, E. H. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. **Aquatic Science**, v. 64, p. 118-128, 2002.
- HASLER, A. D. **Coupling of land and water systems**. New York: Springer-Verlag, 1975. 309 p.
- HOBBIE, J. E.; LIKENS, G. E. Output of phosphorus, dissolved organic carbon and fine particulate carbon from Hubbard Brook watersheds. **Limnology and Oceanography**, v. 18, p. 734-742, 1973.
- IBGE. **Cartas do Brasil, 1:50.000**. Rio de Janeiro, 1983.
- IBGE. **Malha municipal digital do Brasil**. Rio de Janeiro, 1996.
- IBGE. **Censo demográfico**. Rio de Janeiro, 2001.
- IGC. **Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo**: folhas de Campinas, Guaratinguetá e Santos. Escala de 1:250.000. São Paulo: Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, 1980.
- IGC. **Carta de utilização da terra do Estado de São Paulo**: folhas de Bauru e São Paulo. Escala de 1:250.000. São Paulo: Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo, 1981.
- KRUSCHE, A. V.; CARVALHO, F. P.; MORAES, J. M.; CAMARGO, P. B.; BALLESTER, M. V. R.; HORNINK, S.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L. Spatial and temporal water quality variability in the Piracicaba River Basin, Brazil. **Journal of the American Water Research Association**, v. 33, n. 5, p. 1117-1123, 1997.
- LENAT, D. R.; CRAWFORD, J. K. Effects of land use on water quality and aquatic biota of three North Carolina piedmont streams. **Hydrobiologia**, v. 294, p. 185-199, 1994.
- LIKENS, G. E. et al. Nitrification: importance to nutrient losses from a cutover ecosystem. **Science**, v. 163, p. 1205-1206, 1969.
- LIKENS, G. E. et al. Effects of forest cutting and herbicide treatment on nutrient budgets in the Hubbard Brook watershed-ecosystem. **Ecological Monographs**, v. 40, p. 23-47, 1970.
- L'VOVICH, M. I.; WHITE, G. F.; BELYAEV, A. V.; KORONKEVIC, N. I.; LEE, T. R.; VOROPAIEV, G. V. Use and transformation of terrestrial water systems. In: TUNER II, B. L.; CLARK, W. C.; KATES, R. W.; RICHARDS, J. F.; MATHEWS, J. T.; MEYER, W. B. (Ed.). **The earth as transformed by human action**: Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years. New York: Cambridge University Press, 1995. p. 233-252.
- MARTINELLI, L. A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; BERNARDES, M.; FERRAZ, E. S.; MORAES, J. M.; BALLESTER, M. V. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba River, SouthEast Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 110, p. 67-79, 1999a.
- MARTINELLI, L. A.; BALLESTER, M. V.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; CAMARGO, P. B.; BERNARDES, M.; OMETTO, J. P. H. Landcover changes and $d^{13}C$ composition of particulate organic matter in the

- Piracicaba river basin (Southeast region of Brazil). **Limnology and Oceanography**, v. 44, n. 7, p. 1826-1833, 1999b.
- McGARICAL, K.; MARKS, B. J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Portland: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122p. (General Technical Report, PNW-GTR-351).
- MEYER, J. L.; TATE, C. M. The effects of watershed disturbance on dissolved organic carbon dynamics of a stream. **Ecology**, v. 64, p. 33-44, 1983.
- MORAES, J. M.; PELLEGRINO, G. Q.; BALLESTER, M. V.; MARTINELLI, L. A.; VICTORIA, R. L.; KRUSCHE, A.V. Trends in hydrological parameters of a southern brazilian watershed and its relation to human induced changes. **Water Resources Management**, v. 12, p. 295-311, 1998.
- NAIMAN, R. J. The influence of stream size on the food quality of seston. **Canadian Journal of Zoology**, v. 61, p. 1995-2010, 1983.
- OMETTO, J. P.; MARTINELLI, L. A.; BALLESTER, M. V. R.; GESSNER, A.; KRUSCHE, A. V.; VICTORIA, R. L.; WILLIAMS, M. Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. **Freshwater Biology**, v. 44, p. 327-337, 2000.
- PINAZZA, L. A.; ALIMANDRO, R. Brasil, açúcar e álcool. A era da emancipação. Via crucis. **Agroanalysis**, v. 20, n. 3, p. 14-20, 2000.
- PUCKETT, L. Identifying the major sources of nutrient water pollution. **Environmental Science and Technology**, v. 29, p. 408A-414A, 1995.
- SÃO PAULO. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Plano estadual de recursos hídricos**: primeiro plano do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE, 1991. 77 p.
- TAYLOR, A. W. et al. Nutrients in streams draining woodland and farmland near Cochocton, Ohio. **Water Resources Research**, v. 7, p. 81-89, 1971.
- TOLEDO, A. M. A. **Influências da estrutura da paisagem na composição química das águas superficiais dos ribeirões Piracicamirim e das Cabras**. 2001. Dissertação (Mestrado). USP- Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Dissertação de Mestrado. 2001.
- TURNER, M. G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 20, p. 171-197, 1989.
- VANNOTE, R. L. et al. The river continuum concept. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 37, p. 130-137, 1980.
- WARD, J. V. The structure and dynamics of the lotic ecosystems. In: MARGALEF, R. (Ed.). **Limnology now: a paradigm of planetary problems**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p. 195-219.

WEAR, D. N.; TURNER, M. G.; NAIMAN, R. J. Landcover along an urban-rural gradient: implications for water quality. *Ecological Applications*, v. 8, n. 3, p. 619-630, 1998.

WHITE, F. C. et al. Relationship between increased crop acreage and nonpoint-source pollution: a Georgia case study. *Journal of Soil and Water Conservation*, v. 36, p. 172-177, 1981.

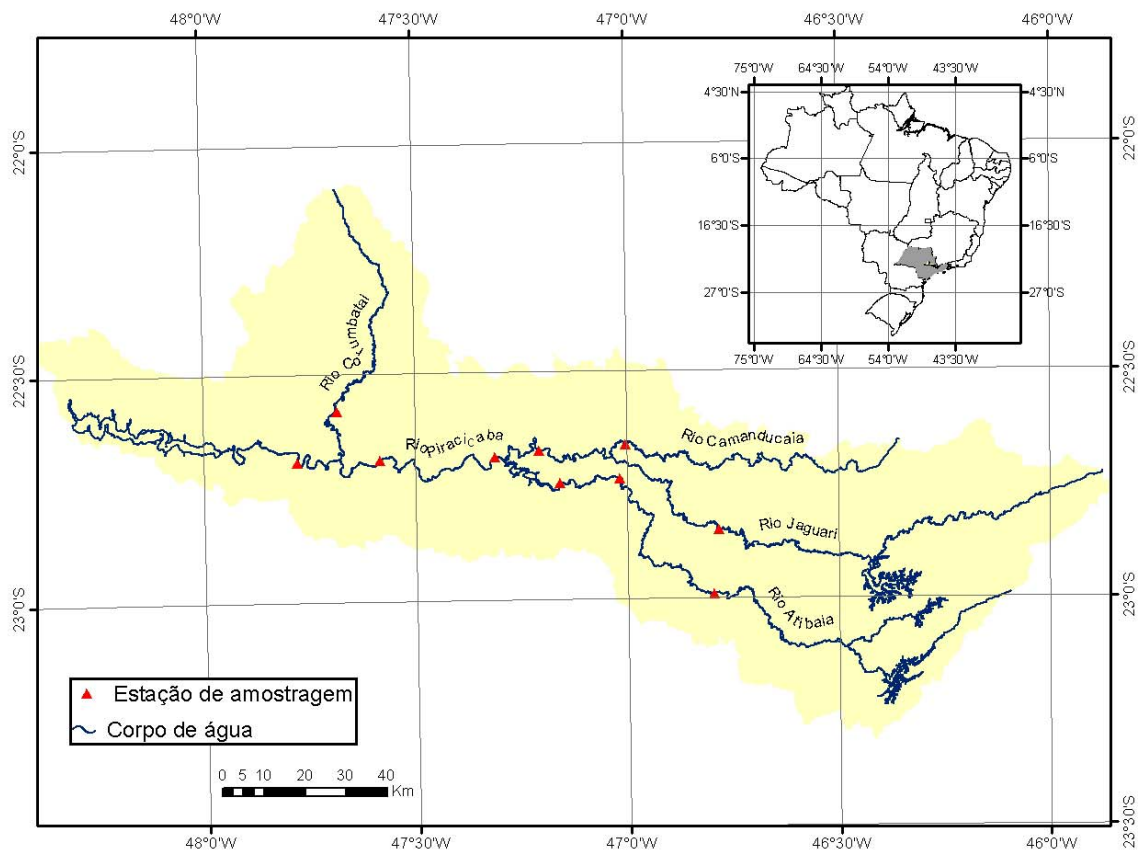


Figura 1. Localização da área de estudo e dos pontos amostrais.

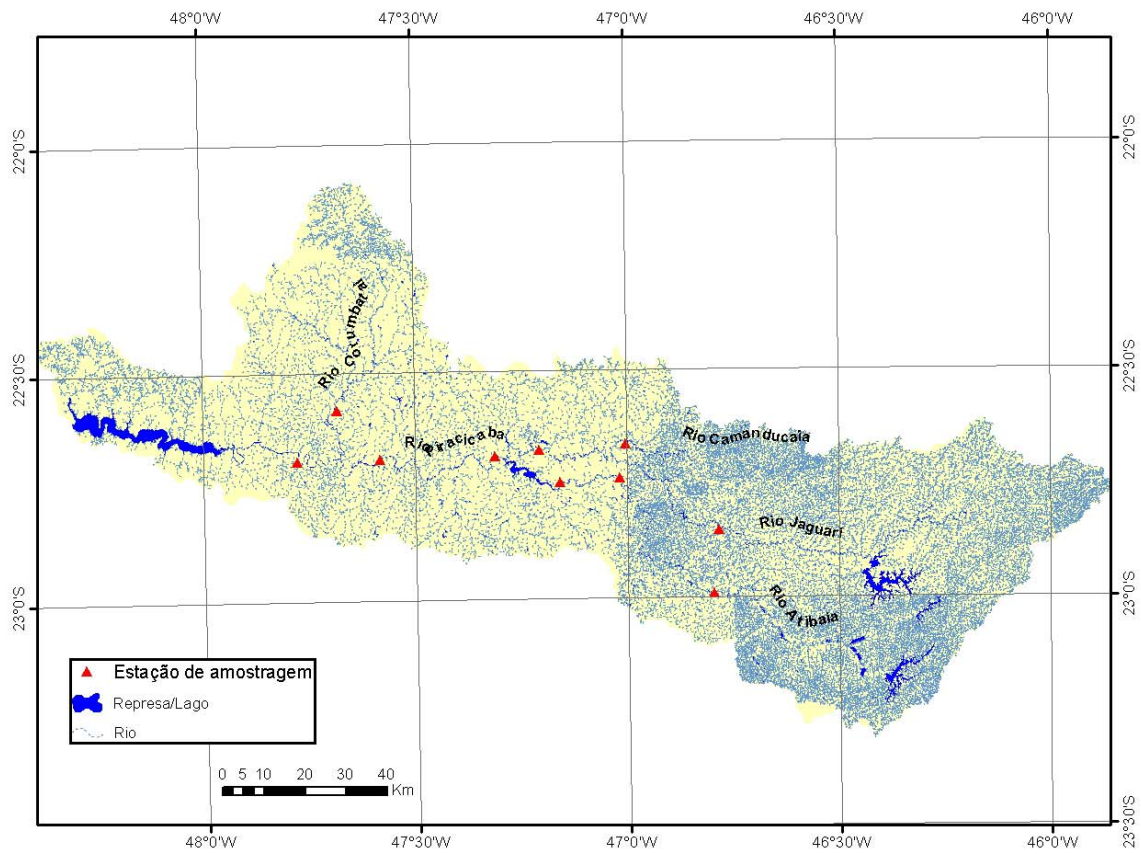


Figura 2. Rede de drenagem da bacia do rio Piracicaba.

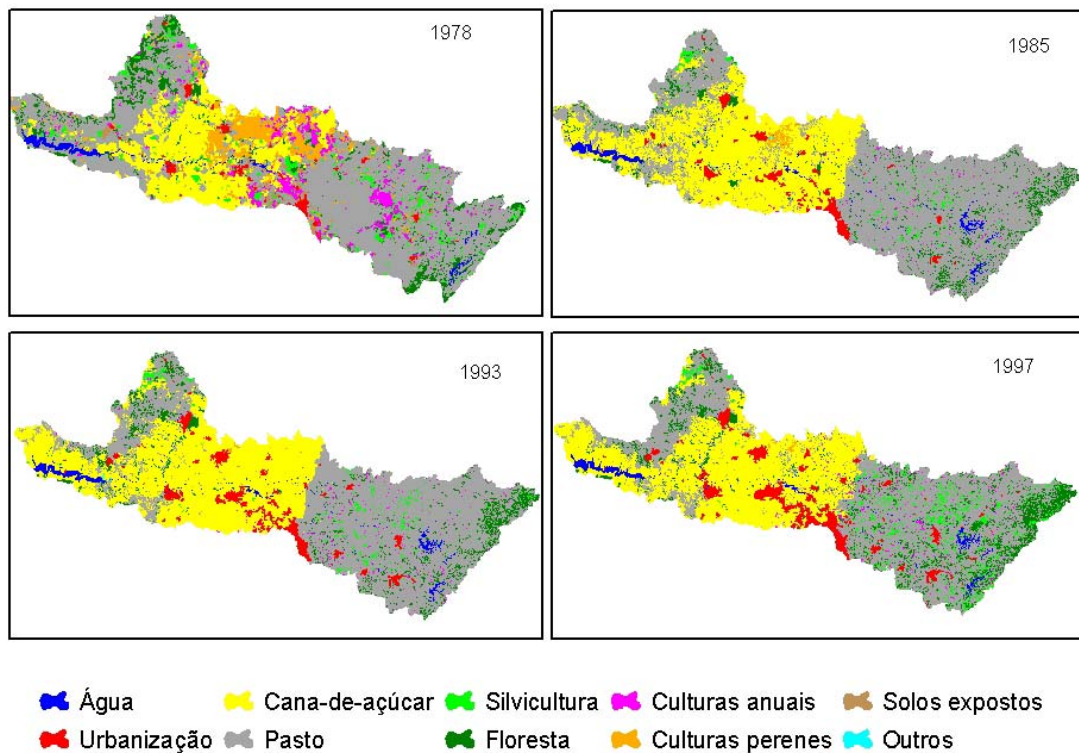


Figura 3. Mapas de uso e cobertura do solo da bacia do rio Piracicaba.

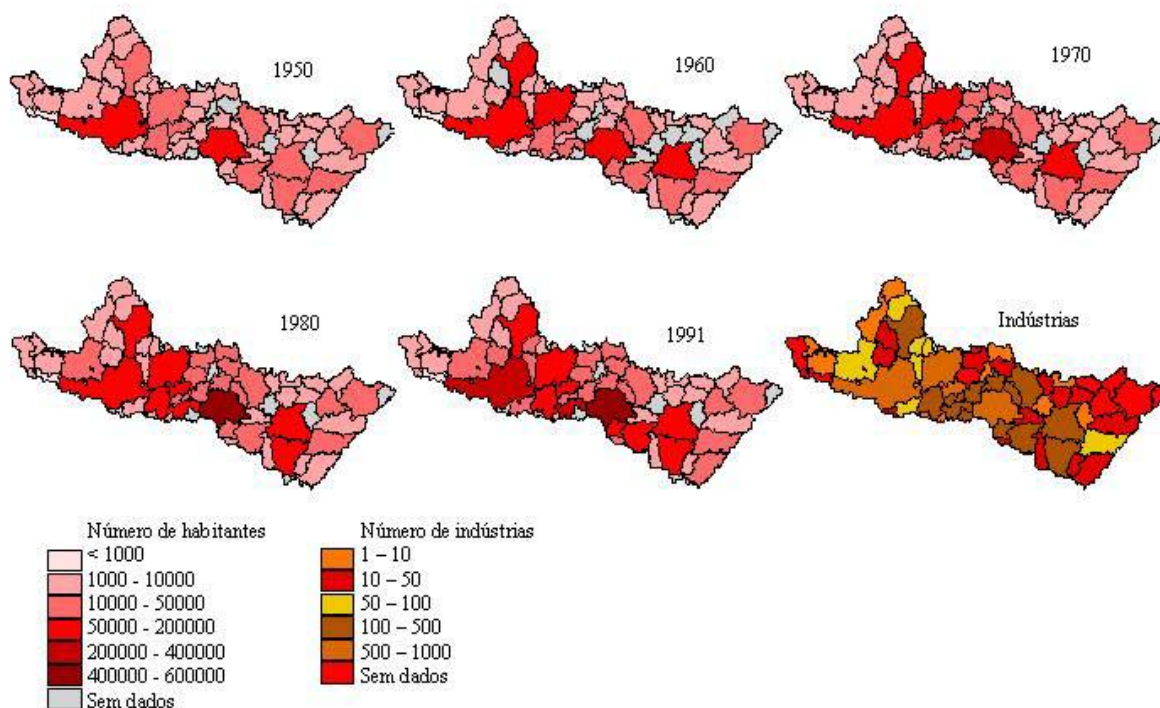


Figura 4. Mapa da distribuição espacial da população por município da bacia do rio Piracicaba.

Tabela 1. Áreas (expressas em percentuais) cobertas pelas categorias de uso do solo na bacia do rio Piracicaba em 1978, 1985, 1993 e 1997.

	1978	1985	1993	1997	
Água	1,4	1,7	1,7	1,7	0,4
Urbanização	1,6	2,7	4,2	5,7	4,1
Cana-de-açúcar	17,9	34,5	36	33,7	15,8
Pasto	55,4	53	48,3	43,2	-12,2
Silvicultura	3,4	1,1	1,5	4,2	0,8
Floresta	8	5,7	7	10,1	2,1
Culturas anuais	4,6	0,6	1,1	1,1	-3,5
Culturas perenes	5,9	0,6	0,1	0,1	-5,7
Solos expostos	1,9	0,3	< 0,1	0,3	-
Outros	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	-

Tabela 2. Métricas de paisagem da bacia do rio Piracicaba.

	1978	1985	1993	1997
Número de Fragmentos	4.101	8.039	7.302	12.276
Área média dos fragmentos (km ²)	3,09	1,58	1,73	1,03
Índice do maior fragmento	36	39	37	29
Densidade de fragmentos	0,032	0,064	0,058	0,097
Índice médio de forma	1,8	1,98	1,99	1,93
Área basal total (km ²)	11.183	10.591	10.692	10.848
Área basal média por fragmento (km ²)	273	132	146	88,4
Número de áreas basais	4.483	10.842	9.993	14.009
Densidade de áreas basais	0,35	0,86	0,79	1,11

Tabela 3. Concentrações médias por setores dos analitos nos períodos de seca e cheia.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Conducti- vidade	Seca	51,6	59,6	97,5	85,7	87,7	250,5	136,1	225,2	214,4	113,7
	Cheia	54,8	51,5	76,7	74,1	66	171,8	98,45	145,5	134,3	110,1
SO ₄	Seca	13	26	45,3	45,2	47,4	499,1	172,9	321,5	282,2	161,5
	Cheia	15,4	20,5	35,4	36,5	31,2	282	114	169	183,5	192,4
Cl	Seca	83,5	78	120,1	151	134,4	378	202	473,3	435,3	155,3
	Cheia	83,3	59	32	121,4	99,8	237	142,8	261,2	232,3	118,8
NID	Seca	28,5	62	72	70	89	191	78,3	120,6	112	66
	Cheia	25,2	33,4	61	49,6	58,5	107,5	64,3	74,4	69,2	35
Ca	Seca	78,3	99,6	147,4	122	124	192	150	224	239,8	153,2
	Cheia	83,4	82	120	109,4	101	153,8	126,2	161	175	156
Mg	Seca	50,3	46,3	94,3	68,1	73,2	82,9	76,6	90,5	119,2	169,2
	Cheia	54,9	43,8	81,7	64,1	62	76,1	69,2	82	122,2	183
STS	Seca	21	21	32,2	26	22,5	22,5	11	29,4	26	31
	Cheia	51,1	64,5	158,3	181,4	149	221,3	133,4	76,7	150,6	210

Tabela 4, Correlações de Spearman para delta altitude e erodibilidade (n = 10).

	Delta altitude				Erodibilidade			
	Seca		Cheia		Seca		Cheia	
	Rs	nível de p	Rs	nível de p	Rs	nível de p	Rs	nível de p
Condutividade	-0,9	0,0018	-0,8	0,006	0,63	0,05	0,69	0,026
SO ₄	-0,9	0,0009	-0,7	0,024	0,68	0,08	0,68	0,03
Cl	-0,9	0,0002	-1	2*10 ⁻⁷	0,53	0,111	0,43	0,22
NID	-0,9	0,0015	-0,9	0,0009	0,41	0,235	0,47	0,172
Ca	-0,8	0,011	-0,7	0,022	0,75	0,012	0,79	0,007
Mg	-0,4	0,3	-0,5	0,18	0,98	2*10 ⁻⁷	0,94	0
STS	0	0,87	-0,3	0,63	0,75	0,012	0,58	0,077

Tabela 5, Correlações de Spearman para percentual de urbanização (n = 10).

	Seca		Cheia	
	Rs	nível de p	Rs	nível de p
Condutividade	0,93	0,0001	0,77	0,009
SO ₄	0,87	0,001	0,67	0,033
Cl	0,93	0,0001	0,9	0,0003
NID	0,81	0,005	0,76	0,011
Ca	0,81	0,005	0,76	0,011
Mg	0,41	0,24	0,49	0,15
STS	-0,2	0,63	0,13	0,726

DIAGNÓSTICO AGROAMBIENTAL PARA GESTÃO E MONITORAMENTO DA BACIA DO RIO JUNDIAÍ-MIRIM

JENER FERNANDO LEITE DE MORAES¹

YARA MARIA CHAGAS CARVALHO²

AFONSO PECHE FILHO¹

¹INSTITUTO AGRONômICO DE CAMPINAS
Caixa Postal 28 – 13020-902 - Campinas - SP, Brasil
jfmoraes@iac.sp.gov.br; apeche@terra.com.br

²INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA
Av. Miguel Stéfano, 3900 – 04301-903 – São Paulo – SP, Brasil
yacarvalho@iea.sp.gov.br

Resumo. O projeto “Diagnóstico Agroambiental para Gestão e Monitoramento da Bacia do Rio Jundiaí-Mirim” vem sendo desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisas em Políticas Públicas, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP. Dele participam o Instituto Agrônômico de Campinas, o Instituto de Economia Agrícola (Institutos de Pesquisa da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – APTA/SAA), a Prefeitura do Município de Jundiaí e o DAE S. A. Água e Esgoto. Trata-se de um projeto multidisciplinar envolvendo três linhas de atuação: *Geoprocessamento; Qualidade das Águas Superficiais e Caracterização Sócio-Econômica*. O projeto envolve uma equipe de 10 pesquisadores e 5 técnicos de apoio à pesquisa, além de alunos de iniciação científica e mestrado.

Palavras-chave: bacia hidrográfica, geoprocessamento, fragmentos florestais, políticas públicas.

Site do projeto

www.iac.sp.gov.br/jndmirim

1. Introdução

A preocupação com a qualidade das águas da bacia do rio Jundiaí-Mirim, da qual depende o abastecimento de cerca de 97% da população da cidade, data de 1980, quando da criação da Lei

Municipal no. 2405/80, que estipulou que 55% da bacia, nos limites do município, passassem a constituir área de proteção de mananciais.

A importância dessa bacia para o município de Jundiaí está associada ao abastecimento de água da cidade. As primeiras instalações de captação de água do rio Jundiaí-Mirim foram executadas no ano de 1950, com a construção de um pequeno reservatório ou represa de captação no bairro do Horto Florestal. A partir da década de 60, com o crescimento da população e o início do processo de industrialização acentuada no município, as vazões do rio Jundiaí-Mirim tornaram-se insuficientes, obrigando a Administração Municipal a buscar outros mananciais. Desde então, as águas do rio Atibaia, captadas no município de Itatiba, tem reforçado as vazões do Rio Jundiaí-Mirim, sobretudo nos períodos de estiagem. Essa situação demonstra o quanto é importante o controle sobre os usos das áreas da bacia do rio Jundiaí-Mirim, uma vez que com a crescente demanda pelo abastecimento de água no Estado, torna-se imprescindível a adoção e o estabelecimento de Políticas Públicas orientadas para a preservação do manancial.

O aumento da atividade humana, tanto do setor agrícola como decorrente da própria expansão urbana na microbacia, tem provocado importantes alterações com conseqüentes impactos ao meio ambiente. O que ficou constatado, principalmente a partir do diagnóstico preliminar do meio físico, executado na primeira fase do projeto, é que a microbacia vem sendo alvo de sérias intervenções antrópicas, que estão causando a degradação de seus recursos naturais, com graves conseqüências principalmente para a qualidade de seus recursos hídricos.

Todo esse contexto reflete a necessidade de se dotar o poder público local de informações, ferramentas e metodologias envolvendo as questões do meio físico da bacia, sócio-econômico e jurídico que subsidiarão o estabelecimento de Políticas Públicas voltadas à preservação e recuperação do manancial, permitindo também, uma integração com as lideranças comunitárias, no processo de definição das estratégias de ação.

Assim, dentro do enfoque do programa de pesquisas em políticas públicas, este projeto tem como objetivo gerar subsídios para a formulação de políticas públicas, a partir do diagnóstico e planejamento do meio físico e sócio-econômico, fornecendo treinamento, capacitação e informações tanto ao poder público como às comunidades locais, de modo a definir um plano local de desenvolvimento sustentável.

Os objetivos específicos serão orientados para:

- Elaboração de diagnóstico sumário e um banco de dados geo-referenciado do meio físico, contemplando informações sobre solo, uso e ocupação, qualidade das águas, áreas de degradação ambiental, áreas de preservação
- Definição de um zoneamento agroambiental, contemplando aspectos do meio físico, sócio-econômico e jurídico.
- Elaboração de um diagnóstico sobre a qualidade de vida da população rural da periferia e de como sua presença na microbacia está afetando a qualidade dos recursos hídricos.
- Elaboração de um processo de educação ambiental com o fortalecimento das organizações sociais e a formulação de um programa de desenvolvimento sustentável para as comunidades, enfocando questões de políticas públicas para tal finalidade.
- Identificação e elaboração, através de um processo integrado entre pesquisadores, poder público e comunidade, das medidas públicas necessárias para efetivar as estratégias de ação do setor público e das comunidades voltadas ao desenvolvimento sustentável da microbacia.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

Á área de estudo do projeto é a microbacia do Rio Jundiaí-Mirim (**Figura 1**). O rio Jundiaí-Mirim é afluente à margem direita, do rio Jundiaí, à altura da cidade paulista que lhe empresta o nome. A área total de drenagem do rio Jundiaí-Mirim cobre uma superfície pouco maior do que 108 km² englobando as cidades de Jarinú e Campo Limpo Paulista. Ao final dessa drenagem, existem dois reservatórios, criados pela construção de barragens, junto às quais uma estação de bombeamento do DAE (Departamento de Água e Esgoto), capta e trata a maior parte da água distribuída no município.

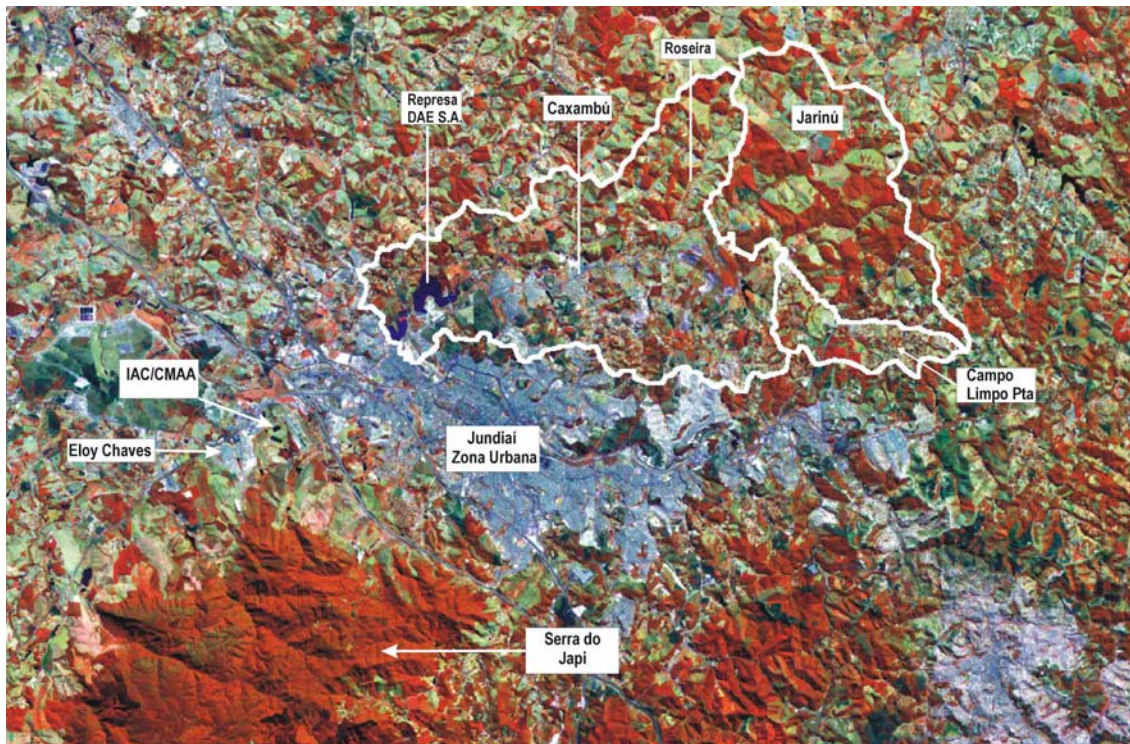


Figura 1. Imagem Landsat (composição 453) mostrando os limites da microbacia e a zona urbana do município de Jundiaí.

Na **Figura 2**, tem-se a estrutura do projeto, onde são contempladas as ações ligadas ao Diagnóstico do Meio Físico, Monitoramento da Qualidade da Água e Caracterização Sócio-Econômica. Para auxiliar e orientar o poder público local na análise e síntese dos problemas e questões relacionadas ao ambiente empregou-se uma análise sistêmica (Grigg, 1991), na qual o uso de Sistemas de Informação Geográfica é uma das ferramentas que mais se adapta a este tipo de enfoque, pois possibilita a análise integrada de várias informações, a avaliação ambiental e a projeção de cenários futuros. Os *softwares* adotados para o desenvolvimento do SIG foram o ArcView 3.2 e o ILWIS (The Integrated Land and Water Information System) .

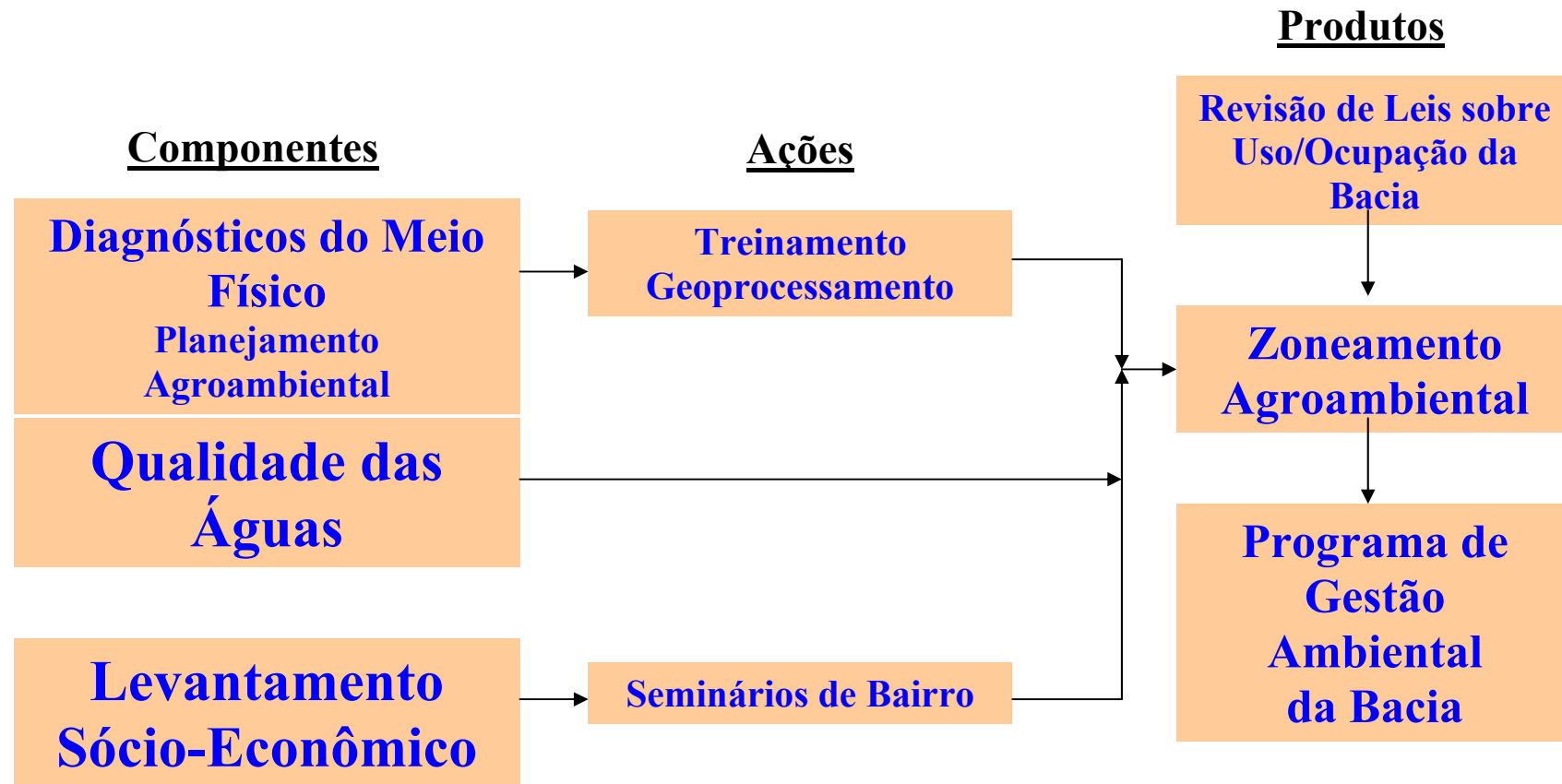


Figura 2. Fluxograma estrutural do projeto de pesquisa.

2.2. Diagnósticos e mapeamentos

Os levantamentos e mapeamentos realizados na microbacia foram conduzidos seguindo um fluxograma previamente estabelecido, obtendo-se assim, informações que subsidiem um plano de gestão ambiental. Concluiu-se o levantamento das informações básicas (solo, uso e ocupação atual, topografia) além de outros mapeamentos temáticos (capacidade de uso das terras, risco de erosão, perdas de solo, áreas de proteção permanente) que auxiliarão na elaboração do zoneamento agroambiental da microbacia. Atualmente, está sendo concluído um levantamento dos pontos de captação de água e de impactos ambientais.

2.3. Levantamento sócio-econômico

A caracterização sócio-econômica da sub-bacia do Jundiaí-Mirim tem o objetivo de identificar os principais problemas que estão ameaçando a área de manancial de Jundiaí e servir de base aos trabalhos com os parceiros do projeto na definição de estratégias políticas para enfrentar o problema. Um levantamento do histórico de ocupação da área, de indicadores sócio-econômicos com base em dados secundários e da legislação pertinente foi concluído, com o objetivo de subsidiar as futuras discussões sobre as questões sociais, econômicas e a necessidade de modificação na atual legislação voltada à preservação do manancial. Através da técnica de leitura de paisagem, fez-se uma proposta de tipologia das comunidades onde se pode dar continuidade ao projeto, dos sistemas de produção predominantes e dos tipos de loteamentos existentes em cada comunidade. Atualmente, o uso do solo na microbacia vem sendo regulado através de diversos instrumentos legais que acabam por criar situações de indeterminação, frente a disposições contraditórias, que estimulam a ocupação desordenada do espaço rural.

2.4. Monitoramento da qualidade da água

O monitoramento da qualidade da água em toda a microbacia do rio Jundiaí-Mirim, incluindo aquelas áreas fora do município de Jundiaí, iniciou-se em fevereiro de 2002 e irá se estender indeterminadamente, ficando sob a responsabilidade do Departamento de Água e Esgoto (DAE S.A.) do município de Jundiaí. Alguns resultados já foram obtidos e serão apresentados e discutidos na próxima fase.

2.5. Capacitação técnico-científica

Nesta primeira fase do projeto, reforçou-se neste item o treinamento de engenheiros do poder público local, no uso e manipulação de tecnologias de geoprocessamento, através de cursos ministrados durante todo o 2º. semestre de 2001 e 1º. semestre de 2002.

2.6. Seminários de Bairros

Os seminários de Bairros consistem basicamente na apresentação do projeto e seus principais resultados para diferentes comunidades identificadas nos estudos sócio-econômicos.

2.7. Políticas Públicas

Questões de políticas públicas, no que diz respeito à elaboração de novas leis e/ou melhoria das já existentes estão sendo discutidas e implementadas pela Prefeitura do Município de Jundiaí. Temas específicos, relacionados à água, agricultura e educação também deverão ser considerados na proposição e definição de novas políticas públicas.

2.8. Zoneamento Agroambiental

A proposta de um Zoneamento Agroambiental visa auxiliar o poder público na identificação e mapeamento de áreas com características e atributos específicos que as enquadrem dentro de critérios de uso e ocupação. A proposta não é apenas elaborar um zoneamento e apresentá-lo à comunidade mas promover uma discussão conjunta. A definição das zonas de uso e ocupação deverá obedecer as recomendações contidas na Lei 9.866 de 28/11/1997, que estabelece as diretrizes e normas para o gerenciamento das áreas de mananciais do Estado de São Paulo. Esta nova legislação propõe um sistema de gerenciamento participativo, integrando setores e instâncias governamentais, bem como a sociedade civil.

2.9. Consulta Via Internet

A disponibilização dos resultados do projeto através da Internet foi a maneira mais eficiente para disseminação dos dados entre todas as instituições envolvidas no mesmo. O uso de aplicativos em Flash, possibilitou ainda uma maior interatividade com os diferentes usuários, até mesmo com aqueles sem nenhum conhecimento específico no uso de ferramentas de geoinformação.

3. Principais Resultados

3.1. Diagnóstico do meio físico

3.1.1. Uso e ocupação das terras e diagnóstico das matas ciliares

Um detalhado diagnóstico do meio físico acompanhado da formação de uma base de dados georreferenciada são essenciais para caracterização, planejamento de ações e estudo de áreas críticas em uma área de manancial de abastecimento público. Além de uma base planialtimétrica detalhada, o levantamento de dados temáticos (solo, uso e ocupação das terras, geomorfologia, etc) deve obedecer a uma escala de levantamento que proporcione um adequado detalhamento das informações a serem mapeadas. Normalmente, uma escala entre 1:50000 e 1:20000 é mais adequada para levantamentos em microbacias.

O levantamento e mapeamento do uso e ocupação das terras, realizado a partir de ortofotos digitais e imagens IKONOS permitiu a obtenção de um detalhado e preciso mapa de uso e ocupação das terras. Ao todo foram mapeadas 20 classes de uso e ocupação, com um destaque para o mapeamento das áreas de fragmentos florestais remanescentes e matas ciliares. Os polígonos de uso da terra foram traçados diretamente na tela do computador, com auxílio do mouse, através do Sistema de Informações Geográficas – Ilwis (**Figura 3**). Além das ortofotos digitais, o trabalho de mapeamento do uso da terra também foi conduzido com apoio de imagens do satélite Ikonos, adquiridas pelo projeto (**Figura 4**).

Um aspecto importante a ser ressaltado é que o levantamento de uso da terra permitirá ao poder público estabelecer um plano de monitoramento da bacia de forma a identificar atuações irregulares de desmatamento conforme ilustrado nas **Figuras 5 e 6**.

O mapa de uso da terra da área estudada encontra-se disponível no site do projeto www.iac.sp.gov.br/jndmirim.

Áreas de Preservação Permanente dos recursos hídricos (APP)

O estudo das Áreas de Preservação Permanente (APP) foi feito dando ênfase à preservação dos recursos hídricos da área estudada. Neste sentido, considerou-se os seguintes critérios para delimitação das APP:

- Faixa de 30m ao longo dos cursos d'água;

- Faixa de 50m ao redor das nascentes;
- Faixa de 50m ao redor dos lagos;
- Faixa de 100m ao redor dos dois reservatórios de abastecimento de água do município de Jundiaí.



Figura 3. Parte de uma ortofoto com a delimitação dos polígonos de uso e ocupação das terras.



Figura 4. Área degradada por mineração circundada por cultivos de videiras (Imagem Ikonos).



Figura 5. Mata em estágio médio próxima a área de mineração. Linha amarela mostra área ocupada pela mineração em 2000. Linha vermelha mostra parte da área desmatada .



Figura 6. Parte de área de mata desmatada na área da mineração. (Satélite Ikonos – 2001).

Cada uma dessas áreas foi obtida separadamente em SIG através do comando de cálculo de distâncias. Posteriormente, os planos de informação foram agrupados constituindo, assim, o plano de informação final das APP.

O estudo sobre recomposição das matas ciliares foi proposto como um instrumento para subsidiar ações do poder público local, voltadas à revegetação ciliar. A partir do cruzamento dos planos de informação de uso atual da terra com o de APP, calculou-se as áreas corretamente ocupadas com vegetação ciliar (Matas) e também as áreas com classes inadequadas de uso.

Para as áreas de preservação permanente dos recursos hídricos foram obtidos os valores das porcentagens de áreas com uso adequado e inadequado para as APP. A **Figura 4** ilustra no que consistiu essa quantificação das áreas das diferentes classes de uso dentro dos limites da APP. Um “buffer” foi criado ao longo dos mananciais, lagos e cabeceiras e estimou-se as diferentes classes de uso e ocupação da terra dentro do mesmo. Observa-se na área, a ocorrência de corpos d’água desprovidos de proteção de mata ciliar ao longo de suas margens. Neste contexto, as ações do poder público visando à preservação dos fragmentos florestais remanescentes, principalmente em relação àqueles em estágio inicial de desenvolvimento vegetativo, devem contemplar a criação de leis municipais específicas para fiscalização e monitoramento dessas áreas, visando a preservação dos fragmentos florestais. Os resultados mostraram que 41% da APP está ocupado com mata, estando a área restante, ocupada com outros tipos de uso, não adequados para esse tipo de área. Se considerarmos que as áreas dentro dos limites da APP, não fossem removidas, praticamente 78% da área de APP estaria protegida por uma vegetação de porte alto, que atuaria na proteção dos recursos hídricos. Maiores detalhes sobre esse levantamento estão disponíveis no site: www.iac.sp.gov.br/jndmirim.

Na **Figura 7** tem-se a distribuição das áreas de mata dentro das APP, por sub-bacia. Observa-se claramente um decréscimo nessas áreas principalmente nas sub-bacias mais próximas das áreas de expansão urbana (Horto, Tarumã e Anana). A porcentagem de áreas de APP com mata variou de 60% na sub-bacia do Ribeirão dos Soares (localizada no município de Jarinú) a apenas 8% na sub-bacia do córrego Ananas (localizada no município de Jundiá).

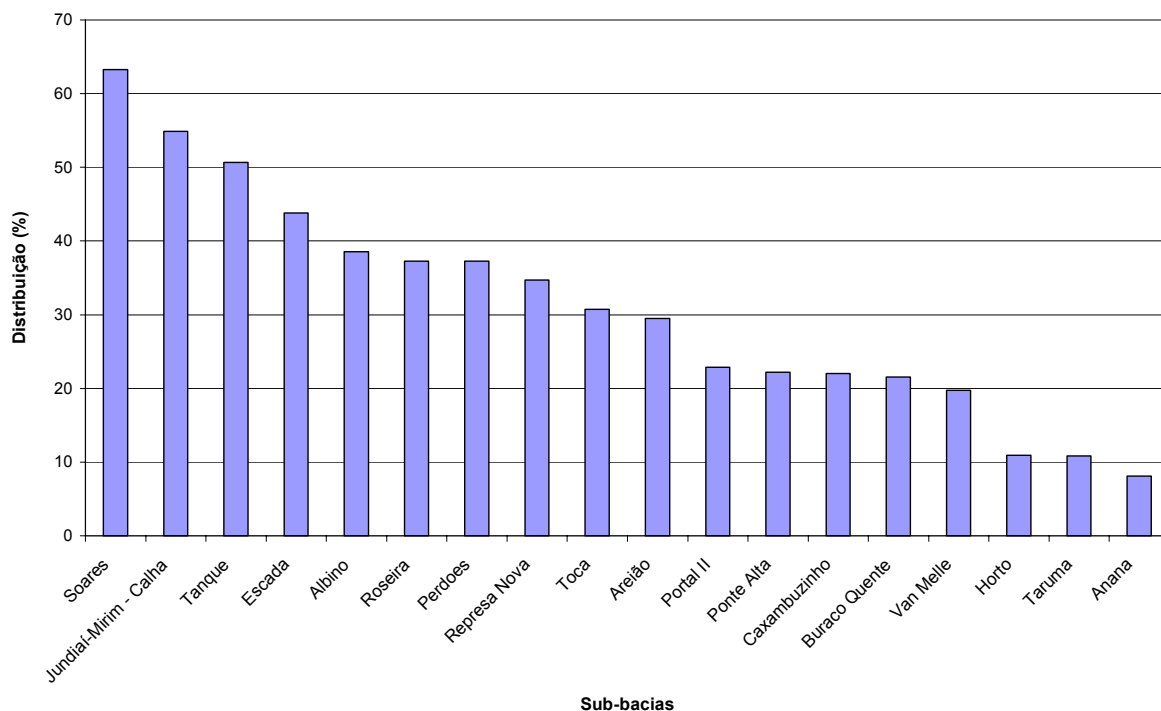


Figura 7. Distribuição relativa das áreas com mata dentro das áreas de preservação permanente, por sub-bacia hidrográfica.

3.1.2. Outros diagnósticos e mapeamentos

Além do levantamento do uso e ocupação das terras procedeu-se ao mapeamento pedológico detalhado, do relevo (declividade, aspecto de vertente), das perdas de solo e risco de erosão e da Capacidade de Uso das Terras. Todas as informações mapeadas encontram-se apresentadas e disponíveis no site do projeto www.iac.sp.gov.br/jndmirim.

3.1.3 Disponibilização dos dados via WEB

A disponibilização dos levantamentos via Internet (**Figura 8**) possibilitou maior interatividade entre os diferentes participantes do projeto, além de uma maior disseminação dos resultados para toda a comunidade interessada na preservação e obtenção de maiores informações sobre a mesma. O desenvolvimento de aplicativos específicos para a Internet, possibilitou a produção de mapas interativos (**Figura 9**) onde o usuário, mesmo desconhecedor de Sistemas de Informação Geográfica, pode montar um mapa completo da bacia hidrográfica, com diferentes temas, recursos de zoom e navegação.



Figura 8. Página inicial do projeto.

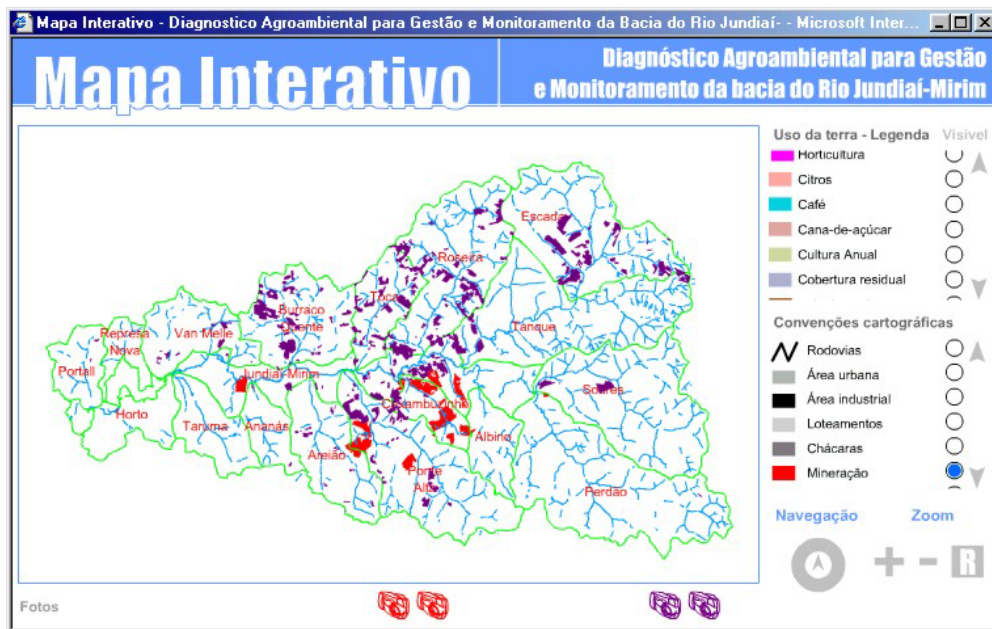


Figura 9. Página de montagem do mapa interativo.

3.2. Levantamento Sócio-Econômico

3.2.1. Legislação

O uso do solo na área da sub-bacia vem sendo regulado através de diversos instrumentos legais que acabam por criar situações de indeterminação, frente a disposições contraditórias, que estimulam a ocupação desordenada do espaço rural.

Os principais instrumentos legais referem-se a regulamentação de área de manancial realizada através de legislação municipal específica (Lei 2405 de 1980) ou incorporada no Decreto 43.284 de 03/07/98 de criação da APA da Serra do Japi nos municípios de Jundiá e Cabreúva. Outro documento legal importante na regulação do uso do solo refere-se ao Plano Diretor na suas três versões (Lei 1576 de 31/01/69, a Lei 2507 de 14/08/81 e a atual Lei Complementar 224 de 27/12/96).

3.2.2. Recursos Hídricos

A Lei Municipal 2.405 de 1980 é denominada de Lei de Mananciais. Identifica as bacias de abastecimento de água do município: Jundiá-Mirim, da barragem de captação até os limites do município e seus afluentes e o córrego da Estiva ou Japi e afluentes, desde a captação no bairro do Moisés até suas nascentes na Serra do Japi.

Determina que o uso do solo depende de aprovação prévia da prefeitura no que diz respeito a urbanização e edificações e do DAE, no que diz respeito a proteção dos recursos hídricos e, portanto, inclusive em relação ao uso de defensivos agrícolas que precisam ser previamente aprovados pela Coordenadoria Municipal de Abastecimento e Agricultura.

Define a faixa de proteção do córrego da Estiva e dos afluentes do Jundiá-Mirim em 10 metros enquanto neste próprio é de 20 metros. Proíbe a movimentação de terra a não ser para usos específicos, definidos na própria Lei.

Permite a instalação de pequenas indústrias desde que: não empreguem mais de 25 operários; não possuam mais de 250m² de área construída; não utilizem mais de 20% do lote e não possuam efluente industrial.

Havendo receptor de esgoto admite um índice máximo de 50/10.000 m² em lotes com área mínima de 1000 m² e frente mínima de 20m, na zona urbana. Embora defina que a área rural obedecerá legislação própria, admite desmembramentos no bairro urbano isolado de Ivoturucaia e em glebas rurais com área mínima de 8000 m² e com uma de suas divisas limdeira à zona urbana.

Através do Decreto Estadual de 43.284 de 03/07/98 ficou delineada a APA de Cabreúva e Jundiáí, incluindo toda a área dos municípios, sem incorporar entretanto os municípios de Bom Jesus de Pirapora e Cajamar. Havia definições anteriores que influenciaram este processo:

- A área tombada da Serra do Japi (Resolução 11 de 08/03/83) pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico- CONDEPHAAT tem 191,70 km², distribuída nos municípios de Jundiáí (47,67%), Cabreúva (41,16%), Pirapora (10,49%) e Cajamar (0,68%).
- A Área de Proteção Ambiental-APA de Jundiáí, com 91,4 km² foi criada através da Lei 4095 de 12/06/84 e compreende a porção tombada da Serra do Japi no município.
- Através da Lei 4023 de 22/05/84 foi criada a Área de Proteção Ambiental de Cabreúva.

A APA de Cabreúva e Jundiáí, caracterizou quatro classes de uso, entre elas a III, de conservação hídrica. Define em seu artigo 8º a necessidade de licenciamento ambiental para: os loteamentos ou desmembramentos de imóveis, os condomínios ou qualquer forma assemelhadas de divisão do solo, ainda que definidas em termos de partes ideais, a divisão e subdivisão em lotes de imóveis rurais. Não define, entretanto, como competência da Secretaria do Meio Ambiente estabelecer as normas para o licenciamento no caso de áreas rurais. Salienta que parcelamentos do solo urbano ou rural tem que obter o licenciamento do Estado em conformidade com a Lei Federal 6766 de 19/12/79.

Na zona de Conservação Hídrica é vedada a extração de areia e a disposição de resíduos sólidos de classe I. As atividades desenvolvidas não podem prejudicar a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos ou provocar o assoreamento dos corpos d'água. Exige que fique garantida a manutenção de pelo menos 50% de área livre, ou de sistema equivalente, que garanta a infiltração das águas pluviais. Define que isto é válido para empreendimentos, obras e atividades implantadas em terrenos com área igual ou superior a 2000m².

A definição da área de mananciais de Jundiáí está contida na Lei Estadual de criação da APA. Não delimita sub-áreas a terem seu uso orientado com vistas a garantir a preservação da qualidade do manancial, como prescreve a Lei Estadual¹ (9866/97).

¹ Nesta lei define-se as áreas de: a) Restrição a ocupação; b) Ocupação dirigida; c) Recuperação ambiental .

A inexistência de uma lei própria para a área de manancial de Jundiaí têm assim três conseqüências principais:

- as nascentes do rio Jundiaí-Mirim, nos municípios de Jarinú e Campo Limpo não estão protegidas;
- não existe preocupação na definição do ordenamento territorial determinando não só as áreas a serem preservadas mas também as que devem ter sua ocupação dirigida para usos adequados estejam elas desocupadas ou com uso adequado ou inadequado;
- não existe o aspecto indutor, e não simplesmente fiscalizador, da legislação de recursos hídricos.

3.2.3 Plano Diretor

O 1º Plano Diretor Físico-Territorial do Município foi realizado em 1969 e tinha como preocupação fundamental definir as áreas urbanas e rurais e usos permitidos. Desta forma foram caracterizados bairros isolados. O parcelamento dos lotes rurais para fins urbanos deveria seguir a Instrução 17-A do INCRA e ter no mínimo 5.000m² mas admitia-se, em condições especiais, loteamentos com maior densidade e lotes de dimensões menores.

A pressão urbana dos anos 70 pedia a redefinição do plano, o que só veio a ocorrer através da Lei 2507 de 1981. Este documento legal procurou manter as determinações da Lei de Mananciais e também da Lei Federal 6766 de 19/12/79 que trata do parcelamento do solo para fins urbanos. Suas principais inovações foram a expansão da área urbana, criação de setores de uso do solo com menor densidade demográfica e estabelecimento de procedimentos para aprovação de projetos de parcelamento do solo. Como sua principal preocupação era o parcelamento do solo, pouco contribuiu para a melhor classificação das categorias de uso que poderiam ser permitidas na área rural.

Segundo esta Lei, foram definidas três categorias de uso para a área rural:

Recreativo: Áreas maiores que 5.000m² com até 20 hab/ha

Agrícola: Áreas maiores que 10.000m² e até 10 hab/ha;

Estritamente agrícola: Áreas superiores a 20.000 m²

As exigências para loteamentos, na Lei Municipal, estimularam a população mais pobre a buscar os municípios vizinhos, onde o valor da terra é menor e as exigências de infra-estrutura para o parcelamento eram menores.

Plano Diretor de 96: Lei Complementar 224 de 27/12/96

Revoga disposições em contrário e particularmente artigos do Plano Diretor anterior, a Lei 2.511 de 17/08/01, e a Lei Complementar 194 de 7/05/96. Menciona em particular a Serra do Japi, recursos hídricos e o controle da qualidade das águas (art. 2º ii) e o estímulo à agricultura tradicional do município (art. 2º iii). Foi proposto como um instrumento de política de promoção do desenvolvimento e por isto define, no artigo 8, que cada política setorial deve ter seu fundo de financiamento correspondente. Nos casos em que não tivesse sido criado pela Lei Orgânica do município de Jundiaí, ou em legislação própria, deveram ser instituídos por Lei. Isto, entretanto, ficou como letra morta. Previa as seguintes políticas setoriais: proteção dos recursos naturais e hídricos, agricultura e abastecimento e proteção ao patrimônio cultural, entre outras.

O artigo 39 do Plano Diretor trata da política setorial de proteção dos recursos hídricos. No § iv d define que na sub-bacia do Jundiaí-Mirim devem ser instituídos mapas oficiais e normas específicas de controle de uso e preservação do meio ambiente, através de manejos adequados. No § v define programas prioritários: b) controle de uso e aplicação de defensivos e fertilizantes agrícolas, nas zonas de mananciais, proíbe pastagens junto aos cursos d'água e sua queimada; d) conservação e recuperação da mata ciliar e das cabeceiras de drenagem; e) de controle de águas pluviais e erosão. No § viii define requisitos para o uso, ocupação e parcelamento do solo em d) áreas de mananciais. No § ix prevê parque e bosque, por bairro e por região de planejamento.

Trata de zona de ocupação controlada definida pela Lei Complementar de Zoneamento Urbano e Rural. No macrozoneamento rural, que resultou aprovado, praticamente se mantém a setorialização de uso instituída pela Lei de 1981. A Lei 222, que regula o parcelamento do solo, eliminou a possibilidade de parcelamento de imóveis situados fora da zona urbana em lotes de 5.000m² denominados de chácaras de recreio, porque prevê o cumprimento da legislação federal que define o módulo rural de 20.000 m².

As mudanças ocorridas na definição do módulo mínimo para usos urbanos na área rural no Plano Diretor de 69, nas leis do início dos anos 80 e nas do segundo quinquênio dos anos 90 levam a padrões diversos de ocupação observadas na paisagem.

A dinâmica da expansão do urbano sobre o rural assume características distintas nas diversas comunidades identificadas, embora haja traços comuns em todas, como a crescente utilização de “casas de roça” para trabalhadores urbanos de baixa renda. A dinâmica no Horto parece estar fundamentalmente ligada à manutenção da ocupação através de sítios alugados para

residência. Mato Dentro é uma área de transição entre a realidade do Horto, uma área fundamentalmente agrícola e a expansão de loteamentos na área mais distante. Na Toca o desmembramento em parcelas ideais está associado à paisagem na cabeceira da água, enquanto na Roseira o movimento mais agressivo está no loteamento em ruas perpendiculares à central.

As comunidades identificadas na parte rural de Jundiaí, na sub-bacia do Jundiaí-Mirim, sugerem que as sub-bacias não devem ser tomadas como um fator isolado na definição dos trabalhos de educação ambiental.

Na Toca e Roseira os contornos das comunidades estão associados à drenagem, embora os laços de parentesco entre elas sejam bastante fortes. O fato de existirem centros sociais distintos sugere ser adequado, neste caso, respeitar a divisão das sub-bacias. É importante enfatizar que os centros urbanos de Jundiaí-Mirim e Caxambu não são por eles identificados como centros de serviços e sim Jundiaí. Nestas duas comunidades existem restaurantes freqüentados por moradores de Jundiaí e poderia, portanto, vir a ser um importante local para trabalhar a estratégia de aproximação da população rural e urbana, dentro do marco teórico da agricultura peri-urbana e das cidades sustentáveis.

Nos casos do Horto e Buraco Quente, os laços de comunidade são bastante frágeis e as unidades de drenagem levariam a definição de um número de comunidades maior colocando sérias dúvidas sobre a possibilidade de efetivamente se conseguir envolver a população em reuniões.

A estratégia proposta é a de procurar organizar um grupo no Horto e outro no Buraco Quente, tendo a comunidade rural de Caxambu, que define este núcleo urbano como seu centro social e religioso de referência como o quarto grupo inicialmente trabalhado. Uma quinta comunidade poderia incluir as famílias que residem nas áreas denominadas aqui de Buraco Quente e que não se reconhecem como parte da comunidade de Caxambu.

O número de comunidades trabalhadas depende da capacidade de formação do grupo de apoio de técnicos municipais que ainda não está devidamente definido. Na metodologia do projeto apresentado à FAPESP sugeriu-se, o desenho e o fortalecimento de “novas instituições” locais associadas à nova relação da comunidade com o setor público. O embrião desta “nova instituição” está sendo construído com os parceiros da prefeitura no projeto. Na revisão bibliográfica de formulação do marco teórico da política que está sendo proposta enfatizou-se a

importância da criação destas “novas instituições”. Este é o grande desafio deste projeto de política pública que está sendo construído por técnicos parceiros de diversas instituições.

A tipologia de sistemas de produção mostrou que a agricultura da região é altamente especializada. Existem principalmente dois grupos de produtores: os descendentes de japoneses com hortaliças e os descendentes de italianos com frutas, em geral uva, mas com algum consorciamento com caqui ou pêsego. A produção de citros, especialmente laranja, parece caracterizar um outro sistema de produção na região. A dinâmica da produção de feijão e milho não foi conclusivamente compreendida, uma vez que as áreas identificadas de milho na paisagem ou eram pequenas áreas associadas à subsistência ou não foram localizadas pessoas que pudessem informar sobre a atividade. A produção de feijão não foi identificada. A área de eucalipto é uma atividade residual e significa um rendimento líquido e pontual para a família. Algumas atividades pontuais merecem destaque pelo seu potencial de inovação na região: floricultura, mudas de hortaliças, pepino para conserva e a produção orgânica de frutas.

Desta forma, identificou-se os seguintes sistemas de produção a serem estudados em profundidade: hortaliças, uva, uva-pêssego, uva-pêssego-caqui, uva-caqui, uva e ameixa, outras frutas, citros e pelo menos um envolvendo o milho e outro o feijão. Além disto serão considerados: floricultura, mudas de hortaliças, pepino para conserva e frutas orgânicas. Serão feitos levantamentos no nível da propriedade com base na metodologia de sistemas de produção.

No que diz respeito à tipologia de ocupações urbanas, as informações obtidas ainda não são conclusivas em função de uma nova legislação que está sendo aprovada no município, que vai regularizar a situação hoje existente. Desta forma, identificou-se a necessidade de aprofundar a análise identificando as localidades cadastradas na prefeitura, caracterizando-as, e tornando estas informações disponíveis para a sociedade como um todo, através de meio virtual. A equipe carece do apoio de um arquiteto e de um bolsista para fazer este levantamento. A tipologia apresentada é suficiente para iniciar o trabalho com as comunidades identificando as diferentes estratégias e promovendo o debate sobre a visão da comunidade rural sobre estas formas de ocupação do meio rural e sobre o interesse de uma política de proteção ao espaço rural.

De certa forma, o trabalho de sistemas agrários ficou prejudicado pela necessidade de desenvolvimento simultâneo com a elaboração dos mapas pois, apesar de ser possível fazer o trabalho sem este material, tínhamos o objetivo de construir um trabalho interdisciplinar que gerou algum produto, mas insatisfatório quando considerado do ponto de vista do potencial da

metodologia de sistemas agrários em si. Pretende-se aprimorar a estratégia de campo para melhorar este desempenho nos outros dois municípios. Tem-se a vantagem de já ter os mapas básicos (malha viária, hidrografia) e temáticos (solo, uso e ocupação) disponíveis.

A continuidade do trabalho em Jundiaí, no nível de propriedades, permitirá caracterizar a dinâmica da agricultura nas comunidades e sua visão sobre a expansão urbana, fornecendo mais material para os trabalhos de educação ambiental.

3.3. Qualidade das águas

As ações de monitoramento da qualidade das águas na bacia do rio Jundiaí-Mirim estão sob a responsabilidade do DAE S.A. (Departamento de Águas e Esgoto). Neste item é apresentada a proposta de monitoramento com os respectivos pontos a serem monitorados e que constam da **Figura 10**. Todos os pontos já foram georreferenciados por técnicos do DAE e já se iniciou a coleta de amostras conforme periodicidade apresentada nas **Tabelas 1 e 2**.

3.3.1 Monitoramento dos Mananciais dos Rios Jundiaí – Mirim

O monitoramento da qualidade da água engloba os mananciais dos Rios Jundiaí Mirim, Atibaia, Ribeirão da Estiva e Córrego Padre Simplicio nos termos da Portaria 1469/00 de conformidade com os artigos 8º (caput), 9º (incisos III e V) e 19 (caput e parágrafo 1º) da citada Portaria.

Art.8º - Cabe ao(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água exercer o controle da qualidade da água.

Art.9º Aos(s) responsável(is) pela operação de sistema de abastecimento de água incumbe:

III. manter avaliação sistemática do sistema de abastecimento de água, sob a perspectiva dos riscos à saúde, com base na ocupação da bacia contribuinte ao manancial, no histórico das características de suas águas,...

V. promover, em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos, as ações cabíveis para a proteção do manancial de abastecimento e de sua bacia contribuinte,...

Art. 19. Os responsáveis pelo controle de qualidade da água de sistemas e de soluções alternativas de abastecimento supridos por manancial superficial devem coletar amostras semestrais da água bruta, junto do ponto de captação, para análise de acordo com os

parâmetros exigidos na legislação vigente de classificação e enquadramento de águas superficiais, avaliando a compatibilidade entre as características da água bruta e o tipo de tratamento existente.

§1º O monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer à frequência mensal, quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 células/ml (ou 1mm³/L de biovolume), e semanal, quando o número de cianobactérias exceder este valor.

I.2 – Fornecer suporte técnico, com fundamento na interpretação do resultado das análises de monitoramento do manancial, objetivando auxiliar no direcionamento das ações da empresa na área da bacia no que tange a:

- fiscalização do manancial;
- planejamento de eventuais obras (rede de esgoto);
- educação ambiental.

1.2. 1ª fase do projeto:

- Determinação dos pontos de amostragem;
- Marcação dos pontos de amostragem no GPS;
- Determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos a serem monitorados;
- Determinação da periodicidade das amostragens em cada ponto.

Programa de Pesquisas em Políticas Públicas

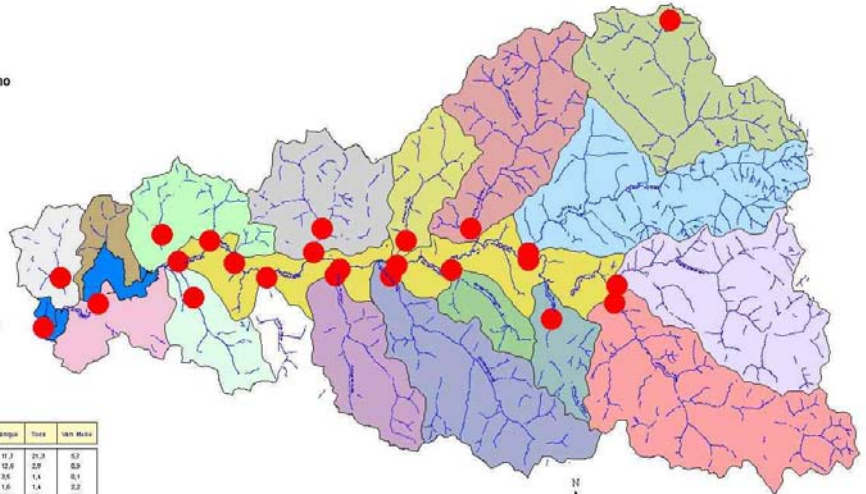
Diagnóstico Agroambiental para Gestão e Monitoramento da Bacia do Rio Jundiá-Mirim

Ponto de Amostragem de água

- 1 - Barragem Nova
- 2 - Barragem Velha
- 3 - Campo Verde
- 4 - Córrego Caxambuzinho
- 5 - Córrego do Areião
- 6 - Córrego do Tanque
- 7 - Escada Dissipação
- 8 - Estr. Itatiba
- 9 - Estr. Pinheirinho
- 10 - Jundiá-Mirim
- 11 - Jundiá-Mirim
- 12 - Jundiá-Mirim
- 13 - Ponte Alta
- 14 - Ponte do Fava
- 15 - P_15
- 16 - P_16
- 17 - Portal II
- 18 - Ribeirão Albino
- 19 - Ribeirão dos Perdões
- 20 - Ribeirão dos Soares
- 21 - Roseira
- 22 - Toca
- 23 - Trevo Estr. Itatiba
- 24 - Van Melle

- △ Rios
- Sub-bacias
 - Buraco Quente
 - Córrego Albino
 - Córrego Anana
 - Córrego Caxambuzinho
 - Córrego da Roseira
 - Córrego do Areião
 - Córrego do Perdão
 - Córrego Ponte Alta
 - Escada Dissipação
 - Horto
 - Jundiá-Mirim Calha
 - Portal II
 - Represa Nova
 - Ribeirão da Toca
 - Ribeirão do Tanque
 - Ribeirão dos Soares
 - Taruma
 - Van Melle
 - Lagos e reservatórios

Sub-bacias hidrográficas e pontos de amostragem para monitoramento da qualidade da água.






Usos nas sub-bacias (%)

Sub-bacia	Água	C. urbano	C. agrícola	C. florestal	C. pastagem	C. urbano	Reserva	Temper	Terra	Van Melle
Bacia do Rio Jundiá	12,5	2,1	9,9	9,7	9,4	9,9	29,9	11,7	21,3	9,7
Bacia do Rio Jundiá - Mirim	9,9	19,2	9,2	11,7	24,2	4,1	1,9	12,6	28	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Escada	9,4	13,8	21,3	9,1	2,5	2,4	3,6	1,4	9,1	
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Portal II	1,6	3,1	4,4	8,6	2,4	4,1	2,3	8,6	2,8	3,6
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Represa Nova	11,3	9,6	7,6	28,4	19,2	19,3	18,6	39,5	17,1	29,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Toca	9,9	9,5	9,1	9,9	1,9	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Van Melle	9,9	12,2	3,6	9,4	11,8	16,1	26,2	24,8	9,1	9,7
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Buraco Quente	19,1	4,1	12,4	9,9	6,6	6,3	6,2	2,4	12,6	11,8
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Córrego do Tanque	9,9	2,9	12,3	9,9	9,9	9,9	9,1	1,9	9,4	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Córrego da Roseira	1,9	4,9	9,9	9,9	1,3	9,4	10,7	2,1	18,8	1,4
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Córrego do Areião	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Córrego do Perdão	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Córrego Ponte Alta	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Escada Dissipação	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Horto	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Jundiá-Mirim Calha	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Portal II	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Represa Nova	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Ribeirão da Toca	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Ribeirão do Tanque	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Ribeirão dos Soares	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Taruma	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Van Melle	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9
Bacia do Rio Jundiá - Mirim - Lagos e reservatórios	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9	9,9



Tabela 2. Parâmetros microbiológicos x Periodicidade das análises nos pontos de amostragem

Parâmetros	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1 <i>A</i>	1 <i>B</i>	At <i>i</i>
Coliformes fecais	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Coliformes Totais	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Fitoplâncton		*	*		*										*					*	*	*	*	*	*	*	*

 Amostragem mensal
 Amostragem semanal
 Amostragem diária

APLICAÇÕES DO SISTEMA DE SENSORIAMENTO REMOTO POR SATÉLITES NA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

WEBER PIRES DE SÁ JÚNIOR

INTERSAT IMAGENS DE SATÉLITE

Rua Itororó, 555 – 12.216-440 – São José dos Campos - SP, Brasil

wpires@intersat.com.br

Resumo. Este artigo descreve alguns conceitos básicos do sensoriamento remoto por imagens de satélite e suas implicações no monitoramento ambiental e na gestão de recursos hídricos. Exemplos de aplicações práticas utilizando diferentes tipos de imagens orbitais, tanto de baixa quanto de alta resolução espacial, são apresentados. Além disso, são apresentados comentários sobre técnicas de pesquisas recentes na aplicação desta tecnologia e o uso do sensoriamento remoto como forma de gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, imagens orbitais, satélite, recursos hídricos, monitoramento ambiental.

1. Introdução

A aplicação do sensoriamento remoto aos estudos ambientais vincula-se ao programa da agência espacial americana - NASA com o lançamento do primeiro satélite de observação da terra em Julho de 1972. O *ERTS-1*, satélite de imageamento dos recursos terrestres, foi posteriormente batizado de *LANDSAT-1* tendo sua continuidade na série de satélites *Landsat* até o atual *LANDSAT-7* (Estes & Jansen, 1998). Este é o mais longo programa de observação da terra tendo sido posteriormente seguido por diversos outros programas, dentre eles o do *SPOT* francês em 1986 e recentemente o satélite *CBERS* lançado pelo programa de cooperação técnica entre Brasil e China (Florenzano, 2002).

A evolução da aplicação do sensoriamento remoto aos estudos ambientais e a gestão dos recursos hídricos foram devidas, principalmente, ao desenvolvimento tecnológico e aos avanços da física, química, matemática e da engenharia da computação. Os componentes multidisciplinares destas áreas do conhecimento humano pavimentaram de forma contundente os caminhos do desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica de coleta de informações a respeito da superfície do globo terrestre.

Atualmente, com satélites comerciais capazes de adquirir imagens com alta resolução espacial, (60 cm) o trabalho de interpretação de imagens orbitais se tornou mais acessível aos cientistas ambientais, uma vez que, devido à clareza das informações nas imagens, estas estão mais próximas às fotografias aéreas de alta definição. Processos de interpretação anteriores que necessitavam um conhecimento extremamente especializado e que levavam semanas para serem executados, hoje são concluídos em minutos por programas de geoprocessamento de imagens em computadores cada vez mais velozes e potentes, facilitando desta forma o uso de imagens orbitais para gestão de recursos hídricos e monitoramento ambiental.

Vale ressaltar que para a aplicação do sensoriamento remoto à gestão dos recursos hídricos e ao monitoramento ambiental, alguns conceitos básicos sobre sensoriamento remoto serão descritos a seguir, no intuito de se definir algumas das características importantes desta ferramenta na aplicação prática desta tecnologia.

2. Conceitos e Definições

A energia solar é a fonte principal de radiação eletromagnética que alcança o planeta e que interage com a superfície da Terra, de maneira que parte da energia refletida pelos diferentes alvos pode ser registrada. Um bom exemplo é o da visão humana que pode ser interpretada como “sensores biológicos” capazes de capturar a energia refletida pelos objetos na faixa espectral da luz visível (Lillesand & Kiefer, 1999). Da mesma maneira, os sensores dos satélites de imageamento terrestre capturam a energia refletida pelos diferentes objetos ou alvos, registrando-os em forma de números digitais que posteriormente se transformarão em imagens geoprocessadas.

A principal diferença física entre o olho humano e os sensores eletrônicos está na capacidade que os sensores têm de registrar diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas que variam do visível, passando pelo infravermelho e chegando até as ondas térmicas. Outros sensores acoplados a satélites/radares são capazes de criar imagens a partir de ondas de rádio e microondas mas que não serão abordados no escopo deste artigo.

As imagens capturadas pelos satélites representam as formas fisiográficas e as informações espaciais armazenadas sob a forma de números digitais em matrizes que são observadas após o tratamento em programas de geoprocessamento em forma de um conjunto de

píxels (cada ponto individual que formam as imagens) que possuem valores proporcionais à reflectância de cada unidade da superfície terrestre da área imageada.

Pela natureza do processo de aquisição das imagens, os elementos geográficos que nelas estão presentes necessitam ser identificados através de técnicas de fotointerpretação e classificação automática.

As quatro principais características das imagens de satélite são: 1) o número de bandas do espectro eletromagnético (resolução espectral), 2) a quantidade e largura de cada uma destas bandas (resolução radiométrica), 3) a área mínima observada pelo sensor do satélite instantaneamente (resolução espacial) e 4) a periodicidade entre duas passagens do satélite sobre a mesma região geográfica (resolução temporal). Todas estas características associadas determinam o tipo de imagem obtida e a aplicação destas imagens para estudos específicos.

3. A Importância da Energia Solar Refletida

A energia capturada pelos sensores é característica de cada superfície física ou biológica que apresentam comportamentos diversos que as tornam discerníveis umas das outras em termos espectrais. Por exemplo, uma superfície de mata nativa reflete diferentemente de um campo agrícola, da mesma maneira que um lago natural reflete diferentemente de um reservatório urbano. Essas características são, em última análise, a chave do sensoriamento remoto ambiental.

A energia refletida pelas diferentes superfícies terrestres ajuda na distinção de cada um dos objetos registrados pelos sensores dos satélites, o que determina a composição das imagens orbitais assim obtidas. A **Figura 1** apresenta curvas características de energia refletida em relação aos diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas, exemplificando diferentes alvos que podem se apresentar em uma cena ou imagem.

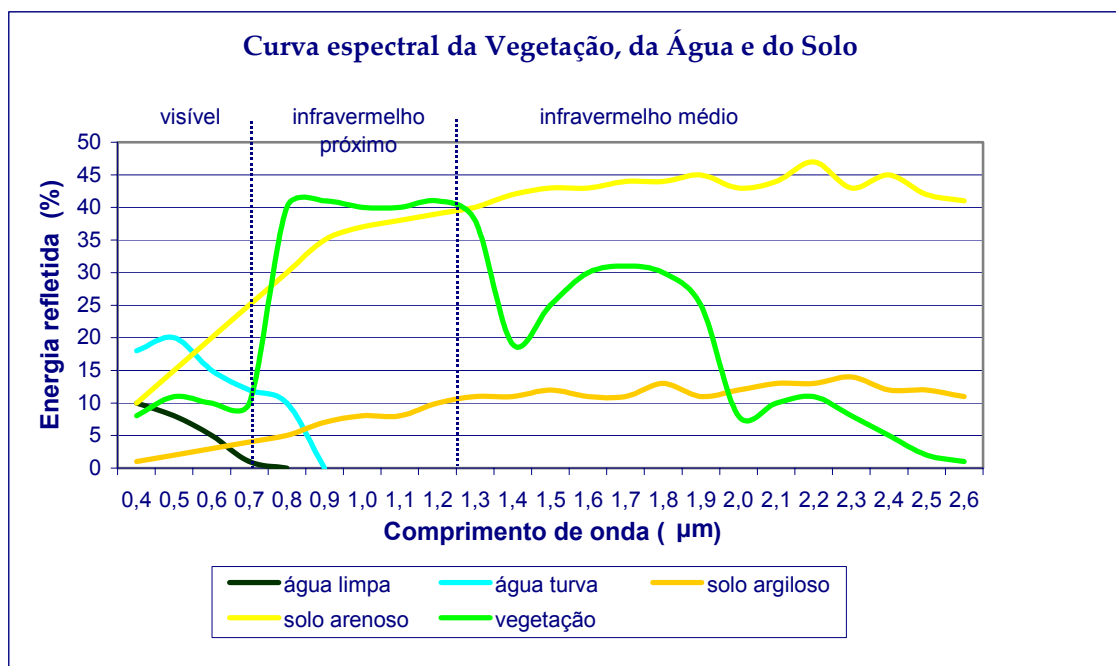


Figura 1. Exemplos de curvas espectrais de diferentes superfícies terrestres (modificado de Florenzano, 2002).

Pode-se observar no gráfico da **Figura 1** que na região do visível as diferentes superfícies refletem a energia em proporções distintas, sendo que os picos de reflexão ocorrem nos comprimentos de onda correspondentes às cores naturais com as quais se observam os objetos: azul-esverdeado para água limpa, amarelo-avermelhado para água suja, verde para a vegetação e assim por diante. Porém, ao se observar o espectro nos outros comprimentos de onda, infravermelho próximo e médio por exemplo, estes mesmos alvos apresentam um comportamento reflexivo bem mais pronunciado e discernível. Neste sentido, a contribuição dos sensores remotos é fundamental, ao capturar imagens em determinados comprimentos de onda que são invisíveis aos humanos.

4. Aplicações do Sensoriamento Remoto ao Monitoramento Ambiental

Um exame preliminar de uma imagem de satélite em uma tela de computador revela um interessante mosaico contendo faixas agrícolas, solos expostos, além de recursos florestais, culturais, geológico e aquáticos (Hoffer, 1998).

O uso de imagens de satélite no monitoramento ambiental se tornou uma ferramenta de grande importância a todos os profissionais que trabalham no monitoramento ambiental,

pesquisas ambientais aplicadas, gestão de recursos hídricos, ou que de alguma forma fazem uso de dados que necessitem da interpretação do espaço geográfico. Além disso, deve-se considerar que imagens orbitais permitem uma visão global da área de interesse e o seu posicionamento contextual. Por exemplo: as relações de causa e efeito se tornam evidentes em bacias hidrográficas que sofreram a ocupação e uso do solo de forma desordenada.

Assim, os efeitos podem ser identificados e estimados nos corpos d'água diretamente à partir de interpretações de imagens de satélites, por meio de programas de geoprocessamento de imagens.

Modelos desenvolvidos por Kloiber et al. (2000), utilizaram-se de imagens de *LANDSAT*, para apresentar uma classificação da transparência da água em centenas de lagos na região das "Twin Cities" no estado de Minnesota, Estados Unidos. Estudos como estes, seriam praticamente impossíveis de se executar por monitoramento convencional devido às complexidades técnicas e de logística. O estudo contou com coletas em campo para calibração do modelo, que foi aplicado em diversos lagos, para validar a transparência da água e a concentração de clorofila-a, correlacionadas com as bandas espectrais na faixa do visível adquiridas pelo sensor ETM+ do *LANDSAT 7*.

O desenvolvimento tecnológico e o aumento das resoluções espaciais em satélites comerciais abriram uma nova fronteira na aplicação de técnicas usadas na caracterização de ambientes terrestres e aquáticos.

Atualmente, satélites de alta resolução como *IKONOS* e *QUICKBIRD*, com 1 metro e 60 cm de resolução espacial respectivamente, têm sido utilizados no levantamento de impactos ambientais sobre os recursos hídricos, principalmente quando se exige um maior detalhamento e precisão nos estudos. Anteriormente, trabalhos com precisão e detalhamentos espaciais eram somente alcançados por ortofotografias aéreas. Um bom exemplo de uma área impactada por erosão, **Figura 2**, pode ser observado na imagem obtida pelo satélite *QUICKBIRD* sobre a cidade de Luena, em Angola.



Figura 2. Imagem QuickBird mostrando a erosão dos solos provocando o assoreamento de rios na cidade de Luena em Angola., 2003. Digital Globe ©.

Atualmente, estudos de levantamento de macrófitas aquáticas e monitoramento de ocupações irregulares em zonas de depleção de reservatórios são exemplos de aplicações de imagens orbitais de alta resolução. Medidas precisas das áreas e reflexo destas transformações podem ser facilmente obtidos devido à acurácia na localização e posicionamento dos satélites. Observar imagem do *QUICKBIRD* sobre a represa Billings em São Paulo, **Figura 3**, destacando as áreas de entorno com ocupação irregular das margens da represa.



Figura 3. Imagem QuickBird mostrando a ocupação irregular da margem direita onde a mata ciliar foi totalmente retirada e ocupação regular da margem esquerda com mata ciliar de proteção do reservatório. Represa Billings – SP, 2003. Digital Globe ©.

Outra importante aplicação dos satélites está relacionada a problemas associados com impactos de uso e ocupação do solo ao longo do tempo. O monitoramento de processos erosivos e de assoreamento de rios e lagos podem ser monitorados em escala temporal devido à continuidade e periodicidade cíclica das órbitas dos satélites. O fato destes satélites repetirem as mesmas órbitas a aproximadamente cada 15 dias e a sincronicidade com o sol permitem a obtenção de imagens em diferentes períodos do ano sempre nos mesmos horários, facilitando sobremaneira a comparação entre as diferentes imagens obtidas. Assim, as modificações ambientais podem ser monitoradas e medidas com enorme precisão espacial e temporal.

5. Observando a Água do Espaço

As reservas de água doce superficiais são consideradas bastante sensíveis em relação à sua vulnerabilidade a poluição. Além disso, os ecossistemas de água doce ocupam uma pequena porção da superfície da terra quando comparados aos ambientes marinhos e terrestres. O montante total de água doce, incluindo glaciares das regiões polares, corresponde a somente 3,5%

do total global de água do planeta. Os outros 96,5% pertencem aos vastos montantes de água salgada dos oceanos. As águas subterrâneas, lagos e rios juntos contêm somente 0,76% do montante total de água na Terra (Schneider, 2003).

Com tão poucas reservas de água doce assim, o papel das agências governamentais e da sociedade civil organizada é o de criar condições para que as reservas d'água possam ser exploradas e gerenciadas de maneira a se preservar os mananciais existentes. Neste sentido, o Brasil tem um importante papel na preservação dos recursos hídricos, pois detemos 12% de toda água doce superficial do planeta (Tuffani, 2003). A utilização do sensoriamento remoto na gestão dos recursos hídricos aparece assim como uma alternativa para o monitoramento global de bacias hídricas e no acompanhamento das alterações antrópicas sobre os ecossistemas terrestres.

Monitoramentos de bacias hidrográficas através de imagens de satélite permitem uma cobertura espacial extensa e periodicidade de informações, que se tornam efetivas sob o aspecto de custo benefício. Imagens obtidas do satélite *LANDSAT-7* possuem a resolução espacial de 15 metros em sua banda pancromática e de 30 metros nas bandas multiespectrais, além disso, uma grande área pode ser monitorada em uma mesma passagem do satélite (185 km x 185 km). Estas características, aliadas a uma base de dados geográficos, permitem uma análise global de uso e ocupação dos solos nas bacias hidrográficas, fatores fundamentais para a tomada de decisões em âmbito regional. Processos específicos e impactos localizados em sub-bacias podem ser monitorados mais detalhadamente utilizando-se imagens com resoluções menores, como as produzidas pelos satélites *SPOT-5*, *QUICKBIRD* ou *IKONOS*, de maneira que cadastramento de propriedades rurais ou urbanas possam ser facilmente levantados ou mesmo pequenos focos de desmatamentos em áreas de riscos possam ser detectados, permitindo a mitigação dos impactos nos rios e lagos. Um estudo de levantamento sistemático de bacias hidrográficas executado nos Estados Unidos, identificou diferentes estados tróficos de centenas de lagos e reservatórios em uma extensa região do estado de Minnesota, **Figura 4**, confirmando a capacidade de aplicação de imagens de satélite na gestão dos recursos hídricos para uma escala regional (Brezonik et al., 2000).

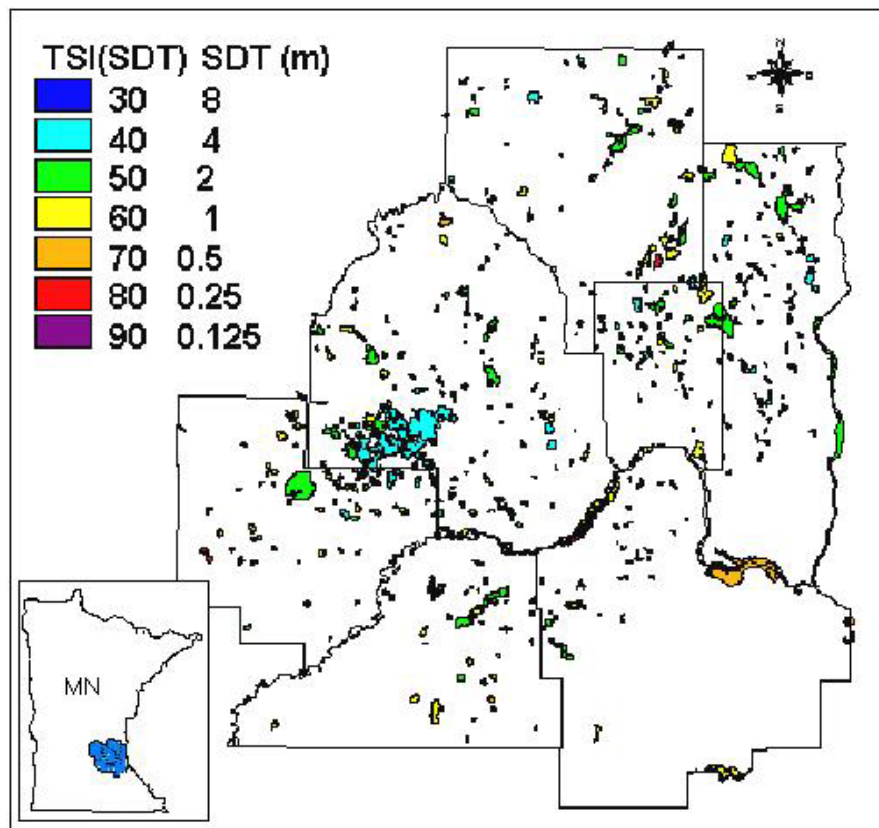


Figura 4. Área metropolitana das cidades de Minneapolis e St. Paul, Minnesota – EUA, mostrando a classificação trófica (TSI) e a transparência da água (SDT) de lagos monitorados pelo satélite Landsat-7 (Modificado de Bauer et al., 1998 – Universidade de Minnesota).

6. Monitoramento de Áreas Agrícolas e Bacias de Drenagem

As áreas de agricultura podem ser facilmente identificáveis a partir de imagens de satélite de baixa e média resolução espacial, facilitando o manejo dos solos em áreas agrícolas e em bacias de drenagem. Um exemplo dos padrões observáveis por sensoriamento remoto pode ser visto na **Figura 5**, que apresenta uma imagem adquirida pelo satélite Spot 5 com 10 metros de resolução espacial utilizando-se das bandas multiespectrais para a criação desta composição colorida.

A importância da utilização das imagens de satélite no manejo agrícola está relacionada não somente à identificação de diferentes culturas mas também à capacidade de detecção de problemas relativos ao estresse das culturas, tais como falta de nutrientes ou ataque de pragas.



Figura 5. Imagem do Satélite Spot-5 mostrando os padrões circulares de irrigação por pivô central no estado do Mato Grosso. Observa-se nesta imagem uma intensa atividade agrícola na qual muito pouco da mata nativa foi deixada entre os campos de soja, milho, e solo exposto, em tons de verde claro, azul, e rosa respectivamente. Copyright CNES – 2003.

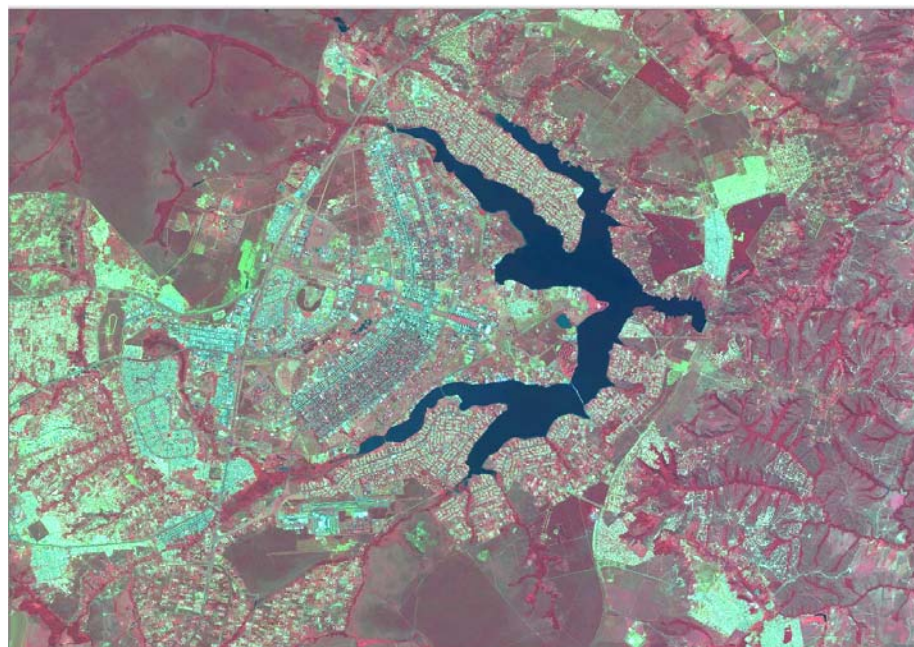


Figura 6. Imagem do satélite Spot-5 apresentando a composição em falsa cor de infra-vermelho, onde se destacam a área urbana de Brasília – DF em tons de azul claro, o Lago Paranoá em azul escuro e toda a vegetação em tons vermelho. Copyright CNES – 2003.

A imagem apresentada na **Figura 6** corresponde a um mosaico de quatro cenas do satélite Spot-5 mostrando todo o plano piloto da cidade de Brasília e seus arredores. Vale notar a vegetação de cerrado que reflete grande quantidade de energia na porção do infravermelho (tons de vermelho na imagem) e o destaque das matas de galeria que acompanham as margens dos rios que formam o Lago Paranoá na porção central da imagem. Imagens em composição falsa cor, infravermelho, com 10 metros de resolução espacial, são especialmente utilizadas para uma visão geral de extensas áreas geográficas com destaque para a cobertura vegetal nativa em bacias de drenagem. A vantagem na utilização da banda infravermelho do satélite está no fato de que quanto mais vigorosa ou saudável se apresenta a vegetação, mais energia nesta porção do espectro magnético é refletida. Assim, estresse na vegetação oriundo de diferentes causas, pode facilmente ser identificado. Além disso, os rios e lagos absorvem quase toda energia nesta banda, o que os torna azul escuros ou negros, facilitando o delineamento dos corpos d'água e a determinação da rede hidrográfica de uma região.

7. Conclusão

O uso do sensoriamento remoto para o monitoramento ambiental e gestão de recursos hídricos é a melhor ferramenta tecnológica disponível no momento, para se obter uma cobertura global de grandes áreas geográficas. Imagens de satélites são particularmente adequadas por fornecerem não somente dados visuais das áreas de interesse como também capacidade de adquirir informações em diferentes bandas espectrais invisíveis à vista humana.

Várias opções de satélites comerciais, atualmente, permitem escolher diferentes resoluções espaciais que variam de 30 metros a 60 centímetros, dependendo da precisão e características do levantamento ou estudos nas áreas de interesse. Outro fator que amplia a versatilidade desta ferramenta está relacionado à periodicidade de passagem dos satélites, que facilita estudos temporais globais e imagens históricas da superfície da Terra. Os custos razoáveis de imagens de satélites de baixa resolução espacial e a crescente capacidade dos programas de geoprocessamento de imagens, indicam que este é o momento apropriado para se pensar em utilizar o sensoriamento remoto como forma de monitoramento dos recursos hídricos em escala regional, criando condições para os processos de tomadas de decisão da preservação dos mananciais hídricos brasileiros.

O sensoriamento remoto pode se tornar um aliado das diversas agências governamentais e comitês de bacias, criados para manejar e gerir os recursos hídricos, e que não possuem fundos suficientes para um monitoramento convencional dos corpos d'água sob sua responsabilidade.

O crescente interesse e a real necessidade de se desenvolver processos de manejo adequado de bacias hidrográficas é um reforço e estímulo para os pesquisadores e cientistas que têm se dedicado aos estudos de aplicação de imagens de satélite ao monitoramento ambiental e à gestão dos recursos hídricos.

Referências

- BREZONIK, P. L.; OSGOOD, R. A.; OLMANSON, L.; DAY, E.; HATCH, L.; DOYLE, J.; PENY, J. A.; BAUER, M.; MacBETH, E.; ANDERLE, T. **Cumulative impacts of development on lakes in the north central Hardwood Forest ecoregion of Minnesota**: an exploratory study. Final report submitted to the Minnesota Department of Natural Resources. St. Paul: University of Minnesota, 2000.
- ESTES, J. E.; JENSEN, J. R. Development of remote sensing digital image processing and raster GIS. In: FORESMAN, T. **The history of geographic information systems**: Perspectives from the pioneers. New Jersey: Prentice-Hall, 1998. Chapter 10.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.
- HOFFER, R. M. Remote sensing and GIS in agriculture and forestry – The early years. In: FORESMAN, T. **The history of geographic information systems**: Perspectives from the pioneers. New Jersey: Prentice-Hall, 1998. Chapter 9.
- KLOIBER, S. M.; ANDERLE, T. H.; BREZONIK, P. L.; OLMANSON, L.; BAUER, M. E.; BROWN, D. A. Trophic state assessment of lakes in the twin cities (Minnesota, USA) region by satellite imagery. **Archives of Hydrobiologia**: Special Issues in Advanced Limnology, v. 55, p. 137- 151, 2000.
- LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 4. ed. New York: John Wiley, 1999. 724 p.
- SCHNEIDER, S. H. Encyclopedia of climate and weather. **Revista Galileu**, n. 140, p. 43-54, 2003. Dossiê – Sede Global.

GEOPROCESSAMENTO E PLANEJAMENTO AGROAMBIENTAL

EMÍLIA HAMADA

¹EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Caixa Postal 69 - 13820-000 - Jaguariúna - SP, Brasil

emilia@cnpma.embrapa.br

Resumo. Este trabalho apresenta o geoprocessamento como uma ferramenta útil na gestão e no planejamento ambientais, dando destaque ao SIG, sua filosofia, principais conceitos, potencial e aplicabilidade e, por último, um exemplo de aplicação no planejamento agroambiental.

Palavras-chave: sistema de informação geográfica, suporte à decisão, agricultura, meio ambiente.

1. Introdução

As preocupações com as questões ambientais remontam ao início dos tempos, quando as forças naturais eram consideradas manifestações divinas. Com o passar do tempo e a evolução da humanidade, foram surgindo diversas correntes de pensamento, discutindo a relação homem-natureza, principalmente, com respeito à utilização dos recursos naturais (conservação/preservação e escassez), frente ao crescimento populacional.

Segundo Maurice Strong, Secretário-Geral da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), no encontro global realizado no Rio de Janeiro, em 1992: “O desenvolvimento e o meio ambiente estão indissolúvelmente vinculados e devem ser tratados mediante a mudança de conteúdo, das modalidades e das utilizações do crescimento”.

A Agenda 21, aprovada durante a CNUMAD, conclama a todos para uma associação mundial em prol do desenvolvimento sustentável e apresenta um programa de ação para a sua implementação.

Segundo a Comissão Mundial de Desenvolvimento Sustentável (CMDS), desenvolvimento sustentável é “o processo de transformação no qual a exploração de recursos, direção dos investimentos, orientação do desenvolvimento tecnológico e mudanças institucionais se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de atender às necessidades e aspirações humanas”.

De uma forma mais ampla, em “Nosso Futuro Comum”¹, define-se assim o desenvolvimento sustentável: “Aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades”.

Segundo Sachs (1993), o desenvolvimento sustentável deve contemplar as seguintes dimensões: social, econômica, ecológica, espacial e cultural. Desta forma, o desenvolvimento sustentável é obtido pela obediência simultânea ou conciliação aos três critérios fundamentais: eficiência econômica, equidade social ou justiça social e prudência ecológica.

Embora as definições de desenvolvimento sustentável sejam muitas, segundo a FAO (2000), uma característica inerente à maioria das decisões sobre desenvolvimento sustentável é que elas são multidisciplinares ou inter-setoriais, pois necessitam negociações entre objetivos conflitantes de diferentes setores; e que, no entanto, a maioria das agências de desenvolvimento de recursos naturais são orientadas por um único setor.

A importância de uma abordagem integrada do desenvolvimento e gerenciamento dos recursos naturais é enfocada em muitos fóruns internacionais de desenvolvimento sustentável. A Agenda 21 (BRASIL, 1994), em seu Capítulo 10, observa que:

“...As crescentes necessidades humanas e a expansão das atividades econômicas estão exercendo uma pressão cada vez maior sobre os recursos terrestres, criando competição e conflitos e tendo como resultado um uso impróprio tanto da terra como dos recursos terrestres. Caso queiramos, no futuro, atender às necessidades humanas de maneira sustentável, é essencial resolver hoje esses conflitos e avançar para um uso mais eficaz e eficiente da terra e de seus recursos naturais. A abordagem integrada do planejamento e do gerenciamento físico e do uso da terra é uma maneira eminentemente prática de fazê-lo. Examinando todos os usos da terra de forma integrada é possível reduzir os conflitos ao mínimo, fazer as alternâncias mais eficientes e vincular o desenvolvimento social e econômico à proteção e melhoria do meio ambiente, contribuindo assim para atingir os objetivos do desenvolvimento sustentável. A essência dessa abordagem integrada se expressa na coordenação de planejamento setorial e atividades de gerenciamento relacionadas aos diversos aspectos do uso da terra e dos recursos terrestres.”

Neste sentido, o geoprocessamento pode ser bastante útil na abordagem integrada, por ser uma ferramenta computacional muito poderosa, integrando grandes bancos de dados, de diferentes setores, permitindo, entre outras, a análise matemática e estatística desses dados.

¹ COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro, Ed. Fundação Getúlio Vargas. 1991.

O objetivo deste trabalho é apresentar o geoprocessamento como uma ferramenta útil na gestão e planejamento ambientais, descendo o SIG (Sistema de Informações Geográficas), sua filosofia, principais conceitos, potencial e aplicabilidade. Também, é apresentado um exemplo de aplicação do geoprocessamento no planejamento ambiental.

Não se pretende aqui esgotar todo o assunto, uma vez que o tema do geoprocessamento é muito amplo. Trata-se principalmente de introduzir a questão, de forma que leigos e recém-iniciados no assunto, de diversas áreas da gestão ambiental, como das administrações municipais, estaduais, universidades, entidades privadas e órgãos não-governamentais, possam formular demandas e propor aplicações aos especialistas.

2. Definições de Sistema de Informações Geográficas

Há muitas definições de Sistema de Informações Geográficas (SIG) na literatura. No **Quadro 1** são apresentadas algumas delas, definindo o SIG em três categorias: ferramenta, base de dados espacial e para a organização/manuseio da informação espacial.

Pode-se, então, concluir que a maneira de definir ou “pensar” o SIG está relacionada à sua forma de utilização ou aplicação principal que se deseja.

Para os nossos objetivos, o enfoque será dado ao aspecto do SIG como uma poderosa ferramenta computacional, que manipula dados geograficamente referenciados (georreferenciados), que são mantidos em formato digital.

Segundo Aronoff (1989), existem quatro razões para se usar um SIG:

- 1) Os dados armazenados digitalmente estão em uma forma mais compacta do que se eles estivessem em mapas de papel ou em pilhas nas mesas. Normalmente, os dados são armazenados em um ou mais arquivos de um disco rígido fixo, fitas streamer, discos rígidos removíveis, discos ópticos fixos ou discos ópticos removíveis;
- 2) Grande quantidade de dados pode ser mantida e recuperada com grande velocidade e a um custo menor por unidade de dado, quando são utilizados sistemas computacionais;
- 3) A habilidade de gerenciar os dados espaciais e seus correspondentes dados de atributo e de integrar diferentes tipos de dados de atributos em uma única análise, à alta velocidade, são incomparáveis com os métodos manuais; e
- 4) A habilidade de rapidamente realizar análises espaciais complexas fornecem vantagem tanto quantitativa quanto qualitativa. Cenários de planejamento, detecção e análise de mudança e

outros tipos de planos podem ser desenvolvidos por refinamentos de análises sucessivas. Este processo interativo somente se torna prático com um SIG, pois cada processamento computacional pode ser feito rapidamente e a um custo relativamente baixo.

Quadro 1. Definições de SIG

(a) Definições baseadas na ferramenta:

“um poderoso conjunto de ferramentas para a coleta, armazenamento, fácil recuperação, transformação e exibição de dados espaciais do mundo real” (Burrough, 1986).

“um sistema para captura, armazenamento, checagem, manipulação, análise e exibição de dados que são espacialmente referenciados” (Department of Environment, 1987)*.

“uma tecnologia de informação que armazena, analisa, exibe tanto dados espaciais quanto dados não espaciais” (Parker, 1988)*.

“um sistema computacional assistido para a coleta, armazenamento, análise e visualização de dados geográficos” (Eastman, 1997).

“uma ferramenta para a integração e análise de dados referenciados geograficamente” (Maguire, 1991).

(b) Definições de base de dados:

“um sistema de base de dados no qual a maioria dos dados está indexada espacialmente e sobre os quais um elenco de procedimentos é operacionalizado, com a finalidade de responder perguntas sobre entidades espaciais na base de dados” (Smith et al., 1987)*.

“qualquer conjunto de procedimentos de forma manual ou computacional, utilizado para armazenar e manipular dados geograficamente referenciados” (Aronoff, 1989).

(c) Definições baseadas na organização:

“um conjunto de funções automáticas que assegura aos profissionais o armazenamento, a recuperação, a manipulação e a exibição de dados geograficamente localizados, com recursos/capacidades avançadas,” (Ozemoy, Smith & Sicherman, 1981)*.

“uma entidade institucional, que reflete uma estrutura organizacional, que integra a tecnologia, uma base de dados, os especialistas e um contínuo suporte financeiro” (Carter, 1989)*.

“um sistema de suporte à decisão envolvendo a integração de dados referenciados espacialmente em um ambiente de solução de problema” (Cowen, 1988).

Fonte: Adaptado de Burrough & McDonnell (1998).

Observação: (*) apud Burrough & McDonnell (1998).

3. Histórico do desenvolvimento do SIG

As raízes da tecnologia de gerenciamento da informação geográfica datam de meados do século XVIII, quando a cartografia se desenvolveu e foram então produzidos os primeiros mapas básicos precisos (Antenucci et al., 1991). Ainda, segundo esses autores, nos duzentos anos seguintes foi observado um grande desenvolvimento nas diversas áreas da ciência que afetaram o SIG, porém, o fato determinante que propiciou uma rápida evolução da tecnologia do SIG foi o surgimento dos primeiros computadores eletrônicos em 1940, que marcou o início da era do computador.

O SIG, propriamente dito, como conhecemos atualmente, teve sua origem com o desenvolvimento do Canadian Geographic Information System (CGIS), no início dos anos de 1960. Segundo Star & Estes (1990), três importantes fatores propiciaram a criação dos sistemas de informações geográficas nos anos de 1960: os refinamentos na técnica cartográfica, o rápido desenvolvimento dos sistemas computacionais digitais e a revolução quantitativa na análise espacial. Esses fatores foram muito importantes, pois ajudaram a fornecer as ferramentas analíticas, assim como o estímulo aos pesquisadores e profissionais em uma variedade de aplicações. Apesar disso, nos anos de 1960 e início dos de 1970, o SIG era ainda restrito a um pequeno grupo de pessoas, devido ao alto custo e limitações técnicas relacionados aos equipamentos computacionais.

Nos anos de 1970, foi observado um grande desenvolvimento do SIG, advindo do aumento da capacidade computacional e o desenvolvimento de tecnologias em áreas relacionadas, tais como: sensoriamento remoto, sistema de gerenciamento de banco de dados, cartografia digital, processamento de imagens, fotogrametria e projeto assistido por computador (*Computer Aided Design* - CAD). Nesse período, o SIG ainda tinha o seu uso restrito às universidades, órgãos de pesquisa e pequenas empresas privadas, porém já em maior número.

Já nos anos de 1980, o SIG realmente decolou, especialmente na última metade da década, devido a dois fatores principalmente: o desenvolvimento significativo dos microprocessadores, que permitiram a redução de custos e a concentração de grande quantidade de memória em chips muito pequenos e, ainda, a proliferação de softwares de baixo custo, muitos deles disponíveis para computadores pessoais (PCs). Esses fatores propiciaram a emergência comercial do SIG como uma nova tecnologia de processamento de informações, oferecendo capacidades únicas de automação, gerenciamento e análise de uma variedade de dados espaciais

Atualmente, a preocupação crescente pelas questões ambientais tem requerido a utilização do SIG de forma cada vez mais usual, por ser uma poderosa ferramenta no gerenciamento e planejamento.

4. Filosofia do SIG

Segundo Eastman (1997), o SIG tem um enorme impacto em todos os campos que utilizam e analisam dados distribuídos espacialmente. Aos que não estão familiarizados com a tecnologia, é fácil vê-lo como uma caixa mágica. A velocidade, a consistência e a precisão com as quais ele opera realmente impressiona e seu forte caráter gráfico é difícil de resistir. Porém, para os analistas experientes a filosofia do SIG é bem diferente. Com a experiência, o SIG torna-se simplesmente uma extensão do pensamento analítico da pessoa. Ele é uma ferramenta, tal como a estatística é uma ferramenta. Ele é uma ferramenta para o pensamento.

As vantagens mais comuns da utilização do SIG são que os dados, uma vez inseridos no sistema, são manipulados com rapidez; além disso, o sistema permite análises dos dados de forma mais eficiente, utilizando ferramentas matemáticas e estatísticas sofisticadas e também com menor subjetividade que se fossem realizadas de forma manual; o SIG também possibilita processos de tomada de decisão, facilita a atualização dos dados e produz mapas com rapidez.

Na **Figura 1** está apresentada uma representação esquemática da utilização do SIG. Observe que o processo é um ciclo. De uma forma simplificada, podemos ver assim a sua utilização:

As fontes de dados, são interpretações da realidade, uma vez que estas foram obtidas do mundo real. No SIG ocorrem os processos de entrada de dados, gerenciamento de dados, armazenamento e análise de dados, que substituem os métodos tradicionais de tratamento de dados geográficos. A partir daí, são geradas informações, que em sua forma mais usual são produtos cartográficos (cartas, gráficos e tabelas), que auxiliam ou dão subsídio aos usuários para uma tomada de decisão. Com o consenso na decisão escolhida, ela é então colocada em ação, agindo sobre o mundo real e eventualmente modificando-o, necessitando, então, de novas aquisições de dados de uma realidade diferente. E assim por diante.

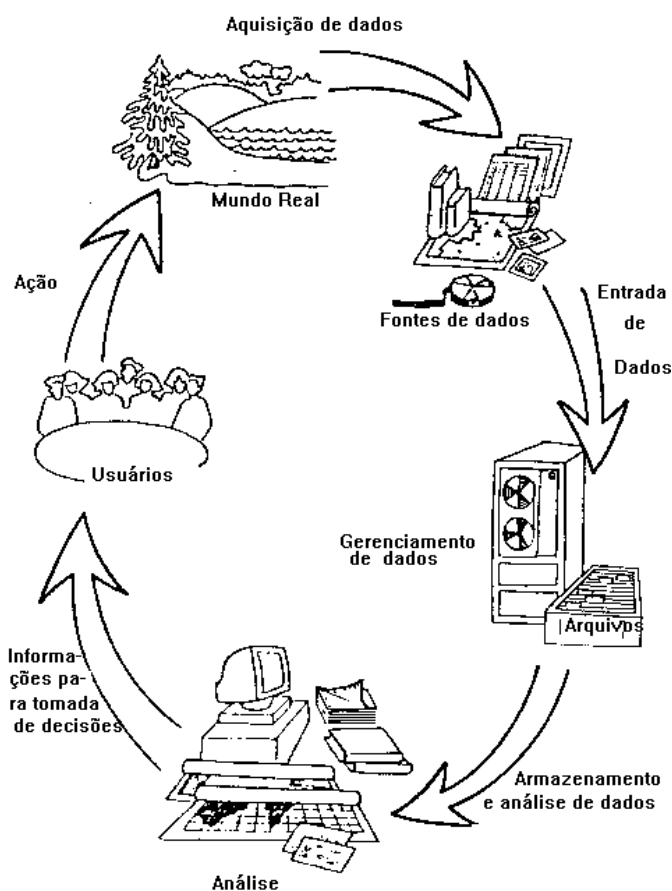


Figura 1. Representação esquemática geral de utilização do SIG.

Entre os desafios na implantação do SIG está o alto custo inicial para a aquisição do sistema. Porém, investir em SIG requer mais do que um investimento em hardware e software. De fato, em muitas circunstâncias esta é a última questão a se considerar, pois um investimento substancial também precisa ser destinado ao desenvolvimento do banco de dados. Por fim, um dos últimos investimentos reconhecidos e de maior importância é no corpo técnico (usuários especialistas) que utilizará o sistema. O sistema e o usuário especialista não podem ser separados – um é simplesmente a extensão do outro. Além disso, o processo de incorporação das capacidades do SIG dentro de uma instituição requer um investimento em longo prazo e amplo treinamento e educação da organização.

Aprender SIG envolve aprender a pensar - aprender a pensar sobre os padrões, sobre o espaço e sobre os processos que agem no espaço. À medida que você aprende sobre os procedimentos específicos, eles freqüentemente serão encontrados no contexto das aplicações específicas e

geralmente serão designados por nomes que sugerem essas aplicações típicas. Porém, resista à tentação de categorizar essas rotinas. A maioria dos procedimentos tem aplicações muito mais gerais e podem ser utilizados de muitos modos inesperados e inovadores.

O SIG é uma ferramenta computacional poderosa e é, portanto, imprescindível o planejamento, desde a sua implantação até a sua utilização, a fim de atingir os objetivos desejados e explorar tudo que ele pode proporcionar. O êxito de sua utilização depende exclusivamente da forma como o usuário o utiliza.

5. Componentes de um SIG

Embora se pense no SIG como um “elemento único” de software, ele possui, de fato, como característico a composição de uma variedade de diferentes componentes (Eastman, 1997). Na **Figura 2** estão apresentados os elementos que geralmente compõem um SIG. Nem todos os SIG’s apresentam todos esses elementos porém os elementos básicos deverão estar presentes para que seja considerado um SIG.

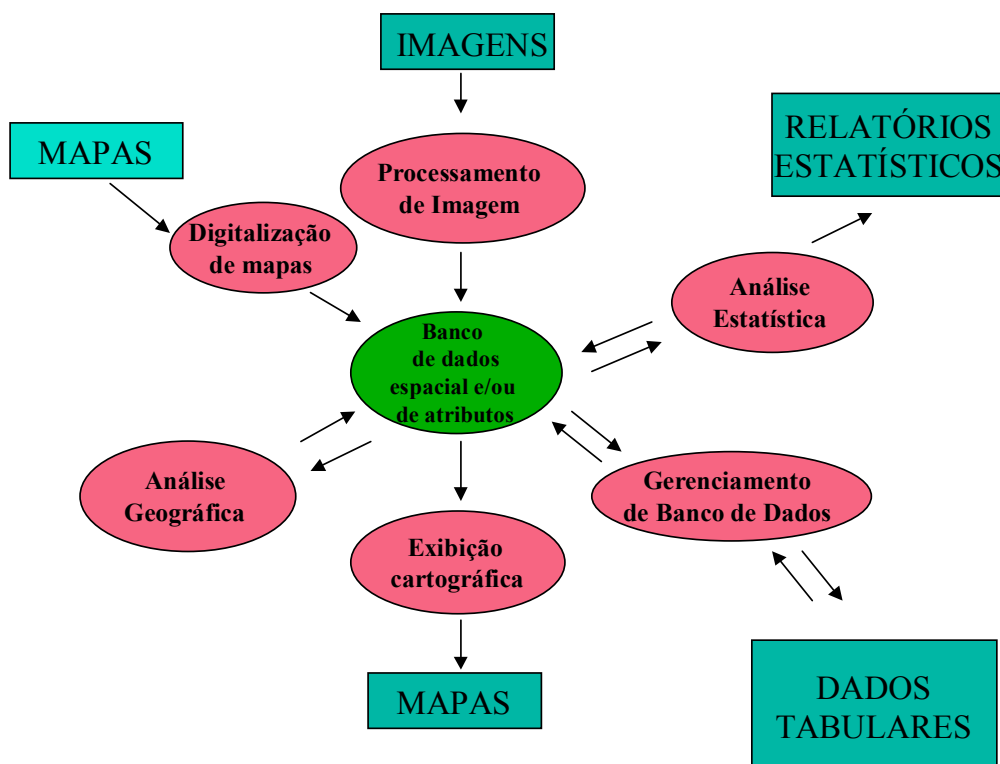


Figura 2. Componentes de um Sistema de Informações Geográficas – Adap. de Eastman (1997).

O sistema central do SIG é o banco de dados, que é uma coleção de mapas e informações associadas no formato digital. Ao redor do banco de dados encontra-se uma série de componentes de softwares.

O sistema de exibição ou visualização cartográfica permite selecionar os elementos do banco de dados e produzir um mapa na tela/monitor do computador ou a saída para uma impressora ou plotter.

O sistema de digitalização de mapas permite a entrada de dados de mapas em papel e transformação dessas informações no formato digital.

O termo Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), normalmente, faz referência a um tipo de software que é utilizado para a entrada, gerenciamento e análise de dados de atributo. Um SIG, entretanto, incorpora, além disso, uma variedade de opções para o gerenciamento de componentes espaciais e de atributos de dados geográficos armazenados.

O sistema de análise geográfica proporciona a análise de dados ou atributos baseada em suas características espaciais.

O sistema de processamento de imagem permite a análise de imagens de sensoriamento remoto e fornece análises estatísticas especializadas.

O sistema de análise estatística apresenta uma série de rotinas para a descrição estatística de dados espaciais.

O sistema de suporte à decisão é uma das mais importantes funções de um SIG e possibilita utilizar ferramentas matemáticas e estatísticas especialmente desenvolvidas para este fim.

6. Exemplo de aplicação em planejamento agroambiental: alocação de terras

6.1. Aplicações do geoprocessamento

O geoprocessamento tem sido muito empregado pelos órgãos governamentais, entidades privadas e não-governamentais, com o objetivo, principalmente, de integrar dados espaciais e não espaciais, em seus projetos e estudos relacionados ao meio ambiente.

Diversos são os exemplos de aplicação do geoprocessamento, tais como:

- **Recursos naturais** (estudos de impacto ambiental, modelagem das águas subterrâneas e do caminhamento dos contaminantes, estudos das migrações e dos habitats das faunas, pesquisa do potencial mineral, etc.);

- **Gestão das explorações agrícolas** (cultivo de campo, manejo de irrigação, avaliação do potencial agrícola da terra, etc.);
- **Área urbana** (planejamento dos transportes, desenvolvimento de plano de evacuação, localização dos acidentes, seleção dos itinerários, etc.);
- **Gestão das instalações** (localização dos cabos e tubulações, planejamento e manutenção das instalações, etc.);
- **Administração pública** (gestão de cadastro, avaliação predial/territorial, gestão da qualidade das águas, conservação/manutenção das infraestruturas, planos de organização, etc.);
- **Comércio** (análise da estrutura de mercado, planejamento de desenvolvimento, análise da concorrência e das tendências de mercado, etc.); e
- **Saúde pública** (epidemiologia, distribuição e evolução das doenças, distribuição dos serviços sociais sanitários, planos de emergência, etc.).

Embora os exemplos citados acima tenham sido classificados nessas diferentes áreas, isso se deve ao enfoque principal dos mesmos, uma vez que as aplicações de geoprocessamento na gestão ambiental possuem inerente caráter multidisciplinar.

A seguir, apresentamos um estudo de caso, a fim de demonstrar a possibilidade de aplicação do geoprocessamento como ferramenta no planejamento agroambiental.

6.2. Estudo de caso: planejamento agroambiental

O planejamento é um processo contínuo e cíclico de tomada de decisão, que se compõe de uma série de estágios, relacionados de modo sistemático e ordenado, a fim de se encontrar as melhores e, principalmente, as mais racionais decisões (Conyers & Hills, 1984).

A Agenda 21 (BRASIL, 1994), em seu Capítulo 10 sobre a “Abordagem integrada do planejamento e do gerenciamento dos recursos terrestres” enfoca, entre outras, a necessidade de facilitar a **alocação de terras** a usos que proporcionem os maiores benefícios de forma sustentável, com a participação ativa nesse **processo de tomada de decisão** de todas as pessoas ou grupos afetados, através da aplicação de instrumentos de planejamento e gerenciamento:

“O objetivo global é facilitar a alocação de terra aos usos que proporcionem os maiores benefícios sustentáveis e promover a transição para um gerenciamento sustentável e integrado dos recursos terrestres. Ao fazê-lo, as questões ambientais, sociais e econômicas devem ser tomadas em consideração.”

As áreas protegidas, o direito à propriedade privada, os direitos das populações indígenas e de suas comunidades e os direitos de outras comunidades locais, bem como o papel econômico da mulher na agricultura e no desenvolvimento rural, inter alia, devem ser levados em conta.”

e, ainda,

“Os Governos, no nível apropriado, com o apoio das organizações nacionais e internacionais, devem promover a melhora, um desenvolvimento mais aprofundado e uma aplicação ampla dos instrumentos de gerenciamento e planejamento que facilitam uma abordagem integrada e sustentável da terra e dos recursos.”

O Capítulo 40 “Informação para a tomada de decisões”, da Agenda 21 (BRASIL, 1994), observa que devem ser estabelecidos sistemas contínuos e acurados de coleta de dados e recomenda para a avaliação e análise de dados a utilização de sistemas de informações geográficas, sistemas especialistas, modelos e uma variedade de outras técnicas:

“...Os centros nacionais e internacionais de dados e informações devem estabelecer sistemas contínuos e acurados de coleta de dados e utilizar os sistemas de informações geográficas, sistemas de especialistas, modelos e uma variedade de outras técnicas para a avaliação e análise de dados. Esses passos serão especialmente pertinentes, pois será preciso processar uma grande quantidade de dados obtidos por meio de fontes de satélites no futuro.”

A análise da decisão que enfatiza o desenvolvimento, a avaliação e a aplicação de técnicas baseadas na lógica matemática e estatística na tomada de decisão é realizada pelos Sistemas de Suporte à Decisão (SSD's).

A integração do SIG e de SSD possibilita que o processo de tomada de decisão seja realizado de forma mais fundamentada, pois o agente de decisão tem à sua disposição dados/informações mais prontamente acessíveis, mais facilmente combinados e modificados, além de utilizar argumentos mais claros para a decisão (Eastman et al., 1993).

O emprego do SIG em problemas de tomada de decisão é recente, mas vem se mostrando cada vez mais uma ferramenta poderosa e eficiente nas diversas áreas do conhecimento, incluindo o planejamento agro-ambiental, como exemplificados pelos trabalhos de Montas & Madramootoo (1992) e Stein et al. (1995).

A seguir, apresentamos o trabalho desenvolvido por Hamada et al. (1997), que apresenta uma metodologia de trabalho utilizando SIG e SSD para aplicação na alocação das terras para uso em

agricultura irrigada. A área de estudo é a bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, no município de Iracemápolis, SP. O objetivo é a confecção de um mapa de adequação das terras para agricultura irrigada da microbacia hidrográfica de estudo.

Nesse estudo foi utilizado o SIG Idrisi *for Windows* e as ferramentas de SSD presentes no SIG. A área de estudo possui cerca de 1.346 hectares, sendo que aproximadamente 91% de sua área é ocupada por cana-de-açúcar e pastagem, demonstrando ser a área essencialmente agrícola (**Figura 3**).

Os mapas de entrada do SIG foram de uso da terra (**Figura 4**), planialtimétrico e de solos (**Figura 5**), obtidos de Bacellar (1994). A partir desses planos de informação iniciais foram gerados os mapas de declividade e de classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso (**Figura 6**). Esses são os mapas básicos neste estudo.

A metodologia utilizada é denominada de “Objetivo único e múltiplos critérios” e foi baseada em Eatman et al. (1993). Os critérios considerados são compostos de uma restrição e três fatores. A restrição adotada é que a análise deve considerar somente as áreas ocupadas por pastagem e cana-de-açúcar no mapa de uso da terra.

Os fatores considerados foram:

- (i) Proximidade da água, visando à irrigação;
- (ii) Classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso²; e
- (iii) Declividade.

Portanto, as áreas mais aptas à agricultura irrigada seriam as localizadas mais próximas da água, as que possuem as melhores classificações no sistema de capacidade de uso e as que possuem os menores declives.

² É uma metodologia que propicia o conhecimento das limitações e potencialidades das terras para utilização agrosilvipastoril. Ela é recomendada primordialmente para fins de planejamento de práticas de conservação do solo, ao nível de propriedades ou empresas agrícolas, ou para pequenas bacias hidrográficas (LEPSCH et al., 1991). Inúmeros trabalhos têm utilizado dessa metodologia em SIG's, tais como os de Stefani et al. (1996), HAMADA et al. (1996) e LOPES ASSAD et al. (1998).

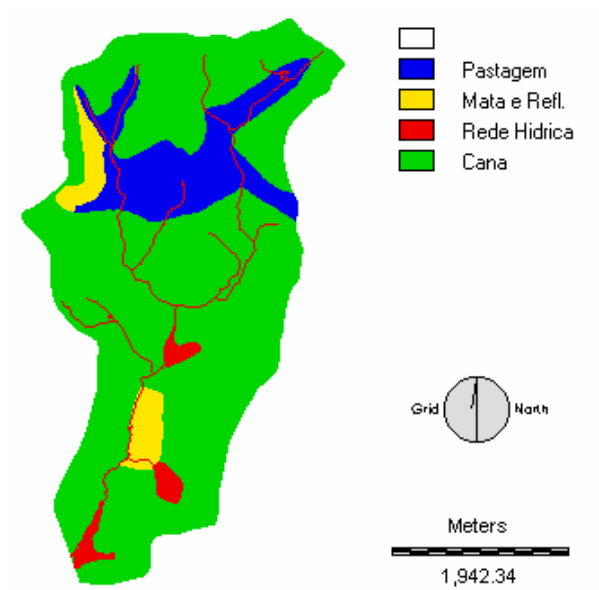


Figura 3. Mapa de uso da terra.

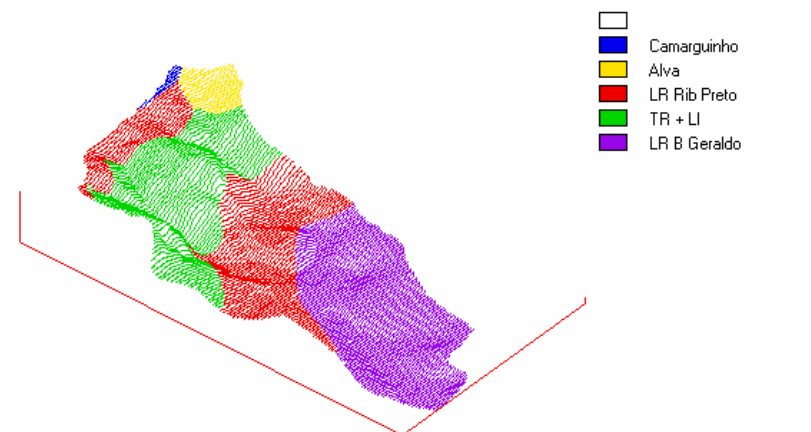


Figura 4. Modelo de elevação digital com solos da área de estudo.

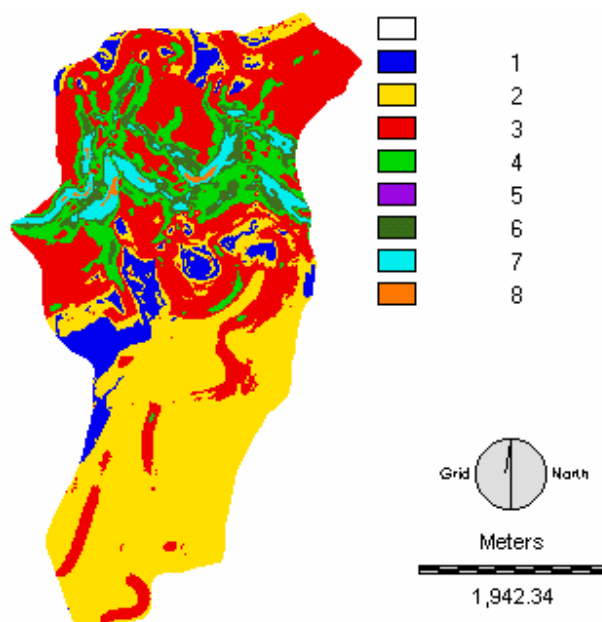


Figura 5. Mapa de classificação das terras pelo sistema de capacidade de uso.

Foram obtidos, inicialmente, os mapas de critérios (restrições e fatores). A restrição é que somente as áreas ocupadas por pastagem e cana-de-açúcar devem ser analisadas. Portanto, a partir do mapa de uso da terra, foram separadas as áreas de interesse.

O mapa de fator proximidade da água foi obtido considerando que as melhores terras para o uso em irrigação são as mais próximas da rede hídrica. Foi obtido o mapa de distância dos cursos d'água, calculando a distância a partir de um grupo de *pixels* alvos que, neste caso, é a rede hídrica.

O segundo mapa de fator é o de classificação das terras. E, por último, temos o mapa de fator declividade. As melhores terras para o uso agrícola e irrigação são as que possuem os menores declives.

De posse dos mapas de fatores padronizados, foi adotado o processo analítico hierárquico, baseado em pontuação. Foi estabelecido um conjunto de pesos dos fatores, em uma escala de valores, a fim de estabelecer a importância relativa de cada fator com relação ao objetivo do trabalho (**Quadro 2**). Nesse processo, o grupo envolvido na decisão faz um julgamento sobre a importância relativa dos fatores envolvidos, criando uma matriz de comparação de pares de fatores (**Quadro 3**).

A matriz possui consistência quando sua taxa de consistência é menor que 0,01, caso contrário, indica-se à volta da discussão ao grupo de decisão a fim de modificar os pesos atribuídos aos fatores.

Quadro 2. Escala de valores da importância relativa dos fatores

Importância negativa	Peso	Importância positiva	Peso
Extrema	1/9	moderada	3
muito forte	1/7	forte	5
Forte	1/5	muito forte	7
Moderada	1/3	extrema	9
Igual	1		

Fonte: Adaptada de Eastman et al. (1993).

Quadro 3. Matriz de comparação de pares de fatores

	Proximidade Da água	Classificação das terras	Declividade
Proximidade da água	1		
Classificação das terras	3	1	
Declividade	1/3	1/7	1

De posse da matriz, aplica-se a avaliação multi-criterial ou *Multi-Criteria Evaluation*, obtendo-se o mapa de adequação das terras para a atividade agrícola irrigada. Os mapas de fatores são multiplicados pelos pesos respectivos e, posteriormente, somados. Por fim, o mapa de adequação é multiplicado pelo mapa de restrição, a fim de eliminar as áreas que não devem ser considerados no estudo.

O mapa de adequação apresenta todas as áreas possíveis de uso em agricultura irrigada, na escala de valores padronizada. A fim de selecionar, por exemplo, os melhores 500 hectares, cada um dos *pixels* do mapa necessita ser individualizado e ordenado. A seleção, então, se dá pela separação do número de *pixels* referentes aos 500 hectares (**Figura 6**).

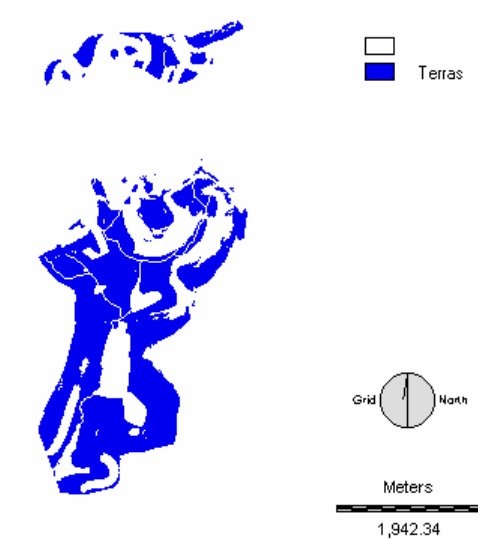


Figura 6. Melhores 500 hectares para agricultura irrigada.

Esse trabalho demonstra que a integração do SIG e de técnicas de SSD para a avaliação da adequação das terras para a agricultura irrigada apresenta inúmeras vantagens. Sendo o SIG uma ferramenta que possibilita a espacialização e o cruzamento dos dados e conjugada às técnicas de SSD participativa, eles permitem reduzir a subjetividade introduzida em operações de cruzamento manual de informação sobre o meio ambiente, além de facilitar a disponibilidade e atualização dos dados e o aperfeiçoamento do estudo pelos agentes de decisão.

7.Considerações finais

O geoprocessamento está sendo cada vez mais utilizado como ferramenta de manipulação de dados espaciais, na solução de problemas geográficos complexos, como são, muitas vezes, os casos de aplicação ambiental. No entanto, os usos potenciais do geoprocessamento devem ser entendidos em todos os aspectos na adoção dessa tecnologia.

Desta forma, é importante possuir o entendimento geral da tecnologia do geoprocessamento, de forma que os gerentes, especialistas técnicos e potenciais usuários possam adequar essa ferramenta à sua aplicação específica.

Referências

- ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWELL, P. L.; KEANY, M. J. **Geographic information system: a guide to the technology**. New York: Van Nostrand Reinhold, 191. 301p.
- ARONOFF, S. **Geographic Information Systems: A Management Perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989. 295 p.
- BACELLAR, A. A. A. **Estudo da erosão na microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha - Município de Iracemápolis, utilizando um Sistema de Informação Geográfica**. Relatório Técnico, FEAGRI/UNICAMP, 30p., 1994.
- BRASIL. **Agenda 21**. MCT/MMA: Projeto PNUD BRA/94/016, 1994. (Versão eletrônica 1.1).
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986. 194p.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.
- CONYERS, D.; HILLS, P. **An introduction to development planning in the Third World**. Chichester: John Wiley & Sons, 1984. 271p.
- COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences? **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, p. 1551-1554, 1988.
- EASTMAN, J. R. **Idrisi for Windows: user's guide - version 2.0**. Worcester, MA: Clark University, 1997.
- EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J.; JIN W. **GIS and decision making**. Genebra: UNITAR Explorations in Geographic Information Systems Technology Workbook, v. 4, 1993. 112p.
- FAO. **Geographic information systems in sustainable development**. Capturado em 14 fev. 2000. Online. Disponível na Internet <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/SUSTDEV/Eidirect/gis/Eigis000.htm>.
- HAMADA, E.; CAVALIERI, A.; ROCHA, J. V.; KÜPPER, R. B. Classificação das terras no sistema de capacidade de uso utilizando o SIG-IDRISI. In: I SIMPÓSIO DE USUÁRIO IDRISI - I SIDRIS, 1996, Campinas, SP. **Caderno de Resumos**, Campinas, 1996. 89p. p. 75-77.
- HAMADA, E.; ROCHA, J. V.; CAVALIERI, A. Alocação das terras para agricultura irrigada utilizando sistema de suporte à decisão participativo e sistema de informação geográfica: simulação de caso da microbacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha – SP. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997, Vitória, ES. **Anais...** São Paulo, 1997. v.1. 747p. p.689-695. (também disponível em Anais... em CD-ROM)
- LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; BERTOLINI, DL; ESPÍNDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª. aprox., 2ª. imp. rev.. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175p.

LOPES ASSAD, M. L.; HAMADA, E.; CAVALIERI, A. Sistema de informações geográficas na avaliação de terras para agricultura. In: ASSAD, E. D. e SANO, E. E. ed. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. cap.11, p. 191-232.

MAGUIRE, D. J. An overview and definition of GIS. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Geographical information systems: principles and applications**. New York: John Wiley & Sons, 1991. p. 9-20.

MONTAS, H.; MADRAMOOTOO, C. A. A Decision Support System for soil conservation planning. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 7, p. 187-202, 1992.

STAR, J.; ESTES, E. **Geographic information systems: an introduction**. New Jersey: Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, 1990.

STEFANI, F. L.; TOGNON, A. A.; SAAD, A. M.; AGENA, S. S. Classificação das terras do município de Guaira, SP, no sistema de capacidade de uso. In: VIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1996, Salvador, BA. **Anais...**, CD ROM, 1996.

STEIN, A.; STARITSKY, I.; BOUMA, J.; VAN GROENIGEN, J. W. Interactive GIS for environmental risk assessment. **Int. J. Geographical Information Systems**, London, v. 9, n. 5, p. 509-525, 1995.

AGRICULTURA DE PRECISÃO E MEIO AMBIENTE

ARIOVALDO LUCHIARI JUNIOR ¹

ADERALDO DE SOUZA SILVA ¹

LUIZ CARLOS HERMES ¹

JOSÉ RUY PORTO DE CARVALHO ²

JOHN SHANAHAN ³

JAMES SCHEPERS ³

¹EMBRAPA MEIO AMBIENTE

Caixa Postal 69 – 13820-000 – Jaguariúna – SP, Brasil

{luchiari, aderaldo, hermes@cnpma.embrapa.br}

² EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA

Caixa Postal 6041 – 13083-886 – Campinas – SP, Brasil

jruy@cnptia.embrapa.br

³ USDA/ARS/SWCRU

119 KEIM HALL – 68583 – Lincoln – Nebraska - EUA

{jshanahan1, jschepers1@unl.edu}

Resumo. Os recentes desenvolvimentos e adoção dos conceitos para práticas de manejo em sítios específicos ou agricultura de precisão, por conceber o uso mais racional de insumos, a possibilidade de preservar e rastrear a identidade dos produtos agrícolas tem mostrado possibilidades reais de ganhos econômicos e benefícios ambientais. Como muito tem sido relatado em relação ao manejo de insumos e seus efeitos na produtividade das culturas e índices econômicos, o propósito maior desta apresentação é o de relatar a evolução das ações de pesquisa e desenvolvimento em manejo de nitrogênio em culturas anuais realizadas no ARS-EMBRAPA-LABEX para mitigar e recuperar a qualidade das águas subterrâneas e superficiais com teores de nitrato acima dos níveis recomendados de potabilidade. Também serão apresentados os resultados obtidos pela aplicação do conceito de zonas homogêneas e de procedimentos de análise geoespaciais para delinear áreas para o manejo mais eficiente de insumos em sítios e para orientar o desenvolvimento de práticas de manejo mitigadoras de possíveis riscos ambientais em fruticultura irrigada no nordeste brasileiro.

Palavras-chave: agricultura de precisão, sensoriamento remoto, sensores, manejo de água, manejo de nutrientes, zonas de manejo.

1. Uso e manejo de Nitrogênio e qualidade da água no cinturão de milho dos Estados Unidos

Os produtores agrícolas da Região do Cinturão do Milho dos Estados Unidos aplicam anualmente quantidades significativas de fertilizantes nitrogenados para obter os altos índices de produtividade tipicamente alcançados na região. Predominantemente, a aplicação do fertilizante nitrogenado é feita nas formas líquida ou gasosa, em dosagens uniformes aplicadas em pré-plantio e/ou cobertura nos estádios iniciais do desenvolvimento da cultura devido ao tempo e custos envolvidos nesta prática de manejo. Entretanto, devido à variabilidade espacial que naturalmente ocorre nos solos da região, nem todas as áreas do terreno requerem as mesmas quantidades deste elemento, resultando em algumas áreas que recebem nitrogênio em níveis acima e outras áreas abaixo dos requeridos para a cultura, levando a reduções na Eficiência de Uso Agronômico do N (EUAN) e também em perdas do elemento para a atmosfera ou para fora da zona de absorção radicular. Raun & Johnson (1999) estimam a EUAN mundial para os sistemas de produção de cereais em 33%, sendo que a resultante perda de 67% representa um prejuízo anual de US\$ 15.9 bilhões, quando convertida em custo dos fertilizantes. Adicionalmente, as perdas de N resultam em contaminação ambiental pelo nitrato perdido por erosão ou por lixiviação, tornando-o o agente mais comum de contaminação das águas superficiais e subterrâneas do Cinturão de Milho (Cast, 1999). No Estado de Nebraska, estudos mostram que, em algumas áreas, as águas do Rio Platte e do Aquífero Ogallala têm apresentado níveis de nitrato acima dos limites de potabilidade (10 ppm) estabelecido pela Agência de Proteção Ambiental Americana (EPA).

O principal fator que contribui para o decréscimo da EUAN e para a contaminação ambiental por nitrato é a tradicional prática de manejo de se aplicar grandes quantidades do fertilizante nitrogenado em pré-plantio, normalmente no outono, ou seja, numa época anterior ao período no qual a cultura possa utilizar este elemento de forma efetiva. O fertilizante nitrogenado fica armazenado no solo por longo período de tempo (5-6 meses) e o solo passa por fases de congelamento no inverno e de descongelamento na primavera, colocando o nitrogênio nele armazenado numa condição de alto risco de contaminação ao ambiente (Raun & Johnson, 1999). Esses autores ainda mostram que os resultados obtidos em pesquisas prévias indicam que a

EUAN pode ser muito aumentada, desde que a aplicação em pré-plantio seja minimizada ou mesmo eliminada e que seja dada maior ênfase à aplicação parcelada do elemento em cobertura em quantidades requeridas nos diferentes estádios de crescimento do milho. Tais fatos levaram os pesquisadores da Unidade de Conservação de Solo e Água do Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA-ARS-SWCRU) a adotarem estratégias de manejo baseadas no uso de informações da planta e do solo para manejo de N focalizado no incremento dos índices de produtividade da cultura e na recuperação da qualidade das águas contaminadas por nitratos.

2. Estratégias baseadas na planta

2.1. Medidas do teor de clorofila

Trabalhos prévios de Blackmer & Schepers (1994), Blackmer et al. (1993) e Blackmer & Schepers (1995), usando o medidor de clorofila Minolta SPAD 502 (**Figura 1**) para monitorar no tempo e no espaço o status de N nas folhas do milho e fazer as aplicações de N conforme requerido em função dos teores presentes no dossel vegetativo e estágio de desenvolvimento, mostraram que a aplicação de N baseada neste método apresentava um avanço sobre o método tradicional baseado em medidas do conteúdo de N no solo. Estes trabalhos mostraram outros fatos que contribuiriam para o aumento da EAUN, como por exemplo, que uma vez detectado o nível de estresse pelo medidor de clorofila e imediatamente aplicando o N em taxas variadas por fertirrigação, índices equivalentes de produtividade poderiam ser obtidos com quantidades menores de nitrogênio do que os requeridos pela análise de solo. Estresses de N e queda dos índices de produtividade das parcelas experimentais foram obtidos sempre que as leituras do conteúdo de clorofila estavam abaixo do valor de 95% das leituras obtidas em faixas de referência que obtiveram níveis adequados ou em excesso de N no plantio. Os autores sugeriram a denominação de “índice de suficiência” para o valor de 95% e que este parâmetro seria razoável para determinar o momento e a quantidade de N a ser aplicado em plantas deficientes deste elemento. Subseqüentemente, Varvel et al. (1997) confirmaram estes fatos num estudo feito em parcelas experimentais no qual o N era aplicado quantas vezes fosse requerido em função dos valores medidos entre os estádios V8 (crescimento vegetativo) e R2 (reprodutivo-embonecamento). Outros fatos demonstrados por estes autores foram: 1) o medidor de clorofila mostrou ser um instrumento adequado para ser usado em estudos experimentais que visem

monitorar e manter os teores adequados de N requerido pela cultura do milho, e 2) as quantidades de N aplicadas usando-se este procedimento foram menores do que as requeridas utilizando-se a aplicação em pré-plantio. Estes fatos mostram ser realística a possibilidade de se minimizar ou reduzir a aplicação uniforme de N em pré-plantio e de se partir para uma abordagem mais reativa, com estudos realizados em áreas de produção, envolvendo a avaliação e monitoramento dos teores e aplicação parcelada do N requerido em quantas vezes que forem necessárias para atingir níveis produtivos satisfatórios (Schepers et al., 1992; Raun & Johnson, 1999). Esta abordagem deveria reduzir as perdas potenciais de N para o ambiente e ao mesmo tempo reduziria as preocupações dos produtores em relação ao momento de aplicação de N dividido às constantes mudanças das condições climáticas predominantes no meio-oeste americano. Entretanto, enquanto as pesquisas em parcelas experimentais produziram resultados favoráveis e animadores em relação ao manejo de N, a extrapolação destes conceitos para uma escala maior, como um campo de produção irrigado por pivô central, revelou as dificuldades em se coletar dados com o medidor de clorofila e em quantidades suficientes para caracterizar as variabilidades espacial e temporal presentes no campo cultivado (Schepers et al., 1992). Estes fatos evidenciaram claramente a necessidade de tecnologias que possibilitassem a mesma qualidade e precisão das medidas obtidas com o medidor de clorofila, mas numa área maior (produção comercial).

2.2. Uso de sensores remotos

Diante destas circunstâncias o sensoriamento remoto – processo de se obter informações de objetos alvos de plataformas remotas como sensores de terra, i.e., montados em tratores ou outros veículos; aeroplanos, ou satélites – é uma opção para se avaliar o status de N num campo cultivado (Moran et al., 1997; National Research Council, 1997) visto que esta técnica já havia sido empregada por outros cientistas para caracterizar a variabilidade espacial de áreas cultivadas (Bhatti et al., 1991; Atkinson et al., 1992). Ademais, havia evidências suficientes suportando a meta de longo prazo desta linha de pesquisa, que está direcionada para o desenvolvimento de formas práticas para a determinação do conteúdo de clorofila.

Plantas com elevados níveis de N tipicamente possuem elevados níveis de clorofila (Inada, 1965; Al-Abbas et al., 1974; Wolfe et al., 1988) e altas taxas de fotossíntese (Sinclair e Horie, 1989). A clorofila presente nas folhas de plantas cultivadas apresenta dois picos de absorção: um

no azul (ao redor de 450 nm) e outro no vermelho (ao redor de 670 nm) , e um de reflexão no verde (ao redor de 550 nm) do espectro de radiação solar. O medidor de clorofila Minolta SPAD 502* mede a luz transmitida no vermelho (650 nm) e no infra vermelho próximo (940nm) do espectro de luz para estimar o conteúdo de clorofila da folha (Blackmer et al., 1994). A relação positiva entre os níveis de verde e o conteúdo de N nas folhas indica ser possível acessar o status de N através de medidas remotas da reflectância do dossel vegetativo (Walburg et al.,1982; Hinzman et al., 1986; Dwyer et al., 1991) ou de folhas (McMurtrey et al., 1994).

Entretanto, existem ainda dificuldades técnicas em relação ao uso de imagens aéreas obtidas por satélites ou avião para acessar o status de N, particularmente em condições de cobertura incompleta do solo pela cultura. Por exemplo, Shanahan et al. (2001) periodicamente coletaram imagens aéreas, durante a maior parte do ciclo da cultura do milho, utilizando um sistema de câmeras digitais que possibilitava a leitura em quatro bandas: azul, verde, vermelho e infravermelho. A partir dos dados de reflectância obtidos nas bandas verde e infra-vermelho foi construído um índice de vegetação de diferença normalizada na faixa do verde (GNDVI- Green Normalized Difference Vegetation Index) que se mostrou muito robusto para acessar a variabilidade do conteúdo de N no dossel vegetativo antes e depois do pendoamento. Outros pesquisadores tentaram remover o efeito do solo utilizando manipulações matemáticas dos dados obtidos em diferentes faixas do espectro e construíram novos índices, e. g., índice de vegetação ajustado do solo (SAVI), mas com um sucesso limitado (Huete, 1988; Rondeaux et. al., 1996; Baret et al., 1998). De tudo isso, pode-se concluir que o uso de imagens aéreas para avaliar a distribuição espacial de N em culturas comerciais tem um potencial limitado em condições de cobertura incompleta do solo, mas se mostra promissor para uso em condições de cobertura completa do solo.

Considerando os problemas técnicos e operacionais envolvidos com a foto aérea, como qualidade, resolução, custo e tempo de processamento da imagem e a confiabilidade em se obter o produto a tempo hábil de se tomar decisões de manejo, (Blackmer et al., 1995; Francis et al. 2000; Luchiari et al. 1999, 2000, 2001, 2002) mostram que o uso de sensores para medidas em tempo real do conteúdo de N é uma alternativa promissora. Outra vantagem importante do uso de sensores de tempo real sobre as imagens aéreas, é a de que o sensor pode ser posicionado de forma a minimizar o efeito de exposição do solo. Tais fatos encorajaram o grupo a desenvolver

* A citação dos produtos não implica em nenhuma finalidade comercial, nem pela Embrapa e nem pelo USDA/ARS.

sensores simples, para uso em plantações comerciais, para sensoriar remotamente o status de N e ao mesmo tempo aplicar localizadamente o fertilizante nitrogenado para suprir as quantidades de N requeridas pela cultura.

Dados coletados com estes sensores durante a estação de crescimento de 2000, em parcelas experimentais, foram animadores. Resultados de reflectância mostram que o comprimento de onda na faixa de 550 nm (verde) foi o mais sensível para acessar variações no conteúdo de clorofila das folhas, que por sua vez é associado ao conteúdo de N. E, ademais, que as leituras obtidas com os sensores foram altamente correlacionadas com medidas de clorofila efetuadas nas plantas. Tais fatos indicam que o sensor, por detectar variações no conteúdo de clorofila, é também capaz de detectar variações de N, quando as leituras do sensor, expressas como índice de vegetação, tiveram uma alta correlação ($r^2=0.89$) com as medidas dos teores de clorofila na folha. Para testar estas premissas numa escala maior, num campo cultivado com milho, e também para avaliar suas capacidades de mapeamento os sensores foram montados num trator de rodado alto equipado com GPS para medidas em tempo real e georeferenciadas.

A **Figura 1** mostra as capacidades dos sensores em detectar e mapear variações no conteúdo de N, indicando que os mesmos poderiam ser utilizados para o mapeamento de deficiências e subsequentemente no direcionamento da aplicação localizada do fertilizante nitrogenado numa só operação. A principal vantagem do uso destes sensores é de que os mesmos foram desenvolvidos para trabalharem sob condições de nebulosidade, associado ao fato de que mostraram ser robustos para o uso em operações de campo. Entretanto, esforços de pesquisa ainda estão em andamento para o desenvolvimento de algoritmos que traduzam as leituras desses sensores em decisões práticas de manejo para a aplicação localizada e em tempo real de N.

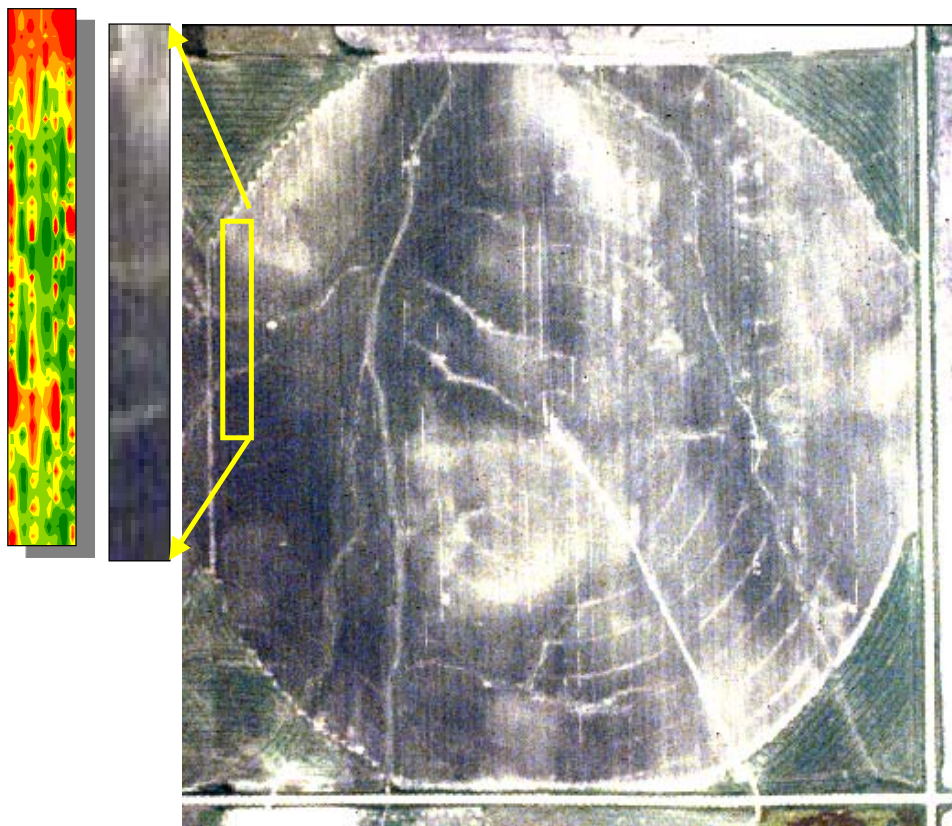


Figura 1. Leituras georeferenciadas do sensor de clorofila numa área de produção comercial de milho (verde altos, amarelo médios e verde baixos teores).

3. Zonas homogêneas de manejo

Outra abordagem para se avaliar a necessidade de se manejar insumos é baseada no solo. A prática da agricultura de precisão foi primeiramente iniciada com o propósito de manejo de nutrientes, fundamentado unicamente num esquema de amostragem de solo em malha. Como este era um procedimento que teve muitos resultados de sucesso quando utilizado em parcelas experimentais, avaliou-se que o mesmo seria muito promissor também em grandes áreas. Acreditava-se que este procedimento seria capaz de identificar todas as causas das variabilidades dos rendimentos de um campo cultivado. Uma malha de 1 ha por amostra foi definida para a maioria das aplicações e a partir dessas amostragens os mapas de fertilidade e de recomendações eram construídos. Entretanto, a maioria dos agricultores ficou desapontada, porque a variabilidade nos rendimentos de seus campos de produção não desapareceu (Schepers et al., 2000). Estudos geostatísticos a esse respeito, mostraram que os mapas resultantes apresentavam distorções devido ao local de coleta da amostra (centro ou intersecção da malha) e ao tamanho da

malha de amostragem (Schepers et al., 2000) do que devido ao método de interpolação empregado, kriging ou potência do inverso da distância (Varvel et al., 1999). Adicionalmente, outro problema que emergiu foi referente aos custos envolvidos nos esquemas das amostragens e das análises de solo e que começou a ser questionado pelos agricultores, quanto à sua viabilidade prática e econômica. Destes questionamentos novas direções começaram a ser buscadas. Varvel et al. (1999), mostraram que a imagem aérea de um solo nu apresentava um mesmo padrão de distribuição de matéria orgânica e de nutrientes do que os mapas resultantes de um esquema intensivo de amostragem em malha fina. A partir deste estudo, um grande número de produtores e provedores de serviço, começaram a considerar o uso de imagem aérea para orientar os locais de amostragens e diminuir custos de coletas e análises (Schepers et al., 2001). Novas abordagens, como zonas homogêneas de manejo (Doeger, 1999) mostraram-se promissoras para indicar os locais nos quais as amostragens deveriam ser feitas. Luchiari Jr. et al. (2000) conceituam zonas de manejo como sendo áreas do terreno de iguais produção potencial, eficiência do uso de insumos e risco de impacto ambiental.

3.1. Aplicação do conceito de zonas de manejo nos EUA.

Luchiari et al. (2000) e Shanahan et al. (2000) utilizaram mapas de colheita, mapas de condutividade elétrica do solo, mapas de classificação de solos, imagens do solo e de plantas para delinear zonas homogêneas de manejo e para direcionar as amostragens de solo em duas situações: em Nebraska, para o manejo de N e no Colorado, para analisar o efeito de diferentes densidades de plantio em função das características do terreno e seus efeitos nos rendimentos do milho. Aqui serão apresentados os procedimentos utilizados em Nebraska.

Uma foto aérea da área de estudo foi tirada na primavera de 1999, quando o solo estava descoberto. Uma câmara fotográfica equipada com um filme colorido de 35mm (Kodak Ektachrome*) foi montada numa aeronave e quando esta atingiu a altitude aproximada de 2130 m a foto foi tirada. Antes da aquisição da imagem, cinco alvos (placas de madeira de 1.2 x 2.4m, pintadas de branco) foram colocados no centro e no perímetro da área. As coordenadas geográficas destes alvos foram obtidas com um GPS diferencial e usadas para o georeferenciamento da imagem. Uma versão impressa da imagem georeferenciada foi mostrada ao produtor. A ele foi solicitado que desenhasse na imagem os contornos das áreas de baixa, média e alta produção do terreno. Este procedimento foi denominado como zonas de manejo

estabelecidas pelo produtor. Em seguida, a foto foi scaneada, importada para um sistema de informação geográfica-SIG (ERDAS, Atlanta, GA*), georeferenciada e processada em valores de reflectância para o azul, verde e vermelho. Os valores de reflectância foram processados e interpretados digitalmente para gerar três zonas de manejo, as quais foram denominadas zonas geradas pelo computador. Com base na interpretação destes dois procedimentos, foi estabelecido um esquema de amostragem georeferenciada para caracterizar as propriedades químicas do solo em diferentes pontos das três zonas. Em cada ponto uma amostra composta para a camada de 0-20 cm foi obtida. Estabeleceu-se um círculo de 20 m de diâmetro, dividido em 4 partes, nas quais foram coletadas cinco amostras na profundidade de 0-20 cm. No total, 48 pontos foram amostrados e analisados quanto aos seguintes parâmetros: pH, matéria orgânica, nitrato e fósforo.

A condutividade elétrica do solo (0-90cm) foi mapeada usando-se um sensor de indução magnética do solo (EM 38, Geonics Ltd, Ontário, Canadá*), conectado a um DGPS, montado num “cart” não metálico a 36 cm da superfície do solo, movendo-se a 6 km/h em faixas contínuas espaçadas em 20 m de intervalo. As medidas georeferenciadas de condutividade elétrica do solo e de elevação do terreno foram coletadas em intervalos de um segundo.

Mapas de colheita ou produtividade foram obtidos em 1997, 98, 99, 2000 e 2001 com uma combinada de 12 linhas John Deere 9600*, equipada com o monitor de colheita Green Star*. Dados de produtividade, umidade dos grãos e coordenadas geográficas foram registrados a cada segundo. Os dados de produtividade foram processados e mapeados com o programa Farm HMS (Red Hen System, Fort Collins, CO*).

Os mapas de condutividade elétrica, altitude do terreno, reflectância do solo e produtividade de grãos foram obtidos usando-se o método de interpolação do inverso do quadrado da distância com malhas de 15 m.

Análise de correlação simples foi usada para determinar a associação da produtividade com vários atributos do terreno. O método de regressão múltipla usando-se o “stepwise” para seleção de variáveis foi usado para determinar a importância dos atributos do terreno nos índices de produtividade.

A área estudada exibiu uma variabilidade considerável na cor do solo e na topografia (**Figura 2**). As áreas mais escuras (menos reflectivas) são solos com maiores teores de matéria orgânica que estão localizados nas partes mais baixas do terreno, enquanto as áreas mais claras são solos com menores teores de matéria orgânica, dissecados pela erosão e localizados nas partes mais

elevadas do terreno. Na **Tabela 1** são mostrados os valores dos principais indicadores de solo associados a produtividade potencial. É possível ver claramente que a amostragem direcionada possibilitou caracterizar distintamente as zonas de manejo. Solos mais escuros, localizados na parte mais baixa do terreno, apresentam um maior grau de fertilidade do que os solos mais claros localizados nas partes altas do terreno. Os altos teores de nitrato e de fósforo nas baixadas são devidos ao acúmulo destes elementos provenientes das partes mais altas, transportados por processos de erosão e lixiviação. Os níveis de nitrato estão acima dos requerimentos da cultura e já apresentam risco de contaminação da água subterrânea. Fica então evidenciada a necessidade de se intervir no manejo desse composto.



Figura 2. Foto aérea de solo nu.

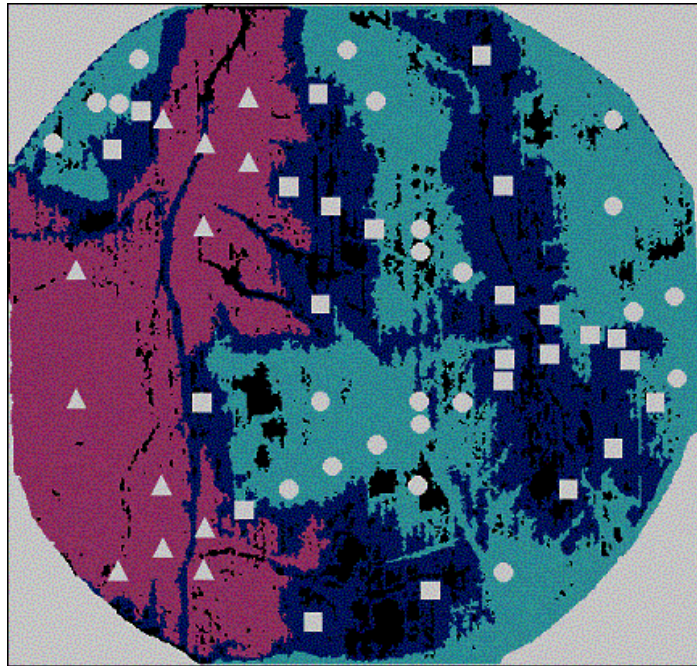


Figura 3. Zonas homogêneas de manejo.

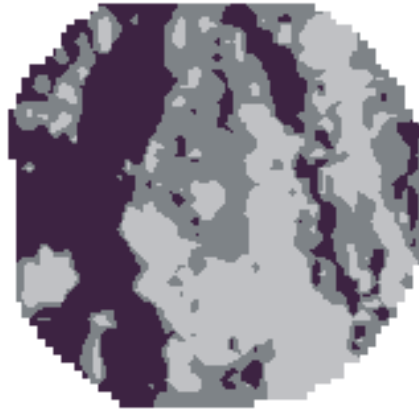


Figura 4. Mapa de condutividade elétrica do solo. Esquema de cores: forte: baixos valores; claro: altos valores.

O Mapa de condutividade elétrica do solo (CE) (**Figura 4**) revelou padrões similares aos mapas de reflectância (**Figura 2**) e de zonas de manejo (**Figura 3**). Valores menores de CE são encontrados nos solos escuros das baixadas, enquanto que valores maiores, são encontrados nas partes mais elevadas do terreno, onde os processos erosivos têm sido mais severos. Como o

subsolo das áreas erodidas é calcário, há uma influencia direta nos valores de EC e pH resultando em altos valores mostrados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Propriedades químicas dos solos das três zonas de manejo.

Zona	N	EC _{1:1} (ds m ⁻¹)	pH	MO %	NO ₃ -N	NH ₄ -N Kg/ha	P
Azul	18	0.42	7.37	0.94	7.7	6.0	13.2
Púrpura	19	0.28	6.48	1.31	10.2	8.3	27.5
Cyan	10	0.24	6.17	1.68	17.0	2.9	68.9

Os padrões dos mapas de colheita mostraram variabilidade espacial e temporal. Exceto para os anos de 1999-2000, os demais mostraram um padrão de distribuição espacial dos índices de produtividade muito similares aos das zonas de manejo delineadas.

Na **Tabela 2** são mostrados os efeitos no tempo das propriedades do solo na produtividade do milho. A análise de regressão múltipla mostra que, em média, os atributos altitude, cor do solo, inclinação e EC explicam aproximadamente 60% da variabilidade da produtividade da cultura. E ainda, que os efeitos destes atributos são variáveis ano a ano. Analisando a estabilidade temporal das produtividades relativas de cada zona de manejo ficou evidenciado que, em 80%, os padrões eram consistentes, i.e., zonas de alta produtividade apresentavam baixa produtividade um ano em cada cinco. Tais fatos evidenciam a importância de se considerar a variabilidade temporal e não somente a variabilidade espacial quando se deseja tomar decisões de manejo.

Considerando também que decisões de manejo ineficazes são obtidas quando somente as informações do solo são analisadas, a combinação de parâmetros de solo e planta é um caminho lógico a ser seguido. Esta abordagem foi iniciada em 2001 e encontra-se em desenvolvimento no USDA-ARS-SWCRU.

Tabela 2. Associação entre a variação espacial das propriedades do terreno e variação na produtividade de grão determinada pela análise de regressão.

Variável	Anos					Média
	1997	1998	1999	2000	2001	
Cor do Solo	<0.0001	<0.0001	0.0975	0.0995	<0.0001	<0.0001
Elevação	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
EM 38	0.0057	<0.0001	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.0120
Declive	0.2162	<0.0001	0.0255	0.0019	<0.0001	0.1960
Múltiplo R2	0.7110	0.4600	0.0940	0.0911	0.4117	0.6010

3.2. Aplicação do conceito de zonas de manejo no Brasil

Luchiari Jr. et al. (2002) aplicaram o conceito de zonas homogêneas de manejo em solos tropicais de cerrados, cultivados com culturas anuais em plantio direto. Entretanto, estudos desta natureza ainda estão muito focalizados em culturas anuais e necessitam ser desenvolvidos e refinados para culturas perenes, principalmente em condições tropicais.

O Vale do São Francisco é a principal região produtora de mangas e uvas finas de mesa do país. Atualmente, a região produz 85% e 95%, respectivamente, de todas as mangas e uvas finas de mesa exportadas do país. Apesar da importância econômica que a manga e a uva representam nos mercados nacional e internacional, essas culturas não atingiram ainda os níveis de exportação que reflitam seus verdadeiros potenciais. São culturas que necessitam de ajustes nos sistemas de produção, com o objetivo de atender aos requisitos de qualidade no seu sentido amplo (produto e meio ambiente) visando a sua competitividade nos mercados.

Um dos principais problemas existentes é o manejo de nutrientes e água. Silva (1997) estudando as características físico-químicas dos solos de um projeto de irrigação no vale do sub-médio do São Francisco, depois de 10 anos de sua fase de implantação, constatou aumentos nos teores de fósforo de 116,8%, resultante da aplicação excessiva de fertilizantes em quantidades superiores às recomendadas. Relatório da Embrapa, 1999, referente aos estudos feitos em várias áreas de produção comercial de uva irrigada, por gotejamento e microaspersão, mostra que num intervalo de dois anos (1999-2001) houve uma diminuição significativa dos teores de cálcio, magnésio, potássio e fósforo na camada superficial (0-20cm) do solo. E que, apesar desta diminuição, os teores destes nutrientes ainda são altos, i.e., bem acima dos recomendados. Em conseqüências, a CTC do solo também foi diminuída por ser a soma dos Cátions $Ca + Mg + K + (H + Al)$.

Para que novas tecnologias e medidas corretivas, que permitam a melhoria destes sistemas de produção, sejam desenvolvidas é preciso os estudos sejam conduzidos nas áreas de produção. Neste particular, a agricultura de precisão tem o potencial de contribuir com avanços tecnológicos para que os produtos frutícolas sejam produzidos com o uso de tecnologia “limpa”, passíveis de serem certificados, sem comprometer ou colocar em risco o meio ambiente e a saúde do homem.

Assim, o objetivo deste trabalho é a aplicação do conceito de zonas homogêneas e de procedimentos de análise geo-espaciais para delinear áreas para o manejo mais eficiente de insumos em sítios específicos e para orientar o desenvolvimento de práticas de manejo mitigadoras de possíveis riscos de contaminação ao solo e água num sistema de produção de fruticultura irrigada no nordeste brasileiro.

Os solos da região são oriundos de rochas cristalinas, predominantemente rasas, pouco permeáveis, sujeitas à erosão de razoável fertilidade natural.

Na propriedade, existem três tipos de solo, sendo que na área em estudo o solo é classificado como Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico, cuja característica principal é uma forte diferença textural entre a camada superior e inferior, que ocasiona problemas de drenagem a cerca de 40cm de profundidade. A profundidade é moderada e frequentemente limitada à cerca de um metro pela presença de piçarra ou de Lages de rocha. A drenabilidade é moderada, havendo em geral, problemas de salinização secundária no caso de irrigação mal conduzida. São solos geralmente sem pedregosidade, ocorrendo em relevo suave com textura franco-arenosa/argilosa e de permeabilidade moderada (Embrapa, 1999).

Amostras de solos foram coletadas utilizando o seguinte procedimento: cada amostra georeferenciada representa o centro de um talhão de produção (1-2 hectares). Em cada talhão 10 pontos foram coletados por hectare (0-20cm na intersecção dos bulbos de molhamento) por caminhamento em linha e, posteriormente, misturados, formando uma amostra composta. Estas amostras foram em seguida encaminhadas para análise em laboratório credenciado (Instituto Agrônomo de Campinas). Os talhões são irrigados por dois métodos: gotejamento e microaspersão, com os fertilizantes aplicados via água de irrigação. Os valores de produtividade foram obtidos dos registros da propriedade e seus valores georeferenciados no centro da área de um talhão.

Na **Figura 5**, são mostrados os mapas das variações do pH, teor de matéria orgânica, fósforo, cálcio, níquel e sódio do solo. Estes mapas foram obtidos pela interpolação dos valores obtidos, empregando-se o método do inverso do quadrado da distância. Foi utilizado o software Surfer 8.0 (Golden Software, Golden, CO, EUA*).

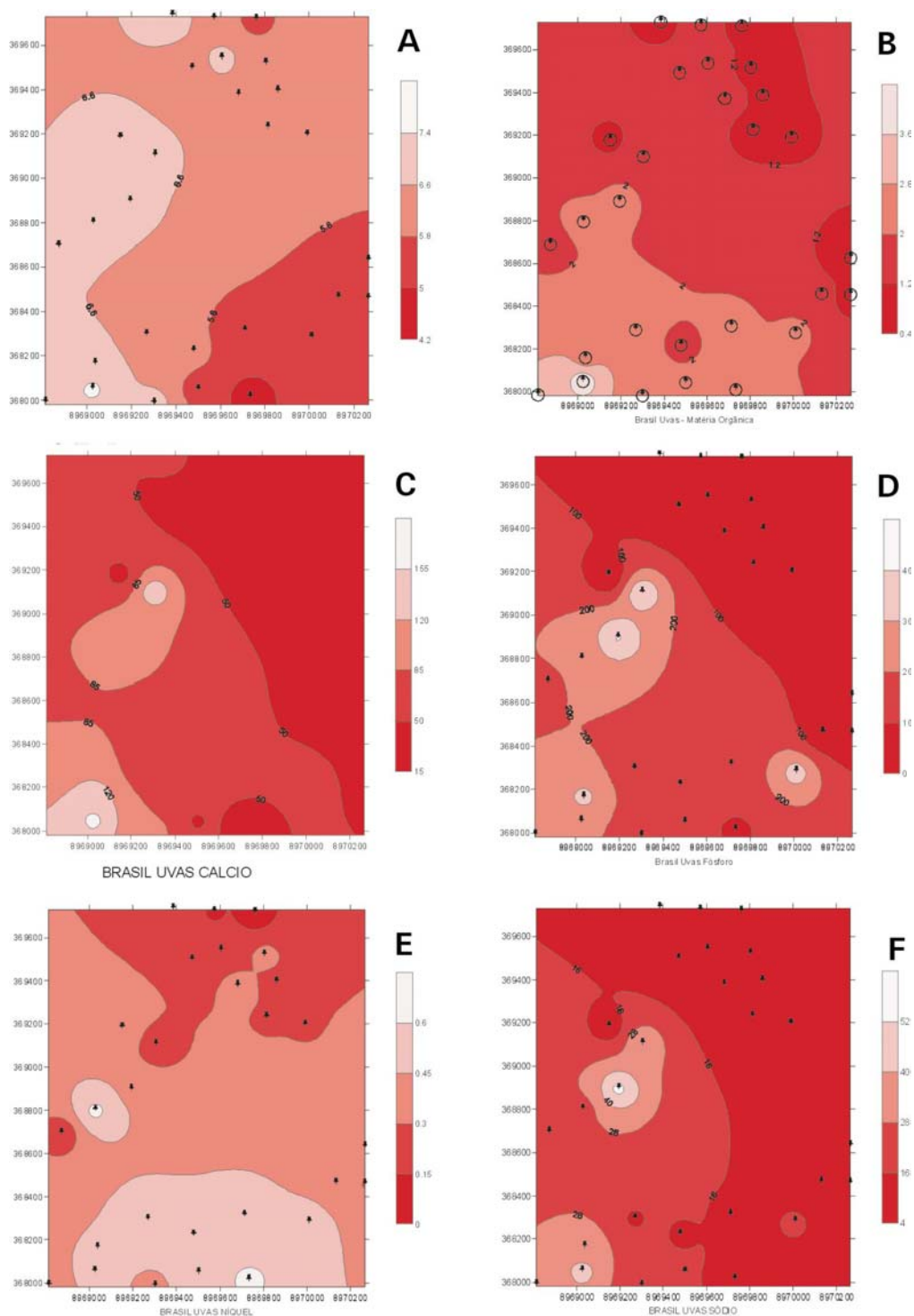


Figura 5. Mapas de pH (A), Matéria Orgânica (B), Cálcio (C), Fósforo (D), Níquel (E) e Sódio (F). Direção: Eixo x - direção leste; eixo y - direção norte. Esquema de cores: fortes - baixo valores; claros: altos valores.

Ao observarmos o mapa de pH (A), vemos que somente no canto inferior direito os valores estão inferiores aos recomendados pela cultura. Quanto aos teores de matéria orgânica (B), existem algumas áreas bem definidas do terreno que apresentam valores abaixo de 1.2%, considerado crítico para os solos predominantes na propriedade. Quanto aos valores de cálcio (C) e fósforo (D), os mesmos estão bem acima dos teores críticos para a cultura da uva e os de sódio (F) abaixo do nível de apresentar problemas devido à salinidade. Entretanto, o padrão de distribuição no terreno destes três elementos é muito semelhante, evidenciando áreas de alta concentração (acima de 80 para o P, de 50 para o Ca e de 12 para o Na) e indicando que nestes bolsões possa haver maiores riscos de impacto, como risco potencial de salinização e de contaminação por metais pesados como o níquel (E). Outro ponto a se considerar é de que nestes bolsões a irrigação é feita por gotejamento e a cultura apresenta os menores índices de produtividade. Havendo, portanto, uma indicação de que o método de irrigação utilizado está influenciado a concentração de elementos. Como no gotejamento o volume do bulbo molhado é menor do que o da microaspersão, os nutrientes e metais pesados presentes no adubo tendem a se concentrar mais e serem mais facilmente lixiviados.

Os procedimentos para delinear zonas de manejo aqui utilizados diferem dos utilizados nos Estados Unidos quanto a escala de trabalho. Os parâmetros aqui estudados não foram amostrados em malha fina ou direcionados por uma foto aérea do terreno. Este estudo revelou que foi possível estabelecer zonas de risco potencial de contaminação de solo e água e alguns aspectos interessantes para o direcionamento de futuros estudos relativos ao manejo de água, nutrientes, solo e planta para minimizar o risco de contaminação ambiental.

Referências

- AL-ABBAS, A. H.; BARR, R.; HALL, J. D.; CRANE, F. L.; BAUMAGARDNER, M. F. Spectra of normal and nutrient-deficient maize leaves. **Agronomy Journal**, v. 66, p. 16-20, 1974.
- ATKINSON, P. M.; WEBSTER, R.; CURRAN, P. J. Cokriging with ground -based radiometry. **Remote Sensing of Environment**, v. 41, p. 45-60, 1992.
- BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. J. TSAVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, IGARRS'90, 12., Vancouver, Canada, 1989. **Proceedings...** v. 3, p. 1355-1358.
- BHATTI, A.U.; MULLA, D. J.; FRAZIER, B. E. Estimation of soil properties and wheat yields on complex eroded hills using geostatistics and Thematic Mapper images. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, p. 181-191, 1991.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 9/10, p. 1791-1800, 1994.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of a chlorophyll meter to monitor N status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, v. 8, p. 56-60, 1995.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VIGIL, M. F. Chlorophyll meter readings in corn as affected by plant spacing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 24, n. 17/18, p. 2507-2516, 1993.

CAST. **Gulf of Mexico hypoxia: Land and sea interactions**. Ames: Council for Agricultural Science and Technology, 1999. (Task Force Report, 134).

DOERGE, T.A. **Management zones concepts**. Norcross: PPI-SDSU-USB-FAR, 1999. (SSMG, 2).

DWYER, L. M.; TOLLENAAR, M.; HOUWING, L. A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 71, p. 505-509, 1991.

EMBRAPA Meio Ambiente. **Qualidade ambiental em fruticultura irrigada no nordeste brasileiro – Ecofrutas**. Jaguariúna : Embrapa Meio Ambiente, 1999. (Projeto 11.0.99.239).

FRANCIS, D. D.; SCHLEMMER, M. S.; SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI Jr., A. Use of crop canopy reflectance sensor to assess chlorophyll content. **Agronomy Abstracts**, v. 92, p. 277, 2000.

HINZMAN, L. D.; BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T. Effects of nitrogen fertilization on growth and reflectance characteristics of winter wheat. **Remote Sensing of Environment**, v. 19, p. 47-61, 1986.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

INADA, K. Studies for a method for determining the deepness of green color and chlorophyll content of intact crop leaves and its practical application. 2. Photoelectric characters of chlorophyll meter and correlation between the reading and chlorophyll content in leaves. **Proceedings. Crop Science Society of Japan**, v. 33, p. 301-308, 1965.

JOHNSON, C. K.; DORAN, J. W.; DUKE, H. R.; WIENHOLD, B. J.; ESKRIDGE, K. M.; SHANAHAN, J. F. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1829-1837, 2001.

LUCHIARI Jr., A.; SHANAHAN, J. F.; SCHEMMER, M. L.; TRINGE, J. M.; WILHELM, W. W.; SCHEPERS, J. S. Comparison of chlorophyll meter and fluorescence measurements to detect stress in corn. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1999. Annual Meetings. Salt Lake City, Utah. Abstracts

LUCHIARI, Jr., A.; SHANAHAN, J.; LIEBIG, M.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; PAYTON, S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., Bloomington, 2000. **Proceedings...** CD-ROM.

LUCHIARI Jr., A.; INAMASU, R.; FRANÇA, G. E.; MANTOVANI, E. C.; GOMIDE, R. L.; CORREIA, A.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. Description and performance of a crop canopy reflectance sensor for nitrogen

management in corn and forage. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2001, Montpellier. **Abstracts...** CD-ROM.

LUCHIARI, Jr. A.; SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M. R. Agricultura de precisão: mudança de patamar tecnológico e oportunidades para a pesquisa agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 2., 2002, Foz do Iguaçu. **Proceedings...** p. 197-220.

LUCHIARI Jr. A.; SHANAHAN, J.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D.; SCLEMMER, M.; INAMASU, R.; FRANÇA, G.; MANTOVANI, E.; GOMIDE, R. 2002. Crop and soil based approaches for site specific nutrient management. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24., 2002, Florianópolis. **Anais...** CD-ROM.

McMURTREY III, J. E.; CHAPPELLE, E. W.; KIM, M. S.; MEISINGER, J. J.; CORP, L. A. Distinguishing nitrogen fertilization levels in field corn (*Zea mays*, L.) with actively induced fluorescence and passive reflectance measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 47, p. 36-44, 1994.

MORAN, M. S.; INOUE, Y.; BARNES, E. M. Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, p. 319, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.). **Precision agriculture in the 21st century**: geospatial and information technologies in crop management. Washington, D.C., 1997. (Report 59-0700-4-139).

RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal**, v. 91, p. 357-363, 1999.

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 55, p. 95-107, 1996.

SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf nitrogen and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 17/20, p. 2173-2187, 1992.

SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI, Jr., A. Precision agriculture as a tool for sustainability. In: BALAZS, E. et al. (Ed.). **Biological resource management**: Connecting science and policy. Berlin: Springer, 2000. p. 129-135.

SCHEPERS, J. S.; HENDERICKSON, L.; TIAN, I. The science of precision agriculture: remote sensing. In: NCR 180 Annual Meeting. **Proceedings...** Madison: NCR, 2001.

SHANAHAN, J.; DOERGE, T.; SYNEDER, C.; LUCHIARI, Jr., A.; JOHNSON, J. Feasibility of variable rate management of corn hybrids and seeding rates in the great plains. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2000, Bloomington. **Proceedings...** CD-ROM.

SHANAHAN, J. F.; SCHEPERS, J.; FRANCIS, D.; VARVEL, G. E.; WILHELM, W. W.; TRINGE, J. M.; SCHLEMMER, M. S.; MAJOR, D. J. Use of remote sensing imagery to estimate corn grain yield. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 583-589, 2001.

SILVA, A. de S. **Impacto ambiental del uso de los recursos suelo y agua en áreas agrícolas bajo riego**: estudio aplicado a zonas áridas brasileñas y españolas. 1997. 217 p. Tesis (Doctorado). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de Ingenieros Agronomos, Departamento de Edafología, Madrid.

SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, v. 29, p. 90-98, 1989.

VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, p. 1233-1239, 1997.

VARVEL, G. E.; SCHLEMMER, M. R.; SCHEPERS, J. S. Relationship between spectral data from aerial image and soil organic matter and phosphorus levels. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 291-300, 1999.

WALBURG, G.; BAUER, M. E.; DAUGHTRY, C. S. T.; HOUSLEY, T. L. Effects of nitrogen nutrition on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn canopies. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 677-683, 1982.

WOLFE, D.W.; HENDERSON, D. W.; HSIAO, T. C.; ALVINO, A. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. **Agronomy Journal**, v. 80, p. 865-870, 1988.

MANEJO DE ÁGUA E SOLO: AVANÇOS E DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS NA AGRICULTURA

GERSON ARAUJO DE MEDEIROS¹

JOSÉ RICARDO FREITAS LUCARELLI²

LUIZ ANTONIO DANIEL³

¹CENTRO REGIONAL UNIVERSITÁRIO DE ESPÍRITO SANTO DO PINHAL
Caixa Postal 05, Av. Helio Vergueiro Leite s/n., CEP 13990-000, Espírito Santo do Pinhal – SP
gerson_medeiros@creupi.br

²FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – UNICAMP,
Cidade Universitária Zeferino Vaz, s/n., CP , CEP 13083-970, Campinas - SP
luca@agr.unicamp.br

³CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA “PAULA SOUZA” – NEPA/FATEC
Av. Eng. Carlos Reinaldo Mendes 20150, Alto da Boa Vista, CEP 18013-280, Sorocaba – SP
daniel@agr.unicamp.br

Resumo. A escassez da água seja em quantidade como em qualidade, é um dos problemas que melhor tem demonstrado as conseqüências do padrão de desenvolvimento e crescimento populacional na sociedade contemporânea. Entre os setores envolvidos nessa questão destaca-se a agricultura tanto pela geração de poluição difusa, proveniente dos sedimentos carreados para os rio, quanto pela demanda hídrica na irrigação, responsável por aproximadamente 63% do consumo de água doce no país (ANA, 2002). Nesse aspecto, o manejo dos recursos naturais na agricultura, notadamente da água e do solo, visando à conservação dos recursos hídricos é uma área do conhecimento que vem merecendo destaque e atenção. O objetivo do presente trabalho é discutir alguns dos impactos gerados por sistemas de preparo e manejo do solo na conservação e eficiência do uso da água, enfocando resultados de experimentos conduzidos na UNICAMP. Esses resultados apontam para maiores perdas de solos e nutrientes e menor eficiência do uso da água dos sistemas convencionais em comparação com os conservacionistas, sob condições irrigadas e de cultivo das águas.

Palavras chaves: manejo do solo e água, sistema de preparo do solo, conservação do solo e água, irrigação.

1. Introdução

A população mundial apresentou um rápido incremento de 2,5 bilhões de habitantes em 1950 para 6 bilhões em 2000. Esse fenômeno também foi verificado no Brasil onde se observou uma variação de 90 milhões de habitantes em 1970 para os 168 milhões registrados em 2000, a evolução histórica da população brasileira pode ser visualizada na **Figura 1** (Braga et al., 2002).

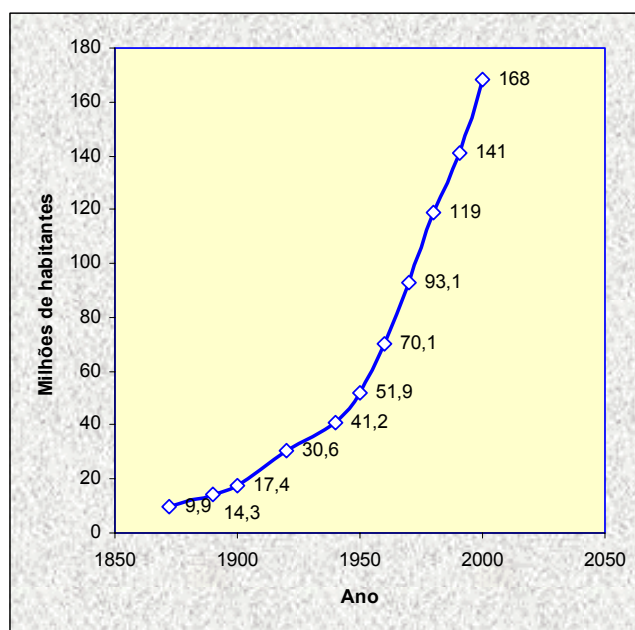


Figura 1. Crescimento populacional brasileiro. (Braga et al., 2002).

Este crescimento provocou uma elevação na demanda por alimentos e utilização dos recursos naturais, destacadamente a água. Para atender a essa demanda cita-se a expansão da área agrícola em países como o Brasil e a adoção de tecnologias que aumentam a produção e permitem intensificar o uso do solo como a mecanização agrícola, utilização de insumos e irrigação. Essa intensificação pode acelerar ou potencializar a degradação dos recursos naturais além da sua escassez.

Dumanski et al. (1997) afirmam que um dos desafios para a agricultura é a necessidade de aumentar a produção de alimentos para atender a uma demanda crescente, sob condições de escassez de recursos naturais. Segundo o referido autor, esse aumento da produtividade pode ser alcançado por meio do manejo melhorado das terras cultivadas, particularmente do manejo de

nutrientes, conservação do solo e da água, e tecnologias relacionadas ao uso mais eficiente dos recursos naturais.

Nesse contexto, o sistema de preparo é um dos fatores com maiores condições de provocar alterações nas características naturais do solo (Lucarelli, 1997) sendo um dos trabalhos de manejo mais importantes na agricultura.

As técnicas de preparo do solo podem ser enquadradas, basicamente, em dois grupos, a saber: (a) sistema reduzido ou conservacionista e (b) sistema convencional. O sistema convencional, que utiliza implementos como arado de discos, aiveca e grade pesada, seguido de gradagens leves, tem como característica principal um revolvimento de toda a área a ser cultivada, onde o implemento atua com a incorporação total ou quase total do resíduo. Por outro lado, os sistemas de preparo reduzidos, como o escarificador, promovem o arrasto de hastes que cortam o solo quebrando superficialmente a sua estrutura, sem revolvê-lo intensamente, procurando não destruir os agregados e deixando maior quantidade de resíduo na superfície do terreno (Lucarelli, 1997).

Em geral, os sistemas de preparo que promovem mobilização do solo costumam alterar de forma negativa suas características, tanto sob o ponto de vista da produtividade quanto pelos impactos ambientais gerados.

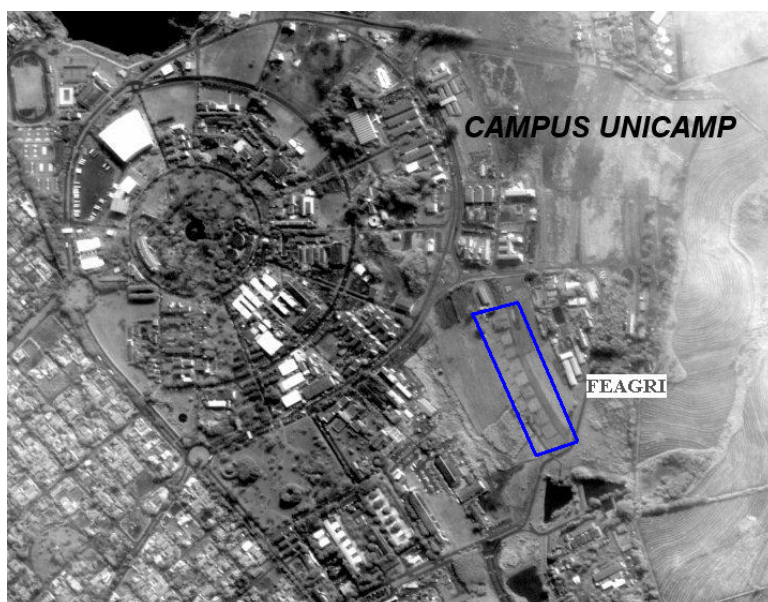
Pode-se afirmar que as agravantes finais mais nocivas causadas ao meio ambiente pelas diversas alterações no solo pelos diferentes sistemas de preparo e manejo sejam a erosão e as perdas de água e nutrientes, observadas principalmente na época das chuvas.

Na agricultura irrigada, conduzida na época da seca, a perda de sedimentos não é um fator relevante, contudo, a degradação do solo, resultado de um manejo inadequado, leva à redução do seu potencial produtivo influenciando em um importante parâmetro associado à conservação dos recursos hídricos: a eficiência do uso da água, a qual relaciona a produção obtida e o volume de água aproveitado pela planta.

O objetivo do presente trabalho nesse “I Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios” é apresentar os resultados de trabalhos desenvolvidos na Universidade Estadual de Campinas sobre manejo do solo e água e sua repercussão para a conservação dos recursos naturais e meio ambiente.

2. Área de experimentação e histórico

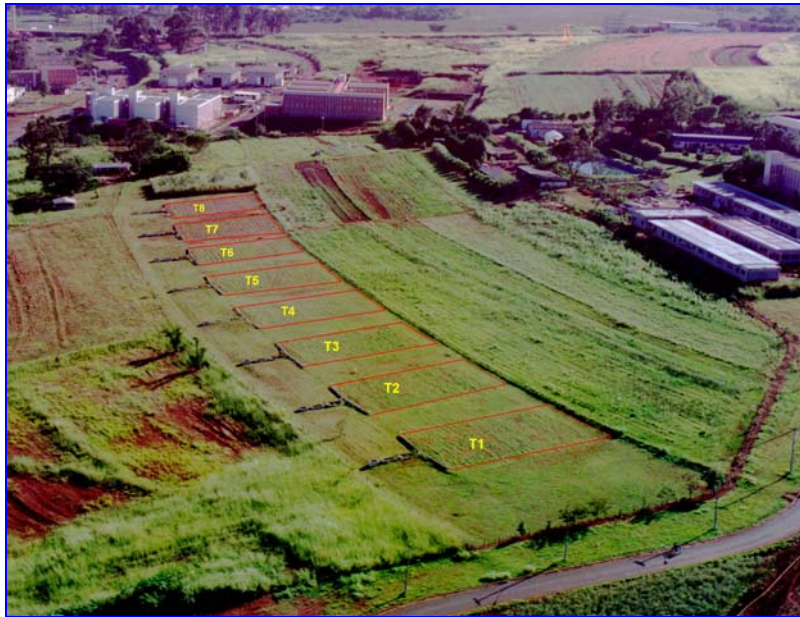
Os resultados apresentados no presente trabalho foram obtidos a partir de experimentos desenvolvidos na área de pesquisa em Conservação do Solo e Água da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas - SP, longitude 47° 05' W, latitude 22° 54' S e altitude média de 606 m (**Figura 2**), em solo da área classificado como Latossolo roxo distrófico, textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (Oliveira & Rotta, 1979). Na atual classificação brasileira de solos corresponde ao Latossolo vermelho distroférico, segundo Embrapa (1999).



(Imagem do Satélite Ikonos de 30 de agosto de 2000, cortesia: CEPAGRI – UNICAMP).

Figura 2. Localização da área experimental em relação à UNICAMP.

Em tal área, construíram-se, em 1986, oito talhões coletores de solo e água (**Figura 3**), cada qual com uma área útil de 600 m², sendo 30 m de comprimento de rampa por uma soleira concentradora de 20 m de largura (**Figuras 4 e 5**), localizados no terço médio de uma encosta com 9% de declive, orientação Norte-Sul e exposição Oeste (Daniel et al., 1997).



(Foto cedida pelo Engenheiro José Ricardo Freitas Lucarelli, 1997).

Figura 3. Vista aérea das parcelas experimentais, destacando-se os seguintes sistemas: T1, convencional com grade aradora; T2, alternado de equipamentos; T3, reduzido com escarificador; T4, plantio direto; T5, convencional com arado de disco; T6, talhão roçado; T7, talhão mobilizado “morro abaixo”; T8, enxada rotativa.



(Foto cedida por Luiz Antonio Daniel, julho de 1988).

Figura 4. Vista do coletor de água e sedimento durante a sua construção.



(Foto Gerson Araújo de Medeiros, dezembro de 1997).





Figura 5. Vista em detalhe do coletor de água e sedimento após sua conclusão.

Nos anos agrícolas de 1986/87, 1987/88, 1988/89 e 1989/90 foram feitas subsolagens a 0,50 m de profundidade, semeando-se crotalária, milho, soja e milho, respectivamente, em todas as parcelas.

No período de 1990 a 1998, somente a cultura do milho foi semeada em sete dos oito talhões. Esse manejo diferenciado nas parcelas experimentais levou a uma série de alterações nas características físicas e hídricas do solo e a uma perda diferenciada de sedimentos e nutrientes (Lucarelli et al., 1999, Lucarelli et al., 1998, Lucarelli, 1997, Lucarelli et al., 1996, Daniel et al., 1996, Daniel et al., 1997). No ano de 1999 realizou-se o primeiro ensaio irrigado semeando-se a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), quando se verificou o efeito das modificações proporcionadas pelos diferentes sistemas de preparo e manejo do solo sobre o consumo e eficiência do uso da água (Medeiros, 2002). As parcelas foram trabalhadas sob os seguintes sistemas de preparo do solo, de acordo com informações fornecidas pelo Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel*





* Professor aposentado da Universidade Estadual de Campinas, idealizador e responsável pela realização e desenvolvimento de ensaios na área experimental de Conservação de Água e Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola, desde 1986.

Tratamentos de sistema de preparo do solo

<p>sistema convencional com grade aradora: realiza-se uma gradagem pesada a 0,20 m de profundidade, com grade de 16 discos de 24” e uma outra gradagem pesada, seguida de uma gradagem de destorroamento /nivelamento na época da semeadura;</p>	
<p>sistema alternado de equipamentos: alterna-se, anualmente, o equipamento utilizado no preparo, repetindo-o a cada quatro anos. A seguinte seqüência é utilizada: preparo com grade aradora no primeiro ano, seguindo-se de arado de disco, arado de aiveca, e escarificador nos demais anos;</p>	
<p>sistema escarificador: realiza-se a operação com escarificador de cinco hastes flexíveis a 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem leve de destorroamento/nivelamento;</p>	
<p>sistema de plantio direto: aplica-se herbicida antes da semeadura, realizando-se uma roçada dez dias depois. Efetua-se semeadura com semeadora adubadora para sistema de plantio direto, sem mobilização prévia do solo;</p>	

Fotos de José Ricardo Freitas Lucarelli, 1994.

Tratamentos de sistema de preparo do solo

<p>sistema convencional com arado de disco: utiliza-se arado reversível de três discos de 26” com uma aração de incorporação a 0,20 m de profundidade. À época de semeadura, realiza-se uma segunda aração a 0,25 m de profundidade, seguida de duas gradagens leves para destorroamento e nivelamento;</p>	
<p>talhão roçado sem mobilização: parcela utilizada como testemunha de área sem nenhum tipo de mobilização do solo, ou seja, sua vegetação espontânea, predominantemente capim-colônião (<i>Panicum maximum</i>), é controlada por uma roçada inicial e posteriormente deixada em pousio durante todo o período;</p>	
<p>talhão mobilizado “morro abaixo” com arado de disco: essa parcela serve como tratamento para a possível erosão máxima causada pelo preparo de solo com arado reversível de três discos de 26”, com aração no sentido da pendente, o mesmo ocorrendo com a aração e as gradagens de destorroamento e nivelamento prévias à semeadura;</p>	
<p>sistema enxada rotativa: o preparo do solo foi realizado com uma única operação de rotavação a 0,18 m de profundidade, com uma enxada rotativa de rotor fixo, cuja operação provoca a incorporação de inços, destorroamento e nivelamento.</p>	

Fotos de José Ricardo Freitas Lucarelli, 1994.

3. Sistema de preparo: alterações nas características físico hídricas do solo

A influência do sistema de preparo e manejo sobre uma série de características físicas e hídricas do solo tem sido investigada por vários autores (Guimarães, 2000, De Maria et al., 1999, Castro, 1995, Lucarelli et al., 1999, Lucarelli et al., 1998, Lucarelli, 1997, Lucarelli et al., 1996, Daniel et al., 1996, Daniel et al., 1997).

Os parâmetros mais estudados são os que afetam a capacidade de armazenamento e distribuição de água no solo como a textura, a estrutura, a porosidade, a densidade, a condutividade hidráulica saturada e a capacidade de infiltração básica.

Esses parâmetros foram compilados e apresentados no presente trabalho a partir de levantamentos realizados em dois momentos distintos na história da área experimental de Conservação do Solo e Água da Feagri/UNICAMP: em 1996 (Lucarelli, 1997) e em 1999 (Medeiros, 2002), ambos realizados nos meses de junho e julho dos respectivos anos, antes das operações de preparo do solo.

Além disso, duas abordagens distintas de amostragens foram utilizadas. Na primeira, utilizada em 1996, as amostras foram coletadas em trincheiras e na segunda, adotada em 1999, em pontos distribuídos de forma reticulada na parcela experimental, distanciados de 3,5 m, em um total de 40 locais de amostragem por tratamento, conforme descrito em Medeiros (2002), para se possibilitar a realização de inferências estatísticas.

Destacaram-se, no presente texto, aqueles parâmetros mais afetados pelo sistema de preparo do solo e que melhor explicassem as causas de variação nas perdas de solos e eficiência do uso da água, no ensaio conduzido com cultura do feijoeiro irrigado no ano de 1999.

3.1. Densidade do solo, porosidade total, capacidade de infiltração básica

Apesar da diferença no sistema de amostragem, os resultados observados de densidade do solo nos mesmos tratamentos avaliados (escarificador, plantio direto, convencional com arado de disco e enxada rotativa) e nos dois momentos distintos (1996 e 1999) apresentam semelhanças (Tabelas 1, 2 e 3).

Tabela 1. Valores da densidade do solo dos horizontes que sofrem ação dos sistemas de preparo, em Campinas – SP, no ano de 1996 (Fonte: Lucarelli, 1996).

Horizonte	G.Arad.	Alternado	Escarific.	P.Diret.	A. Disco	Roçado	M. Abaixo	E. Rotat.
Ap	1,13	1,18	1,17	1,20	1,25	1,30	1,27	1,06
Ap2	1,52	-	-	1,43	1,35	-	-	-
AB	1,34	1,52	1,28	1,30	1,18	1,34	1,23	1,29
BA	1,28	1,33	1,21	1,25	1,19	1,27	1,16	1,13
Bw1	1,17	1,20	1,17	1,17	1,10	1,14	1,12	1,10

Tabela 2. Comparação entre médias da variável densidade do solo dos sistemas de preparo por profundidade pelo teste de diferenças mínimas significativas e intervalo de confiança da média, ao nível de 95%, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Tratamento	Profundidade (m)				n
	0 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,30 m	0,30 – 0,40 m	
	----- (Mg m ⁻³) -----				
Escarificador	1,20a	1,31a	1,37a	1,37a	40
Plantio Direto	1,15ab	1,32a	1,35ab	1,30b	40
Arado Disco	1,20a	1,29a	1,33b	1,28bc	40
Enx. Rotativa	1,09b	1,22b	1,29c	1,26c	40
	dms=0,06 Mg m ⁻³	dms=0,04 Mg m ⁻³	dms=0,04 Mg m ⁻³	dms=0,04 Mg m ⁻³	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

Durante o ensaio de 1996, o tratamento roçado foi aquele que apresentou a maior densidade, provavelmente por não ser trabalhado com implementos e pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas.

Os tratamentos plantio direto e convencional com arado de disco apresentaram valores ligeiramente superiores de densidade do solo até a profundidade de 0,20 m em comparação com aqueles observados no ensaio de 1999.

Nesse mesmo ano, os maiores valores de densidade do solo até a profundidade de 0,20 m, foram observados nos sistemas de preparo escarificador, plantio direto e arado de disco, não diferindo significativamente entre si (**Tabela 2**). Considerando-se todas as profundidades, os

tratamentos escarificador e plantio direto apresentaram os maiores valores, enquanto o sistema de preparo enxada rotativa foi o que obteve a menor densidade do solo, conforme resultados apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 3. Comparação entre médias da variável densidade do solo nas profundidades avaliadas por sistema de preparo pelo teste de diferenças mínimas significativas e intervalo de confiança da média, ao nível de 95%, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Profundidade (m)	Tratamento				n
	Escarificador	P. Direto	Arado Disco	Enx. Rotativa	
	----- (Mg dm ⁻³) -----				
0 – 0,10	1,20c	1,15c	1,20c	1,09c	40
0,10 – 0,20	1,31b	1,32ab	1,29ab	1,22b	40
0,20 – 0,30	1,37a	1,35a	1,33a	1,29a	40
0,30 – 0,40	1,37a	1,30b	1,28b	1,27ab	40
	dms=0,04 Mg m ⁻³	dms=0,05 Mg m ⁻³	dms=0,05 Mg m ⁻³	dms=0,05 Mg m ⁻³	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

Todos os sistemas de preparo avaliados alcançaram, em 1999, o seu valor médio máximo de densidade do solo na camada de 0,20 a 0,30 m, como pode ser visto na **Tabela 3**.

A maioria dos trabalhos avaliados, e relacionados à influência de sistemas de preparo sobre características físicas do solo, tem apontado para uma compactação na camada superficial em áreas manejadas com o sistema de plantio direto como citado em Stone & Silveira (2001), Beutler et al. (2001), Bertol et al. (2001), Oliveira et al. (2001), Guimarães (2000), De Maria et al. (1999) dentre outros. Esse aumento da densidade na camada superficial tem sido associado a trânsito de máquinas agrícolas e ao não revolvimento do solo no sistema plantio direto (Tormena et al., 1998).

A época da amostragem de ambos os ensaios, 1996 e 1999, foi provavelmente realizada no momento de maior densidade do solo na superfície e reflete, conseqüentemente, o efeito acumulado do sistema de preparo do solo ao longo dos anos.

A qualidade da porosidade total do solo pode ser medida por meio da macroporosidade e da microporosidade.

A microporosidade é responsável pela capacidade de retenção de água e solutos no solo e a macroporosidade influencia diretamente a capacidade de infiltração, a drenabilidade do solo e sua capacidade de aeração (Hillel, 1998).

A porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade foram determinadas a partir de amostras de solo indeformadas, retiradas em trincheiras, tanto em 1996 quanto em 1999, e estimadas pelos dados da curva de retenção.

Apresentam-se na **Tabela 4** os resultados da comparação de médias para a porosidade total, macroporosidade e microporosidade, por profundidade, no ano de 1999 quando foi possível realizar uma comparação estatística.

Valores significativamente superiores de macroporosidade foram observados na camada superficial (0 a 0,15 m), para o tratamento enxada rotativa, em subsuperfície (0,15 a 0,30 m), no tratamento escarificador e nas mais profundas (0,30 a 0,45 m e 0,45 a 0,60 m), para o sistema convencional com arado de disco.

As médias estatisticamente inferiores de porosidade total e macroporosidade do solo, até a profundidade de 0,60 m, ocorreram no tratamento plantio direto. Esses resultados concordam com os que foram descritos por outros autores, como Stone & Silveira (2001), Oliveira et al. (2001), Guimarães (2000), Carvalho et al. (1999).

Apesar dos maiores valores de densidade do solo encontrados para o tratamento escarificador (**Tabela 2**) e que poderiam levar a uma redução da porosidade total, em especial dos macroporos (Hillel, 1998), o que se observou foi uma superioridade significativa desse tratamento ao longo do perfil do solo, com exceção da camada 0 a 0,15 m.

Tabela 4. Comparação de médias para porosidade total na profundidade de 0 a 0,60 m e intervalo de confiança da média ao nível de 95%, para um Latossolo vermelho sob os sistemas de preparo do solo em Campinas – SP, no ano de 1999.

Tratamento	Profundidade (m)				n
	0 - 0,15	0,15 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	
Porosidade total					
----- m ³ m ⁻³ -----					
Escarificador	0,544b	0,538a	0,566a	0,587a	9
Plantio Direto	0,498d	0,499b	0,521c	0,535b	9
Arado de Disco	0,521c	0,510b	0,547ab	0,581a	9
Enx. Rotativa	0,567a	0,530a	0,552b	0,580a	9
	dms=0,019 m ³ m ⁻³	dms=0,016 m ³ m ⁻³	dms=0,017 m ³ m ⁻³	dms=0,017 m ³ m ⁻³	
Macroporosidade					
----- m ³ m ⁻³ -----					
Escarificador	0,145ab	0,123a	0,156ab	0,191ab	9
Plantio Direto	0,85c	0,95b	0,117c	0,124c	9
Arado de Disco	0,127b	0,102ab	0,166a	0,201a	9
Enx. Rotativa	0,157a	0,105ab	0,142b	0,169b	9
	dms=0,028 m ³ m ⁻³	dms=0,022 m ³ m ⁻³	dms=0,024 m ³ m ⁻³	dms=0,027 m ³ m ⁻³	
Microporosidade					
----- m ³ m ⁻³ -----					
Escarificador	0,398ab	0,414ab	0,410a	0,396a	9
Plantio Direto	0,413a	0,404b	0,403a	0,411a	9
Arado de Disco	0,393b	0,408b	0,381b	0,379b	9
Enx. Rotativa	0,411ab	0,425a	0,410a	0,411a	9
	dms=0,019 m ³ m ⁻³	dms=0,015 m ³ m ⁻³	dms=0,014 m ³ m ⁻³	dms=0,017 m ³ m ⁻³	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

O comportamento da microporosidade ao longo do perfil revelou que o plantio direto apresentou valores significativamente mais elevados na camada superficial, de 0 a 0,15 m, e na mais profunda, 0,45 a 0,60 m, não diferindo estatisticamente dos maiores valores na camada de 0,30 a 0,45 m. Alguns autores têm observado valores superiores de microporosidade no sistema de manejo plantio direto, principalmente próximo à superfície, como Carvalho et al. (1999), Stone & Silveira (2001), Guimarães (2000).

Contrariando a maioria dos resultados de pesquisa apresentados, Lucarelli (1997) encontrou valores superiores de macroporosidade próximo à superfície do solo no sistema plantio direto em relação aos tratamentos escarificador, arado de disco e enxada rotativa, os quais atingiram 0,262; 0,221; 0,126 e 0,113 m³ m⁻³ respectivamente. Em contrapartida, a microporosidade na semeadura direta foi a menor, atingindo 0,395 m³ m⁻³, enquanto os sistemas escarificador, arado de disco e enxada rotativa alcançaram 0,420; 0,444 e 0,442 m³ m⁻³ respectivamente. Contudo, esses resultados devem ser considerados como valores de referência, visto que não houve condições de se realizar uma comparação estatística.

Pode-se concluir que o tratamento escarificador foi o que apresentou melhor distribuição de poros no ano de 1999, tanto em quantidade quanto em qualidade, sendo este um fator apontado como benéfico para o desenvolvimento radicular de diversas culturas por Castro (1995). Esse resultado é corroborado pela avaliação da continuidade dos poros ao longo do perfil em 1996, por meio de análise microscópica, quando se verificou que os sistemas escarificador, plantio direto e enxada rotativa foram os que apresentaram porosidade mais uniforme em todas as profundidades estudadas.

Reichardt (1985) denomina infiltração o processo pelo qual a água entra no solo, representando a sua permeabilidade.

A **Figura 6** mostra a diferença relativa entre os resultados de infiltração básica determinados utilizando permeâmetro de anéis concêntricos. Observa-se a partir dessa **Figura**, cujos resultados foram obtidos em 1996, que os tratamentos conservacionistas escarificador e plantio direto se destacaram em relação aos demais apresentando os maiores valores de infiltração básica.

Três anos depois, os resultados de infiltração básica levantados por Medeiros (2002) mostraram que o tratamento escarificador atingiu um valor médio significativamente mais alto em relação aos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si. Na avaliação desse parâmetro, os tratamentos conservacionistas apresentaram os maiores valores, 283,9 e 182,7 mm h⁻¹ para os sistemas escarificador e plantio direto respectivamente, em comparação aos sistemas enxada rotativa e arado de disco cujos valores foram 179,1 e 177,6 mm h⁻¹ respectivamente, em um total de 40 amostras por tratamento.

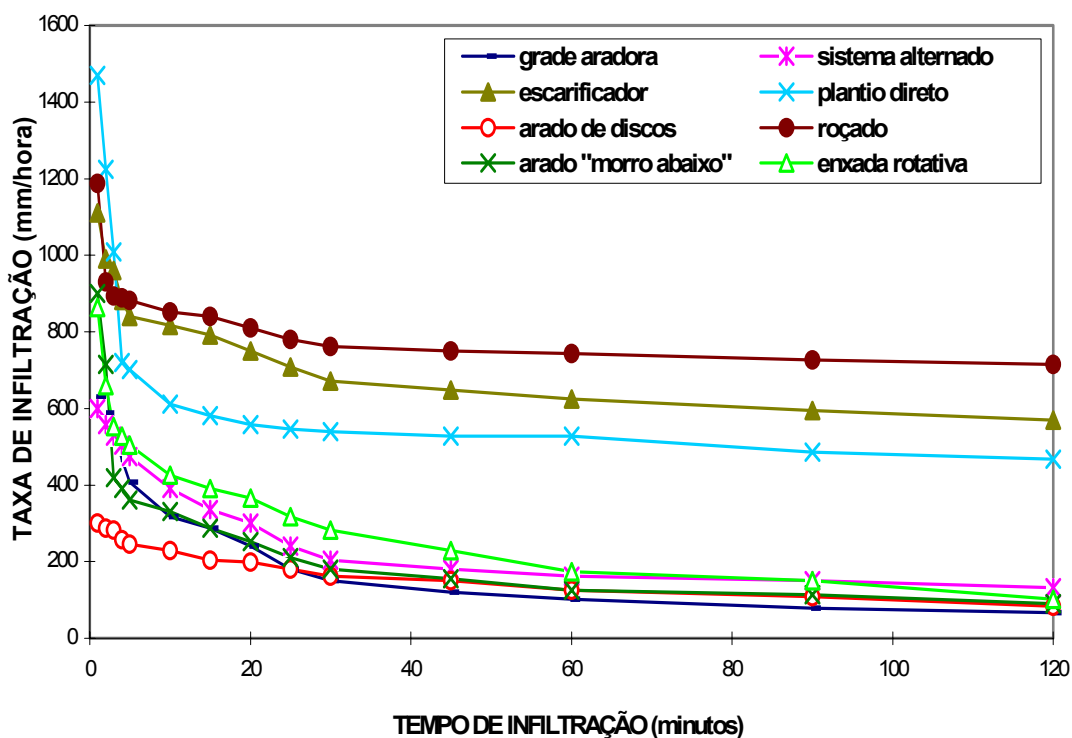


Figura 6. Taxa de infiltração para os tratamentos de sistema de preparo do solo, em Campinas – SP, no ano de 1996. (Lucarelli, 1997).

Alguns autores têm encontrado valores superiores de infiltração básica nos sistemas conservacionistas, como o plantio direto e escarificador, em relação aos chamados convencionais, como relatado em Guimarães (2000), Castro (1995), Arzeno (1990). Outros não observaram alterações significativas (Salih et al., 1998, Beutler et al., 2001)

A estreita relação da capacidade de infiltração de água no solo com a continuidade dos poros têm-se revelado como o mais eficaz parâmetro para a indicação de variações entre os sistemas de manejo em relação a outras determinações, além de constituir-se como indicador da qualidade do solo (Arzeno, 1990 e Beutler et al., 2001).

A permeabilidade medida em 1999 foi o parâmetro que demonstrou uma diferenciação entre os sistemas de preparo.

3.2. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular

A resistência mecânica é um termo utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti et al., 2001)

O parâmetro resistência do solo à penetração (RSP) é muito utilizado para avaliar a compactação de solos agrícolas, a qual afeta o desenvolvimento radicular de diversas culturas, podendo limitar a camada do solo explorada pelas plantas, deixando-as mais susceptíveis ao estresse hídrico durante os períodos de seca.

A resistência do solo à penetração foi o atributo físico mais afetado por implementos agrícolas, especialmente em subsuperfície, segundo o estudo realizado por Lucarelli (1997), apresentando-se mais elevada nos tratamentos de maior mobilização, ou seja, grade aradora, arado de disco e enxada rotativa.

Conforme Lucarelli (1997), esses tratamentos, por terem ação cortante no solo, provocam uma camada subsuperficial compactada logo abaixo do implemento, deixando a parte superior bem desestruturada.

Observa-se, pela **Figura 7**, que os valores de resistência do solo à penetração (e respectiva umidade) nos sistemas de preparo do solo convencionais evidenciam a formação de uma camada subsuperficial compactada, na faixa de 15 a 30 cm de profundidade para os diferentes implementos utilizados. Essa camada é causada pela ação cizalhante dos implementos durante o preparo do solo, ficando a área logo acima do implemento constituída por um material extremamente solto e poroso e, logo abaixo, a estrutura fica adensada.

Os tratamentos considerados conservacionistas apresentam uma curva de resistência à penetração mais suave (**Figura 8**). No plantio direto, a curva mostra valores maiores de resistência, como consequência da não mobilização do solo, e, com isso, maior estabilidade de sua estrutura, além do rodado, que causa uma compactação mais superficial. Esse relativo alto valor de resistência à penetração não deve ser interpretado pelo todo como decorrente de uma compactação do solo, o que levaria a uma infiltração correlativamente mais baixa;

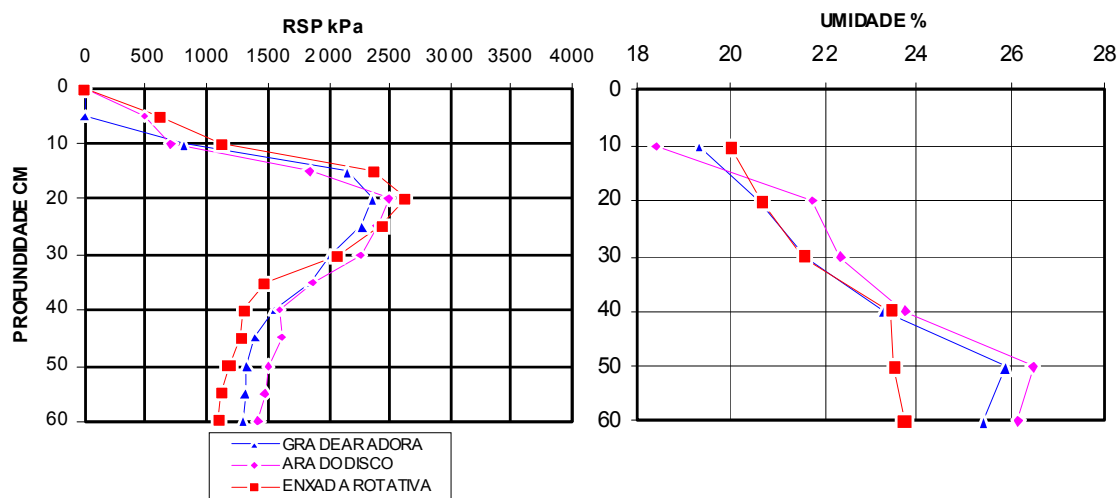


Figura 7. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos convencionais, em Campinas – SP, no ano de 1996.

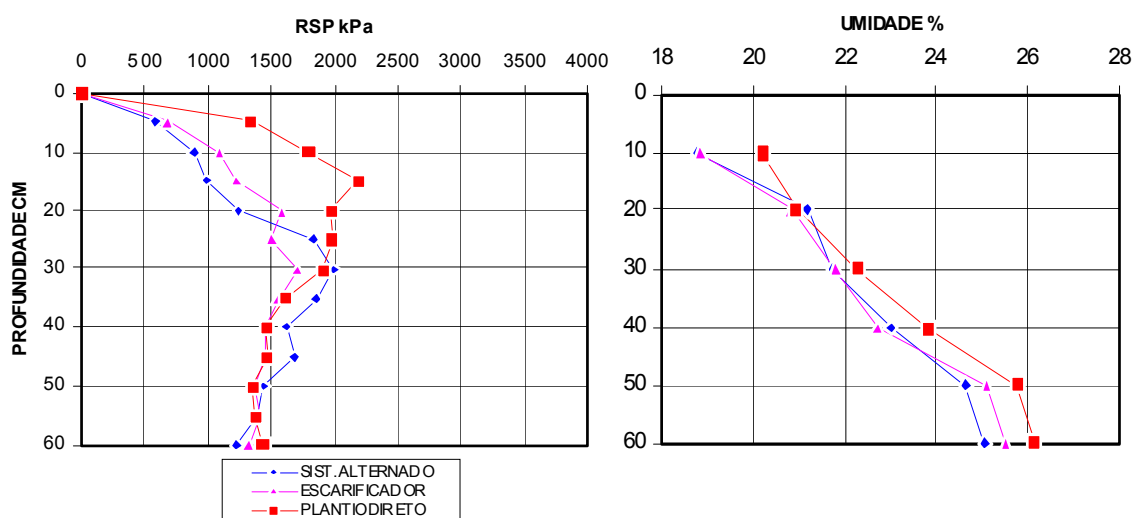


Figura 8. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos conservacionistas, em Campinas – SP, no ano de 1996 (Lucarelli, 1997).

Em sistemas de plantio direto, têm-se verificado, por vezes, valores de densidade do solo um tanto elevados, acompanhados de macroporosidade menor, o que se contrapõe aos resultados da taxa de infiltração maiores nesse sistema, por comparação ao sistema convencional, no qual a superfície normalmente é menos adensada. Entretanto, sob efeito da chuva, a resistência do solo à desagregação é maior por seu elevado teor de matéria orgânica e o não revolvimento do solo, que aliada aos resíduos superficiais que dissipam a energia cinética das gotas ajudando a diminuir o

escorrimento superficial, desempenha papel fundamental na infiltração de água, sendo possível constatar que a taxa de infiltração é inversamente proporcional ao grau de mobilização do solo. Dados obtidos por Roth & Meyer (1983) e Derpsch et al. (1986) confirmam essa afirmativa.

Para os tratamentos testemunhas (**Figura 9**), o resultado de RSP determinada em 1996, para tratamento roçado, é maior do que o do arado de disco “morro abaixo”. Tal fato se deve a uma compactação maior perto da superfície, em função do rodado do trator e por este talhão estar com gramíneas (colonião), portanto com enorme quantidade de raízes, conferindo boa estruturação ao solo, mostrando efeitos superiores aos das leguminosas.

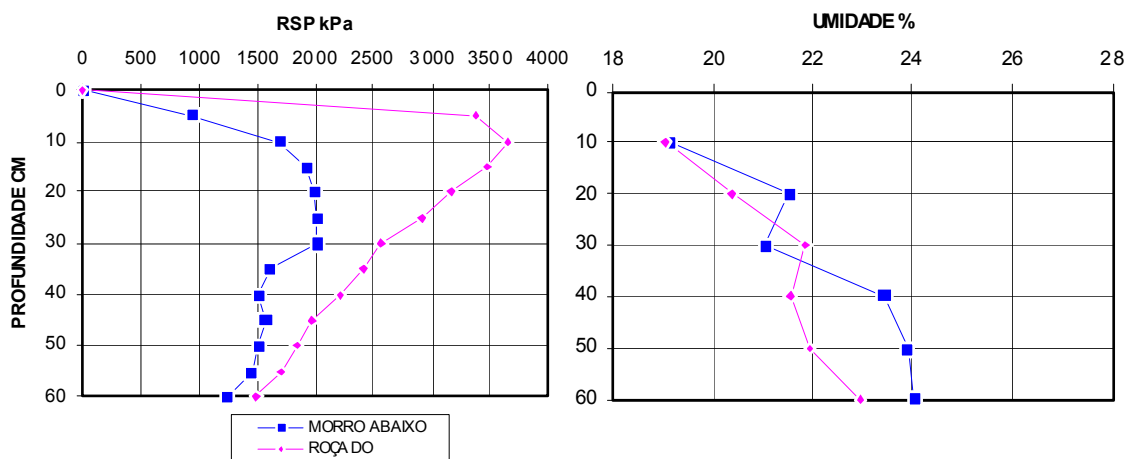


Figura 9. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos testemunhas.

No ano de 1999, a RSP foi medida na época da colheita da cultura do feijoeiro, ao longo do perfil (**Figura 10**), diferindo da amostragem de Lucarelli (1997) realizada antes das operações de preparo do solo.

Os resultados da variação de umidade do solo durante o ciclo de medições de resistência do solo à penetração, são apresentados na **Tabela 5**.

Tabela 5. Comparação entre médias da variável umidade em base peso dos sistemas de preparo por profundidade em Latossolo vermelho na época da colheita, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Tratamento	Profundidade (m)					n
	0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30	0,30 – 0,40	0 – 0,40	
	----- kg kg ⁻¹ -----					
Escarificador	0,220a	0,222a	0,234a	0,253a	0,267a	6
Arado Disco	0,228a	0,227a	0,236a	0,254a	0,269a	6
Enx. Rotativa	0,227a	0,236a	0,253a	0,262a	0,274a	6
	dms=kg kg ⁻¹	dms= ³	dms=	dms=	dms=	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

A umidade do solo foi crescente em profundidade para todos os tratamentos avaliados, havendo um paralelismo nas curvas (**Figura 10**) principalmente entre os tratamentos escarificador e arado de disco. O sistema de preparo enxada rotativa apresentou valores superiores de umidade do solo, com exceção da camada de 0 a 0,10 m, onde o tratamento arado de disco se destacou.

O critério do teste de Wilks mostra que não há efeito significativo entre sistemas de preparo do solo e para a interação profundidade *versus* sistema de preparo do solo, havendo somente diferenças significativas entre profundidades.

O tratamento com as maiores médias foi o sistema convencional arado de disco seguido do escarificador e enxada rotativa que atingiram praticamente o mesmo valor, apesar da maior umidade apresentada pelo sistema enxada rotativa.

Os valores máximos observados variaram de 2,6 a 3,5 MPa, ou seja, dentro dos limites considerados restritivos ao desenvolvimento das raízes por Grant & Lafond (1993).

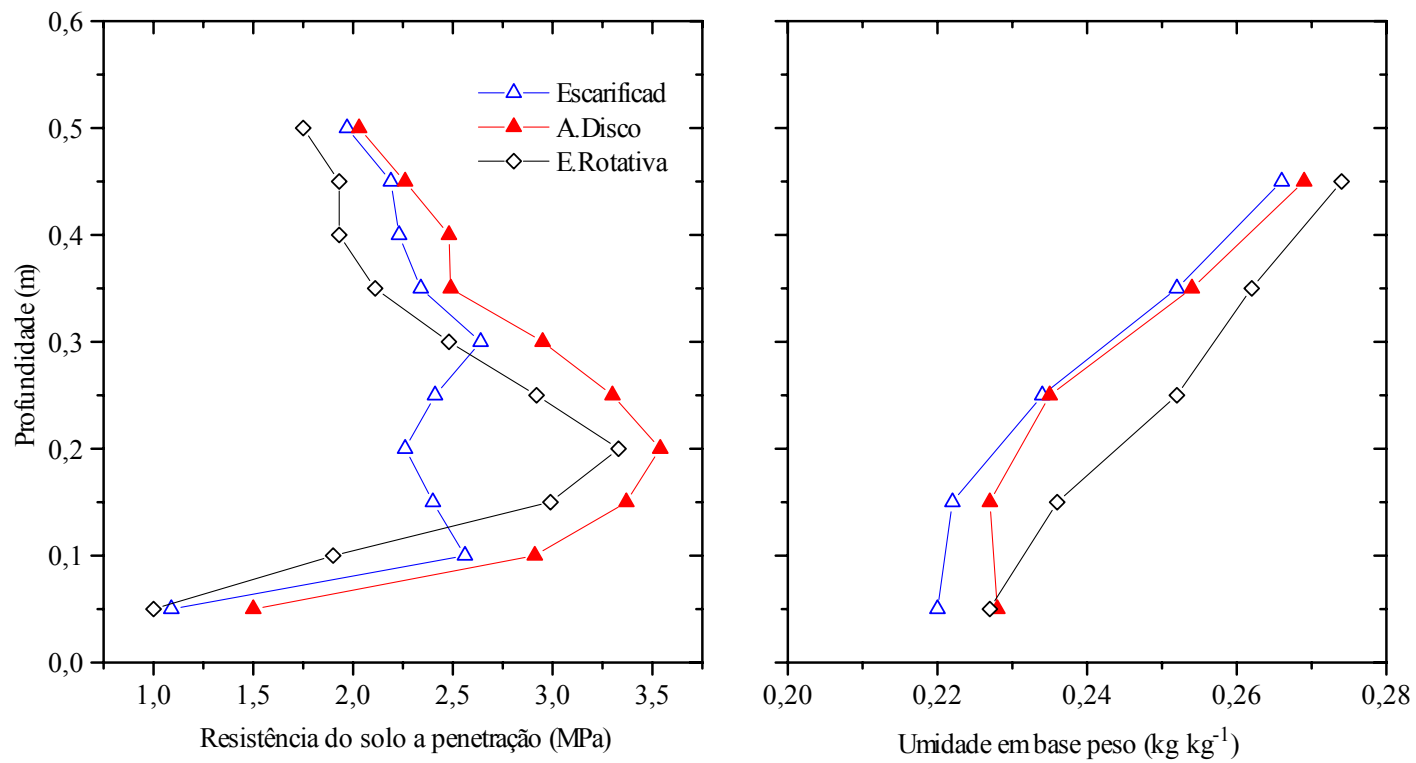


Figura 10. Variação da resistência do solo à penetração e umidade, na época da colheita, para os tratamentos escarificador, plantio direto, arado de disco e enxada rotativa, em Campinas – SP, no ano de 1999.

A profundidade em que esses valores máximos ocorreram varia de acordo com o tratamento, conforme pode ser observado na **Tabela 6**.

Tabela 6. Médias de resistência do solo à penetração por profundidade para cada sistema de preparo do solo, comparadas pelo teste de diferenças mínimas significativas ao nível de 95%, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Profundidade	Tratamento			n
	Escarificador	Arado Disco	Enx. Rotativa	
0,05	1,09c	1,50f	1,00e	6
0,10	2,56a	2,91bcd	1,90cd	6
0,15	2,40ab	3,37ab	2,99ab	6
0,20	2,26ab	3,54a	3,33a	6
0,25	2,41ab	3,30ab	2,92ab	6
0,30	2,64a	2,96abc	2,48bc	6
0,35	2,34ab	2,49cde	2,11cd	6
0,40	2,24ab	2,48cde	1,93cd	6
0,45	2,19ab	2,26e	1,94cd	6
0,50	1,97b	2,03ef	1,75d	6
	dms = 0,55 Mpa	dms = 0,67 MPa	dms = 0,67 MPa	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5%, dms: diferenças mínimas significativas, n: número de observações.

Nos tratamentos arado de disco e enxada rotativa, os valores máximos foram atingidos na profundidade de 0,20 m, concordando com os resultados obtidos por Lucarelli (1997) três anos antes e apresentados na **Figura 7**. Já para o tratamento escarificador, a profundidade na qual se alcançou o máximo valor, manteve-se a 0,30 m, também concordando com o que fora descrito por Lucarelli (1997).

Os resultados de densidade de raízes da cultura do feijoeiro, em profundidade, dos tratamentos alternado, escarificador, convencional com arado de disco e enxada rotativa, durante o ciclo da cultura em 1999, encontram-se na **Tabela 7** e demonstram a superioridade do tratamento alternado em todas as profundidades devido, provavelmente, ao suprimento de água diferenciado em relação ao dos demais.

Tabela 7. Comparação entre médias da densidade de raízes por profundidade para um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de preparo do solo, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Profundidade	Sistema de Preparo do Solo				n
	Alternado	Escarificador	Arado de Disco	Enxada Rotativa	
m	----- mg cm ⁻³ -----				
0 – 0,1	0,275aAB ± 0,005	0,192aA ± 0,003	0,145aAB ± 0,001	0,122aAB ± 0,001	6
0,1 – 0,2	0,290aA ± 0,008	0,249aA ± 0,001	0,169aA ± 0,001	0,154aA ± 0,001	6
0,2 – 0,3	0,191aABC ± 0,001	0,174aAB ± 0,001	0,204aA ± 0,002	0,086aBC ± 0,000	6
0,3 – 0,4	0,132aBCD ± 0,001	0,096aBC ± 0,000	0,071aBC ± 0,000	0,042aCD ± 0,000	6
0,4 – 0,5	0,083aCD ± 0,000	0,073aC ± 0,000	0,050aC ± 0,000	0,047aCD ± 0,000	6
0,5 – 0,6	0,046aD ± 0,001	0,027aC ± 0,000	0,029aC ± 0,001	0,005aD ± 0,000	6
	dms = 0,145 mg cm ⁻³	dms = 0,047 mg cm ⁻³	dms = 0,078 mg cm ⁻³	dms = 0,060 mg cm ⁻³	6
	CV = 72,5%	CV = 53,9%	CV = 59,3%	CV = 67,1%	
Total	1,016a ± 0,021	0,811ab ± 0,05	0,669ab ± 0,004	0,456b ± 0,002	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5%, dms: diferenças mínimas significativas, CV: coeficiente de variação; n: número de observações.

Incluiu-se o tratamento alternado nesta análise, objetivando-se ter uma referência de cultura sem restrição hídrica durante o ciclo e mantida sob potenciais elevados de água no solo.

Comparando-se os tratamentos com mesmo manejo de irrigação, observa-se uma superioridade do tratamento escarificador em todas as profundidades com exceção da camada de 0,20 a 0,30 m, onde se destaca o tratamento convencional com arado de disco.

Nessa **Tabela**, observa-se que o sistema radicular do feijoeiro concentrou-se na camada de 0,10 a 0,20 m para todos os sistemas de preparo, vindo a seguir a camada de 0,0 a 0,10 m e decaindo até a profundidade de 0,50 a 0,60 m. Essa concentração equivale a 55,6; 54,3 e 60,5% das raízes dos sistemas alternado, escarificador e enxada rotativa, respectivamente, indicando uma distribuição de raízes mais próxima à superfície no sistema enxada rotativa.

A exceção foi o sistema convencional com arado de disco, cuja densidade de raízes predominou na faixa de profundidade de 0,20 a 0,30 m e, em seguida, na de 0,1 a 0,2 m. Stone & Pereira (1994) também observaram maior densidade radicular para diferentes cultivares do feijoeiro, incluindo a cv. Carioca, na camada de 0 a 0,20 m, onde se concentrou mais de 70% das raízes.

Considerando-se a camada do solo de 0 a 0,30 m, observa-se que o sistema de preparo enxada rotativa continua apresentando uma concentração relativa de raízes superior à dos demais tratamentos, alcançando 79,4%, seguido do sistema arado de disco, escarificador e alternado, os quais apresentaram 77,6%; 75,9% e 74,4% respectivamente.

Esse fato sugere que os sistemas de preparo do solo influenciaram a distribuição radicular do feijoeiro, pois nos tratamentos cuja profundidade de trabalho foi menor, as raízes se concentraram mais próximas à superfície.

De Maria et al. (1999) observaram que o sistema radicular da soja foi reduzido em profundidade quando a densidade e a resistência do solo à penetração foram elevadas entre as camadas 0,10 a 0,20 m e 0,0 a 0,10 m e que os valores de RSP e densidade do solo isoladamente não puderam ser considerados como indicadores do crescimento das raízes.

Na amostragem realizada em 1999, as maiores médias de resistência do solo à penetração foram mais próximas à superfície nos tratamentos convencional com arado de disco e enxada rotativa do que no sistema de preparo escarificador. Além disso, o gradiente de RSP na superfície até a profundidade de 0,20 m, nesse sistema de preparo, foi inferior ao daqueles apresentados pelos tratamentos enxada rotativa e convencional com arado de disco.

Dentre os fatores implicados, um dos que podem ter levado ao melhor desempenho do sistema de preparo escarificador foi a distribuição mais homogênea de poros nesse tipo de sistema de preparo em relação à dos demais, o que, segundo Castro (1995) favorece o desenvolvimento radicular da cultura.

De maneira geral, os valores obtidos aproximam-se daqueles registrados por outros autores que realizaram ensaios com feijoeiro irrigado, como Pires et al. (1991), Stone & Silveira (1999), Wutke et al. (2000), para a variedade IAC Carioca, Stone & Pereira (1994) e Oliveira & Silva (1990).

Portanto, entre as propriedades físicas do solo avaliadas, observou-se que a porosidade total e a macroporosidade ao longo do perfil relacionaram-se com o melhor desenvolvimento do sistema radicular do tratamento escarificador, porém não significativo, nas diferentes profundidades avaliadas do solo. A profundidade da camada adensada e o gradiente de resistência à penetração ao longo do perfil, determinada ao final do ciclo, foram bons indicadores para o desenvolvimento radicular do feijoeiro, visto que as condições de fertilidade, umidade do solo, manejo de pragas e doenças não limitaram severamente o desenvolvimento da cultura.

4. Sistema de preparo do solo e as perdas de nutrientes (P, K⁺, CA²⁺, MG²⁺), matéria orgânica e sedimentos

A água e o solo perdidos pela erosão de terras agrícolas é uma das mais importantes fontes poluidora de rios, lagos e reservatórios, conhecida como fonte não pontual de poluição (nonpoint source pollution) ou poluição por carga difusa, a qual pode atingir também o lençol freático. O carreamento de nutrientes e defensivos ou a lixiviação contribuem para a eutrofização e contaminação de lagos, reservatórios e lençol freático além de seu assoreamento.

Nos Estados Unidos, o prejuízo para a qualidade de água superficial devido a sedimentos e nutrientes de terras agrícolas foi estimado variar de 2,2 a 7 bilhões de dólares por ano (Lovejoy et al., 1997). Já na Europa, as estimativas indicam que a erosão aumenta os custos de produção agrícola em 25% todos os anos (€ 53,00 por hectare) de acordo com ECAF (2003).

No Estado de São Paulo estima-se uma perda anual de 200 milhões de toneladas de solo (Canil & Ridente Junior, 1997). Esse quadro tem levado à proposição de programas de difusão de técnicas de manejo e conservação de solo, os quais já fazem parte de Legislação relacionada ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos em alguns Estados.

Resultados de experimentos conduzidos no período de 1990 a 1996 nos talhões coletores de solo e água da Feagri/UNICAMP e apresentados na **Figura 11** (Lucarelli, 1997) permitem comparar a diferença na perda média de terra devido somente à variação dada ao sistema de preparo e manejo do solo. Pode-se observar que os sistemas de preparo que mobilizam e desestruturam o solo são aqueles que também provocam as maiores perdas. Já os tratamentos conservacionistas (escarificador, plantio direto e sistema alternado) revelam menores perdas, principalmente o plantio direto, que mostra valores próximos ao do talhão testemunha roçado.

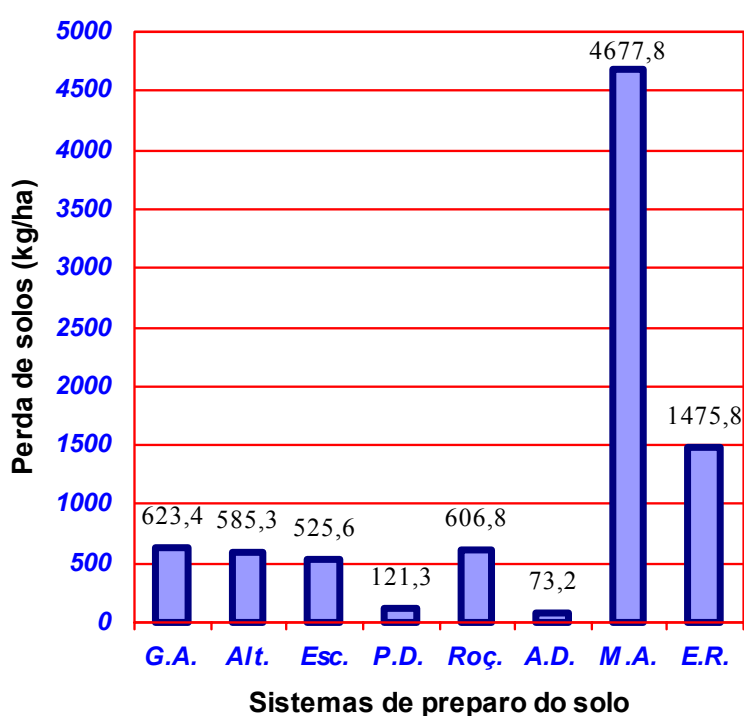


Figura 11. Perda média de terra observada nos tratamentos de preparo do solo grade aradora (G.A.), alternado (Alt), escarificador (Esc.), plantio direto (P.D.), roçado (Roç.), convencional com arado de disco (A.D.), convencional morro abaixo (M.A.) e enxada rotativa (E.R.) no período de 1990 a 1996.

A manutenção de uma camada de resíduos do solo, seja para a sua proteção ou para a minimização da perda de água por evaporação, é uma das práticas de manejo do solo sugerida e defendida por vários autores (Castro, 1995, Lucarelli, 1997, Amado et al., 1990, Stone & Moreira, 2000).

As perdas de solo, matéria orgânica e de outros nutrientes como o fósforo, potássio, cálcio e magnésio (**Tabela 8**) pela erosão hídrica revelam diferentes intensidades em função dos sistemas de preparo utilizado, como aliás, tem sido constatado em alguns trabalhos desenvolvidos na mesma direção (Lombardi Neto et al., 1980; entre outros).

Tabela 8. Perdas de matéria orgânica e de nutrientes, em função das perdas totais de solo por hectare de cada talhão, em Campinas – SP, no ano de 1996.

TRATAMENTO ⁽¹⁾	MATÉRIA ORGÂNICA	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
g/ha					
T1	31.276,41	56,18	101,13	1.817,02	431,26
T2	25.364,73	48,28	86,74	1.483,19	359,61
T3	25.845,44	36,92	85,57	1.412,27	268,39
T4	7.787,27	12,14	20,71	588,26	175,92
T5	27.714,64	36,58	66,59	2.218,79	579,08
T6	5.162,72	53,05	10,91	375,91	169,85
T7	164.505,80	58,93	277,73	4.481,44	1.126,28
T8	75.268,35	25,93	91,47	1.990,68	352,14

(1) T1-grade aradora; T2-sistema alternado; T3-escarificador; T4-plantio direto; T5-arado de disco; T6-roçado; T7-arado de disco “morro abaixo”; T8-enxada rotativa.

Observando-se os resultados da **Tabela 8**, constata-se que todos os tratamentos provocam perdas de solo, o que vai acarretar também perdas de matéria orgânica e de nutrientes.

As maiores perdas de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes ocorreram no tratamento arado de disco “morro abaixo”, confirmando a importância, já bem conhecida, do cultivo em nível, que propicia menor velocidade de escoamento superficial e, com isso, menor arraste de partículas, Lucarelli et al. (1996). Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), o simples cultivo em nível pode reduzir até em 50% as perdas de solo em relação ao cultivo morro abaixo, fato este comprovado pelos tratamentos T7 e T5, desenvolvidos, respectivamente, com arado de disco “morro abaixo” e com o mesmo implemento, porém em nível; as diferenças de perdas de matéria orgânica e nutrientes entre os dois tratamentos são muito elevadas (**Tabela 8**).

Outros tratamentos que mobilizam em excesso o solo, deixando pouca cobertura vegetal, também provocaram perdas sempre elevadas, principalmente de matéria orgânica. Entre esses

tratamentos, a grade aradora (sistema convencional) mostrou o pior desempenho; com elevadas perdas tanto de sedimentos, como matéria orgânica e nutrientes avaliados (**Tabela 8**). Os resultados negativos, em relação aos sistemas convencionais, podem ser explicados em função do alto grau de mobilização, desestruturação e formação de camadas subsuperficiais compactadas que tais sistemas promovem, o que vai proporcionar elevadas perdas de solo e água, ou, por consequência, de matéria orgânica e nutrientes, fato esse observado por Chichester & Richardson (1992) e Seganfredo et al. (1997).

Um solo submetido a um sistema de preparo convencional tem a tendência de a cada ano agrícola sofrer um aumento crescente das perdas de matéria orgânica e nutrientes, uma vez que os fatores que levam ao processo erosivo tendem, igualmente, a acentuarem-se com o uso agrícola. Além disso, as formas convencionais de manejo do solo tendem a aumentar a taxa de decomposição de matéria orgânica em comparação com o plantio direto, contribuindo ainda mais para a sua redução.

A taxa de concentração de nutrientes e a de enriquecimento do material erodido são apresentadas nas **Tabelas 9 e 10**; verifica-se que os tratamentos ditos conservacionistas revelam valores mais elevados. Tal constatação é também referida por Seganfredo et al. (1997). Já Dedeczek et al. (1986), em experimento semelhante, não verificaram enriquecimento em nutrientes no sedimento em relação ao solo de origem.

Na **Tabela 9**, pode-se observar que para todos os tratamentos houve uma concentração maior de nutrientes e matéria orgânica no material erodido. Isso mostra que a erosão tem uma grande influência na taxa de fertilidade de um solo e o seu teor de matéria orgânica.

A elevada taxa de enriquecimento decorre da própria natureza dos sistemas ditos conservacionistas, pois o pouco de material que perdem é muito superficial, justamente onde a concentração em matéria orgânica e nutrientes é maior.

Tabela 9. Concentração de nutrientes e de matéria orgânica no solo do talhão, 0-20cm (S) e no material erodido (E), em Campinas – SP, no ano de 1996.

TRATAMENTO ⁽¹⁾	M. O.		P		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E
	g/kg				mg/kg					
Grade Aradora	27	50,17	45,13	90,12	124,45	162,21	778,76	2.914,45	139,78	691,73
Sist. Alternado	33	43,33	45,76	82,49	112,37	148,18	779,66	2.533,90	133,86	614,36
Escarificador	35	49,17	43,59	70,23	130,00	162,78	854,70	2.686,61	155,77	510,58
Plantio Direto	35	64,17	67,50	100,00	104,00	170,63	783,33	4.847,22	162,00	1.449,56
Arado de Disco	32	45,67	25,60	60,27	68,64	109,72	656,00	3.656,00	97,20	954,18
Roçado	36	70,50	84,60	72,44	78,00	149,00	400,00	5.133,33	112,15	2.319,40
A. D. m. abaixo	29	35,17	7,09	12,60	42,99	59,37	472,44	958,01	95,67	240,77
Enx. Rotativa	27	51,00	6,20	17,57	33,26	61,98	325,58	1.348,84	75,35	238,60

Tabela 10. Taxa de enriquecimento nos diferentes sistemas de preparo do solo, em Campinas – SP, no ano de 1996.

TRATAMENTOS	TAXA DE ENRIQUECIMENTO ⁽¹⁾				
	M.O.	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Grade Aradora	1,9	2,0	1,3	3,7	5,0
Sist. Alternado	1,3	1,8	1,3	3,3	4,6
Escarificador	1,4	1,6	1,3	3,1	3,3
Plantio Direto	1,8	1,5	1,6	6,2	8,9
Arado de Disco	1,4	2,4	1,6	5,6	9,8
Roçado	2,0	8,6	1,9	12,8	20,7
A. D. m. abaixo	1,2	1,8	1,4	10,0	2,5
Enx. Rotativa	1,9	2,8	1,9	3,8	3,2

(1) Taxa de Enriquecimento do material erodido = concentração do elemento no sedimento/concentração do elemento no solo original.

Observando-se os dados da **Tabela 10**, verifica-se que todas as taxas de enriquecimento encontradas para matéria orgânica e nutrientes foram maiores do que 1, indicando que as concentrações de tais elementos no material erodido sempre foram maiores do que as existentes no solo original. Como todos os processos de erosão promovem uma seleção de materiais, no caso do solo há, preferencialmente, carreamento de partículas de tamanhos pequenos e de colóides, que são justamente os responsáveis pela maior adsorção de nutrientes.

Essas perdas seletivas são, em boa parte, as responsáveis pelo decréscimo na fertilidade do solo, e podem, ao longo dos anos, inviabilizar o cultivo com bases econômicas se não forem tomadas providências corretas.

É interessante observar que, apesar da alta taxa de enriquecimento nos tratamentos conservacionistas, quando se considera o total de solo erodido, verifica-se que esses tratamentos são justamente os que revelaram menores perdas de matéria orgânica e de nutrientes, ou seja, quanto maior for a erosão, maiores serão as perdas destes elementos mesmo que o solo erodido esteja com baixos níveis de fertilidade.

Outro aspecto importante a se considerar, são os valores de perdas de nutrientes e matéria orgânica, que foram obtidos do solo erodido, não se considerando a enxurrada que possui um teor destes elementos maior que o solo.

5. Manejo de solo, consumo de água e eficiência do uso da água sob condições irrigadas

A influência dos sistemas de preparo sobre a degradação do solo e suas características físico-hídricas e sobre o desenvolvimento e a produtividade das culturas tem sido predominantemente estudada em condições de cultivo das águas. Poucos estudos, porém, direcionam para o efeito do manejo do solo sobre o desempenho e consumo de água das plantas, incluindo o feijoeiro, sob condições irrigadas, tampouco em áreas manejadas da mesma forma após um período de anos suficiente para que modificações tenham sido impostas.

Dentre as práticas de manejo agrícola a cobertura morta é apontada por vários autores como responsável pela maior produtividade e eficiência do uso da água do feijoeiro sob plantio direto, propiciando menores valores e menor variação ao longo do ciclo da tensão matricial da água no solo em comparação aos demais sistemas (Stone & Silveira, 1999, Urchei e al., 2000, Barros & Hanks, 1993). Isso se dá mesmo que a área esteja, pela primeira vez, sob esse sistema de preparo como observam Urchei et al. (2000). Todavia, resultados que contradizem essa afirmação têm ido encontrados na literatura como em Chagas et al. (1994), Zaffaroni et al. (1991), Xu & Pierce (1998).

A variabilidade dos efeitos do manejo do solo sobre o rendimento de grãos e desenvolvimento de cultura do feijoeiro está associada não só ao implemento utilizado, mas a outros fatores como o histórico da área do ensaio, a variedade de feijoeiro utilizada, a fertilidade, ao histórico da cultura ao longo do ciclo, as condições climáticas no ano agrícola, as variações

nos tratos culturais, se a cultura é ou não irrigada e se está sujeita ao estresse hídrico, etc. Por essas razões, tem sido bastante variável na literatura o comportamento do feijoeiro sob diferentes manejos do solo (Kluthcouski et al., 2000).

Desenvolveu-se, no ano de 1999, ensaio na área de Conservação de Solo e Água da Feagri/UNICAMP em Campinas-SP, quando se verificou a influência do sistema de preparo do solo sobre a produção, o consumo e a eficiência do uso da água do feijoeiro irrigado em área de Latossolo vermelho manejado durante oito anos com os sistemas de preparo alternado, convencional com arado de disco, escarificador e rotavação (Medeiros, 2002).

O sistema alternado teve um manejo de irrigação diferenciado em relação aos demais, pois a cultura foi mantida na capacidade de campo ao longo de todo o ciclo. Este manejo diferenciado foi adotado para que o tratamento alternado servisse como referência para uma avaliação de estresse hídrico da cultura, por meio da medição de temperatura do dossel vegetativo com termômetro infravermelho.

A **Tabela 11** apresenta os resultados da conversão do consumo de água da cultura em matéria seca e produção de grãos para os tratamentos de sistema de preparo do solo escarificador, convencional com arado de disco e enxada rotativa.

Tabela 11. Eficiência do uso da água da biomassa e da matéria seca de grãos do feijoeiro irrigado submetido aos sistemas de preparo do solo escarificador, arado de disco e enxada rotativa, em Campinas -SP, no ano de 1999.

Tratamento	Evapotranspiração -----mm-----	Produção		Eficiência do uso da água	
		Grãos -----kg ha ⁻¹ -----	Biomassa	Grãos -----kg m ⁻³ -----	Biomassa
Escarificador	336	2519a	4816a	0,753a	1,44a
Arado de disco	350	2213b	4870a	0,632b	1,39a
Enx. Rotativa	335	2164b	4895a	0,645b	1,46a

Apesar de o consumo de água ter sido semelhante, a diferença significativa na produção entre os tratamentos sob o mesmo manejo de irrigação levou a uma eficiência do uso da água significativamente maior do sistema de preparo do solo escarificador em relação ao convencional com arado de disco e enxada rotativa. Os valores de eficiência do uso da água estão acima do recomendado por Doorenbos & Kassan (1979), que apresentam valores para o feijoeiro na ordem

de 0,30 a 0,60 kg m⁻³ para grãos com teor de 10% de umidade e dentro da faixa encontrada em outros experimentos de feijoeiro irrigado (Barros & Hanks, 1993, Calvache et al., 1997).

Neste ensaio, os valores próximos de consumo de água entre os diferentes tratamentos e a magnitude dos valores de produção e de índice de colheita atingidos (77,7 para o sistema escarificador, 53,0% no convencional com arado de disco e 51,3% para a enxada rotativa) corroboram a conclusão de que o manejo de irrigação foi adequado e não influenciou os resultados entre tratamentos, evidenciando que as variações encontradas devem estar relacionadas a efeitos provocados pelos sistemas de preparo do solo.

Analisando-se o conjunto de resultados, conclui-se que o melhor desempenho do tratamento de sistema de preparo do solo escarificador é mais provavelmente explicado por uma confluência de condições do que por algum fator isolado.

Dentre os fatores determinados durante o ensaio, tem-se aqueles que apresentaram diferenças significativas e os que não as apresentaram, mas cujo comportamento contribuiu para os resultados finais.

Os parâmetros que melhor descreveram os atributos do solo para o desenvolvimento e eficiência do uso da água pela cultura do feijoeiro foram aqueles relacionados à distribuição em profundidade da porosidade ao longo do perfil do solo, determinados com base na curva de retenção de água no solo, e a capacidade de infiltração de água no solo, a qual é um atributo dependente, dentre outros fatores, da continuidade e do tamanho dos poros (Hillel, 1998, Beutler et al., 2001).

O reflexo dos efeitos acumulados do sistema de preparo sobre a qualidade do solo pôde então ser avaliado pelo desempenho da cultura do feijoeiro e eficiência do uso da água.

O parâmetro de crescimento da cultura que demonstrou diferença significativa foi a altura de planta. A porcentagem de cobertura vegetal, o índice de área foliar, a matéria seca total e de raízes, apesar de não terem apresentado uma significância estatística, foram maiores no tratamento escarificador em relação ao arado de disco e à enxada rotativa.

O desenvolvimento radicular mais uniforme em profundidade no sistema escarificador parece estar associado aos seguintes fatores, já citados por outros autores: melhor distribuição de poros ao longo do perfil, sendo este um aspecto apontado como benéfico para o desenvolvimento radicular de diversas culturas (Castro, 1995); maior profundidade do início da camada compactada desse tratamento em relação à enxada rotativa e arado de disco, condição essa

verificada como benéfica para a distribuição do sistema radicular do feijoeiro por Stone & Silveira (1999); o menor gradiente de variação da resistência do solo à penetração em profundidade, outro fator citado como responsável para o melhor crescimento de leguminosas como a soja (De Maria et al., 1999).

O crescimento diferenciado do sistema radicular deve ter promovido melhor aproveitamento da água pela cultura do feijoeiro no tratamento escarificador em relação aos demais, submetidos ao mesmo manejo de água. Esse fato é corroborado por dois resultados: o primeiro refere-se à camada do solo explorada pela cultura para retirada de água, a qual foi mais profunda no tratamento escarificador, cuja variação ficou entre 0,10 a 0,40 m (**Tabela 7**), enquanto no tratamento enxada rotativa concentrou-se na camada superficial do solo, até a profundidade de 0,20 m; o segundo diz respeito ao índice de estresse hídrico da cultura e sua relação com a produção do feijoeiro, como observado na **Figura 12**.

Na **Figura 12**, observa-se a relação linear, altamente significativa, entre a produção e o índice de estresse hídrico acumulado (IEHD) para a cultura do feijoeiro submetido aos diferentes sistemas de preparo do solo, cuja forma é a seguinte:

$$Y = -14,905 \times \text{IEHD} + 3296,1 \quad r^2 = 0,91^{**}$$

onde Y é a produção (kg ha^{-1}) e IEHD o índice de estresse hídrico da cultura, baseado na diferença entre a temperatura do dossel e a do ar.

A **Figura 12** permite observar que o tratamento alternado foi aquele que apresentou a maior produção e o menor índice de estresse hídrico acumulado. Dentre os tratamentos que tiveram o mesmo manejo de água, o sistema de preparo escarificador totalizou o menor índice de estresse hídrico acumulado, seguido do sistema convencional com arado de disco e enxada rotativa.

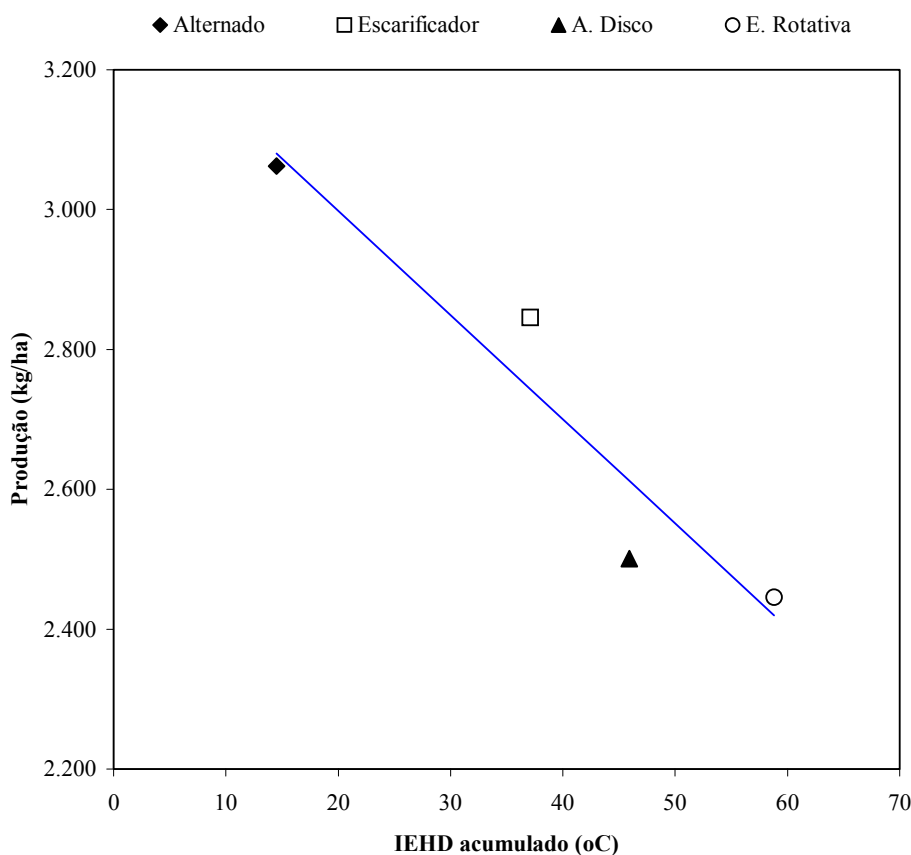


Figura 12. Variação da produção final com o índice de estresse hídrico acumulado (IEHD) para os tratamentos de sistema de preparo do solo alternado, escarificador, arado de disco e enxada rotativa, em Campinas-SP, no ano de 1999.

O maior IEHD apresentado pelo tratamento enxada rotativa é um indicativo de deficiência hídrica no feijoeiro, a qual pode ter levado ao menor número de vagens por planta neste sistema de preparo do solo, fruto do decréscimo na porcentagem de vingamento de flores como comentado por Stone & Moreira (2000), apesar das condições muito próximas do manejo de água entre os tratamentos.

Portanto, o desempenho da cultura e a sua conseqüente maior eficiência do uso da água devem ser resultado de efeitos acumulados, ao longo dos anos, do sistema de preparo do solo.

Outro importante aspecto a ser considerado e que influencia a produção e eficiência de o uso da água é o fato do sistema de preparo enxada rotativa perder a maior quantidade de solo e nutrientes na época das chuvas em relação aos demais tratamentos estudados, de acordo com os

levantamentos realizados por um período de oito anos e compilados por Lucarelli (1997). Tanaka (1990) comenta que a conservação do perfil do solo é importante para a manutenção da eficiência do uso da água pelas culturas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para atender ao escopo do evento “I Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios”, pretendeu-se apresentar resultados de ensaios conduzidos, sob condições de campo, na Universidade Estadual de Campinas, na área de Conservação de Solo e Água da Faculdade de Engenharia Agrícola.

Essa área é fruto de um dos raros exemplos de trabalho continuado e de longa duração, desenvolvido de forma sistemática e com rigor técnico por um período que chegou a 13 anos, sendo o último ano de ensaio, nos moldes conduzidos desde 1990, realizado no ano agrícola de 2002/2003.

A continuidade desse trabalho só foi possível graças ao empenho e dedicação do Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel que concebeu e conduziu esses ensaios mesmo depois de sua aposentadoria e pela dedicação e apoio técnico – científico do pesquisador Eng. MSc. José Ricardo Freitas Lucarelli que atualmente realiza o seu programa de doutoramento nessa mesma área experimental.

Dessa área de experimentação resultaram duas teses, sendo uma de mestrado (Lucarelli, 1997) e outra de doutorado (Medeiros, 2002), além de outros trabalhos publicados em periódicos, anais de congressos nacionais e internacionais, os quais tiveram a participação de alunos de iniciação científica (Medeiros et al., 2001, Lucarelli et al., 1999, Lucarelli et al., 1998, Lucarelli, 1997, Lucarelli et al., 1996, Daniel et al., 1996, Daniel et al., 1997).

Destaque-se ainda o fato da área experimental ter apoiado a disciplina de graduação Conservação do Solo e a disciplina de pós – graduação Mecanização no Uso e Manejo do Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Os resultados obtidos podem ser considerados uma contribuição para linhas semelhantes e relacionadas à conservação do solo e água na agricultura.

Como avanços na área de manejo do solo verificados ao longo das últimas três décadas tem-se a destacar:

- a) os sistemas de preparo conservacionistas têm se expandido ressaltando-se o plantio direto, o qual vem tendo seu uso crescente também sob condições irrigadas;
- b) programas de difusão de técnicas de manejo e conservação de solo já fazem parte de Legislação relacionada ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos em alguns Estados. Como exemplo cita-se Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas do Estado de São Paulo;
- c) o uso, a conservação e preservação do solo agrícola fazem parte da legislação no Estado de São Paulo por meio da Lei 6.171, de 4 de julho de 1988, regulamentada pelo Decreto 41.719, de 16 de abril de 1997;
- d) técnicas de preparo e manejo do solo que promovam menor revolvimento do solo e manutenção de resíduos culturais tem sido recomendadas para a redução da perda de água por evaporação, redução da perda de solos e nutrientes por escoamento superficial e, recentemente, redução da emissão de CO₂ para a atmosfera.

Referências

- AMADO, T. J.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 251-257, 1990.
- ARZENO, J. L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em um latossolo roxo - distrófico**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 259 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1990.
- BARROS, L. C. G.; HANKS, R. J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 85, p. 692-697, 1993.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p.555-60, 2001.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 335p.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.167-77, 2001.
- CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O. O. S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso da água em uma cultura do feijão. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 3, p.232-40, set/dez, 1997.

CANIL, K.; RIDENTE JUNIOR, J. L. A questão da erosão no contexto do gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Resumos... São Paulo, SP : IEA-USP, 1997.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 257-265, fev. 1999.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 174 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ, USP, 1995.

CHAGAS, J. M.; GOMES, J. M.; VIEIRA, C.; ARAUJO, G. A. A. Efeitos de quantidades de água sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em quatro sistemas de manejo do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 238, p.641-50, 1994.

CHICHESTER, F. W.; RICHARDSON, C. W. Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 21, n. 4, p. 587-590, 1982.

CLAWSON, K. L.; BLAD, B. L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 74, p. 311-316, 1982.

DANIEL, L. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; LUCARELLI, J. R. F.; MAIA, J. C. S. A mecanização e conservação do solo na FEAGRI/UNICAMP. In: SEMINÁRIO CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Resumos Expandidos...** São Paulo, 1997. p. 119-120.

DANIEL, L. A.; SVERZUT, C. B.; LUCARELLI, J. R. F. Effects of different agricultural mechanization systems on compacted soil layer formation. In: AgEng96, INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING. **Anais...** Madrid, 23 a 26 de setembro de 1996, v. 1, p. 134-35.

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS JUNIOR, E. de. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em latossolo vermelho-escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 265-272, 1986.

DE MARIA, I.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 703-709, 1999.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, M.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil Tillage Research.**, Amsterdam v. 8, p. 253-263, 1986.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome : FAO, 1979. 193 p. Paper n. 33.

DUMANSKI, J.; ROLOFF, G.; GAMEDA, S. de; JONG, R. Application of information technology for the sustainable management of land resources. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, 1997. 22p.

ECAF (European Conservation Agriculture Federation). Agricultura de conservação na Europa. Disponível em: < <http://www.ecaf.org/português/First.html#3d> >. Acesso em: 7 de maio de 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York, Academic Press, 1998. 771p.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento da soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n.1, p.97-104, jan/mar 2000.

LOVEJOY, B. S.; LEE, J. G.; RANDHIR, T. O.; ENGEL, B. A. Research needs for water quality management in the 21st century. A spatial support system. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa-USA, v. 52, n. 1, p. 18-22, jan-fev 1997.

LUCARELLI, J. R. F.; MEDEIROS, G. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; DANIEL, L. A. Influência do manejo do solo de um Latossolo roxo sobre a disponibilidade de água no solo e suas implicações para o manejo de irrigação. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Pucon-Chile. **Anales del CLACS-99**. Pucon-Chile: Sociedad Agronomica de Chile, 1999. p. 1-4.

LUCARELLI, J. R. F.; ESPÍNDOLA, C. R.; DANIEL, L. A. Estabilidade e distribuição dos agregados em oito diferentes sistemas de preparo e manejo do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 12., 1998. **Resumos Expandidos...** Fortaleza, 1998. p. 207-08.

LUCARELLI, J. R. F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 1997. 135 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LUCARELLI, J. R. F.; DANIEL, L. A.; GUIMARÃES, E. C.; SVERZUT, C. B. Different soil tillage systems influence in soil loss by erosion. In: AgEng96, INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING. **Anais...** Madrid, 23 a 26 de setembro de 1996, v.2, p.757-58.

MEDEIROS, G. A. **Influência do manejo de um Latossolo vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2002. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MEDEIROS, G. A.; BOMFIM, M. B.; LUCARELLI, J. R. F.; DANIEL, L. A. Avaliação de sondas segmentadas multihaste e TDR em latossolo vermelho conduzido sob dois sistemas de preparo e cultivado com feijoeiro irrigado. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal - SP, v. 26, n. 1, p. 48-53, 2001.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 317-322, março 1990.

OLIVEIRA, J. O. A. P.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TORMENA, C. A.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; MUNIZ, A. S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, CRANTZ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.2 5, p.443-450, 2001.

OLIVEIRA, J. B.; ROTTA, C. L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos** do Estado de São Paulo. **Quadricula de Campinas**. Rio de Janeiro, IBGE, 169 p. 1979.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 521-529, 2001b.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 153-162, 1991.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4 ed. rev. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

ROTH, C. H.; MEYER, B. Infiltrabilidade de um Latossolo roxo distrófico durante o período vegetativo da soja sob preparo convencional, escarificação e plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, Curitiba, 1983. **Programas e Resumos**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983, p.108.

SALIH, A. A.; BABIKIR, H. M.; ALI, S. A. M. Preliminary observations on effects of tillage systems on soil physical properties, cotton root growth and yield in Gezira Scheme, Sudan. **Soil & Tillage Research**, v. 61, p. 193-202, 2001.

SEGANFREDO, L. M.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. de. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, p. 287-291, 1997.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 395-401, 2001.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 835-841, abr. 2000.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, jan. 1999.

STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 6, p.939-54, 1994.

TANAKA, D. L. Topsoil removal influences on spring wheat water-use efficiency and nutrient concentration and content. **Transactions ASAE**, St Joseph, MI, v. 33, n. 5, p. 1518-24, 1990.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 301-09, 1998.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p.497-506, 2000.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 621-33, 2000.

XU, C.; PIERCE, F. J. Dry bean and soil reponse to tillage and row spacing. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 393-399, 1998.

ZAFFARONI, E.; BARROS, H. H. de A.; NÓBREGA, J. A. M.; LACERDA, J. T. de; SOUZA JUNIOR, V. E. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agrônômicas de milho e feijão no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 99-104, 1991.

MANEJO DE ÁGUA E SOLO: AVANÇOS E DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS NA AGRICULTURA

GERSON ARAUJO DE MEDEIROS¹

JOSÉ RICARDO FREITAS LUCARELLI²

LUIZ ANTONIO DANIEL³

¹CENTRO REGIONAL UNIVERSITÁRIO DE ESPÍRITO SANTO DO PINHAL
Caixa Postal 05, Av. Helio Vergueiro Leite s/n., CEP 13990-000, Espírito Santo do Pinhal – SP
gerson_medeiros@creupi.br

²FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – UNICAMP,
Cidade Universitária Zeferino Vaz, s/n., CP , CEP 13083-970, Campinas - SP
luca@agr.unicamp.br

³CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA “PAULA SOUZA” – NEPA/FATEC
Av. Eng. Carlos Reinaldo Mendes 20150, Alto da Boa Vista, CEP 18013-280, Sorocaba – SP
daniel@agr.unicamp.br

Resumo. A escassez da água seja em quantidade como em qualidade, é um dos problemas que melhor tem demonstrado as conseqüências do padrão de desenvolvimento e crescimento populacional na sociedade contemporânea. Entre os setores envolvidos nessa questão destaca-se a agricultura tanto pela geração de poluição difusa, proveniente dos sedimentos carregados para os rio, quanto pela demanda hídrica na irrigação, responsável por aproximadamente 63% do consumo de água doce no país (ANA, 2002). Nesse aspecto, o manejo dos recursos naturais na agricultura, notadamente da água e do solo, visando à conservação dos recursos hídricos é uma área do conhecimento que vem merecendo destaque e atenção. O objetivo do presente trabalho é discutir alguns dos impactos gerados por sistemas de preparo e manejo do solo na conservação e eficiência do uso da água, enfocando resultados de experimentos conduzidos na UNICAMP. Esses resultados apontam para maiores perdas de solos e nutrientes e menor eficiência do uso da água dos sistemas convencionais em comparação com os conservacionistas, sob condições irrigadas e de cultivo das águas.

Palavras chaves: manejo do solo e água, sistema de preparo do solo, conservação do solo e água, irrigação.

1. Introdução

A população mundial apresentou um rápido incremento de 2,5 bilhões de habitantes em 1950 para 6 bilhões em 2000. Esse fenômeno também foi verificado no Brasil onde se observou uma variação de 90 milhões de habitantes em 1970 para os 168 milhões registrados em 2000, a evolução histórica da população brasileira pode ser visualizada na **Figura 1** (Braga et al., 2002).

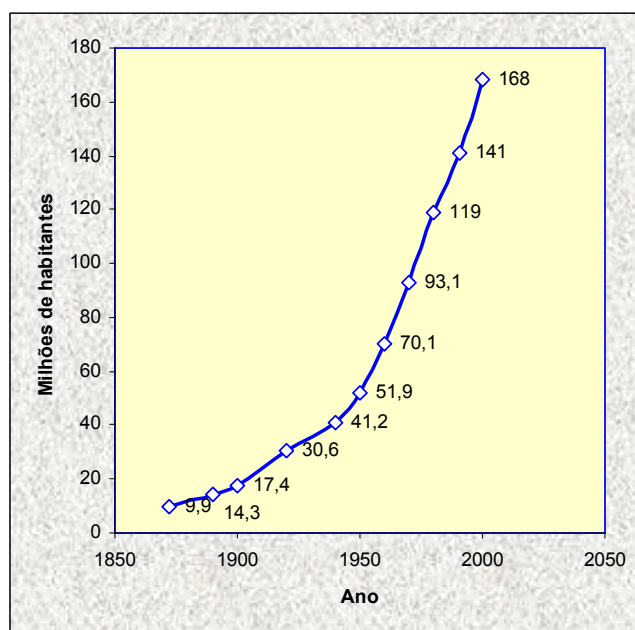


Figura 1. Crescimento populacional brasileiro. (Braga et al., 2002).

Este crescimento provocou uma elevação na demanda por alimentos e utilização dos recursos naturais, destacadamente a água. Para atender a essa demanda cita-se a expansão da área agrícola em países como o Brasil e a adoção de tecnologias que aumentam a produção e permitem intensificar o uso do solo como a mecanização agrícola, utilização de insumos e irrigação. Essa intensificação pode acelerar ou potencializar a degradação dos recursos naturais além da sua escassez.

Dumanski et al. (1997) afirmam que um dos desafios para a agricultura é a necessidade de aumentar a produção de alimentos para atender a uma demanda crescente, sob condições de escassez de recursos naturais. Segundo o referido autor, esse aumento da produtividade pode ser alcançado por meio do manejo melhorado das terras cultivadas, particularmente do manejo de

nutrientes, conservação do solo e da água, e tecnologias relacionadas ao uso mais eficiente dos recursos naturais.

Nesse contexto, o sistema de preparo é um dos fatores com maiores condições de provocar alterações nas características naturais do solo (Lucarelli, 1997) sendo um dos trabalhos de manejo mais importantes na agricultura.

As técnicas de preparo do solo podem ser enquadradas, basicamente, em dois grupos, a saber: (a) sistema reduzido ou conservacionista e (b) sistema convencional. O sistema convencional, que utiliza implementos como arado de discos, aiveca e grade pesada, seguido de gradagens leves, tem como característica principal um revolvimento de toda a área a ser cultivada, onde o implemento atua com a incorporação total ou quase total do resíduo. Por outro lado, os sistemas de preparo reduzidos, como o escarificador, promovem o arrasto de hastes que cortam o solo quebrando superficialmente a sua estrutura, sem revolvê-lo intensamente, procurando não destruir os agregados e deixando maior quantidade de resíduo na superfície do terreno (Lucarelli, 1997).

Em geral, os sistemas de preparo que promovem mobilização do solo costumam alterar de forma negativa suas características, tanto sob o ponto de vista da produtividade quanto pelos impactos ambientais gerados.

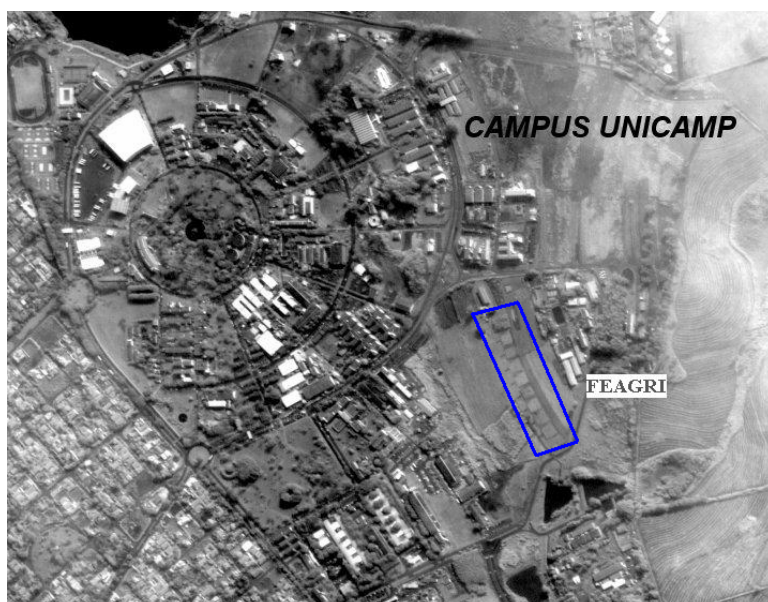
Pode-se afirmar que as agravantes finais mais nocivas causadas ao meio ambiente pelas diversas alterações no solo pelos diferentes sistemas de preparo e manejo sejam a erosão e as perdas de água e nutrientes, observadas principalmente na época das chuvas.

Na agricultura irrigada, conduzida na época da seca, a perda de sedimentos não é um fator relevante, contudo, a degradação do solo, resultado de um manejo inadequado, leva à redução do seu potencial produtivo influenciando em um importante parâmetro associado à conservação dos recursos hídricos: a eficiência do uso da água, a qual relaciona a produção obtida e o volume de água aproveitado pela planta.

O objetivo do presente trabalho nesse “I Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios” é apresentar os resultados de trabalhos desenvolvidos na Universidade Estadual de Campinas sobre manejo do solo e água e sua repercussão para a conservação dos recursos naturais e meio ambiente.

2. Área de experimentação e histórico

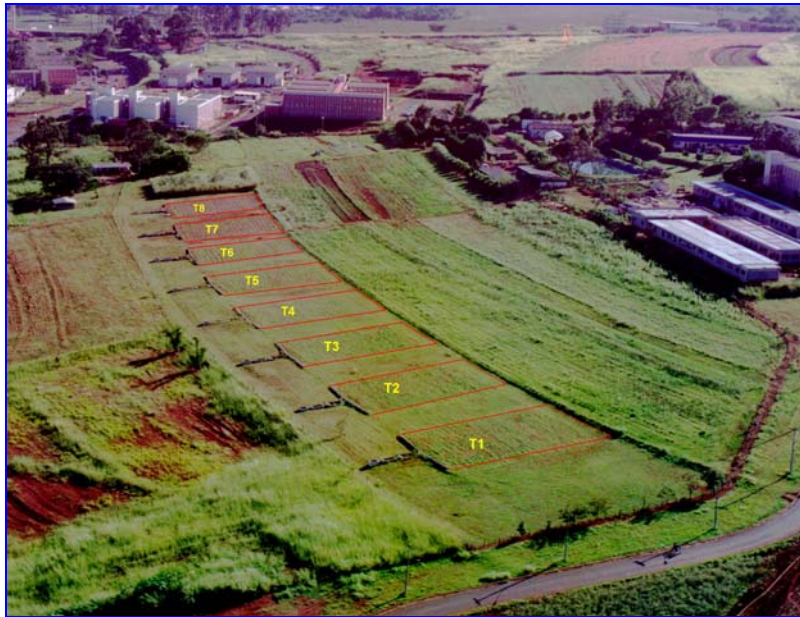
Os resultados apresentados no presente trabalho foram obtidos a partir de experimentos desenvolvidos na área de pesquisa em Conservação do Solo e Água da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI), da Universidade Estadual de Campinas - SP, longitude 47° 05' W, latitude 22° 54' S e altitude média de 606 m (**Figura 2**), em solo da área classificado como Latossolo roxo distrófico, textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (Oliveira & Rotta, 1979). Na atual classificação brasileira de solos corresponde ao Latossolo vermelho distroférico, segundo Embrapa (1999).



(Imagem do Satélite Ikonos de 30 de agosto de 2000, cortesia: CEPAGRI – UNICAMP).

Figura 2. Localização da área experimental em relação à UNICAMP.

Em tal área, construíram-se, em 1986, oito talhões coletores de solo e água (**Figura 3**), cada qual com uma área útil de 600 m², sendo 30 m de comprimento de rampa por uma soleira concentradora de 20 m de largura (**Figuras 4 e 5**), localizados no terço médio de uma encosta com 9% de declive, orientação Norte-Sul e exposição Oeste (Daniel et al., 1997).



(Foto cedida pelo Engenheiro José Ricardo Freitas Lucarelli, 1997).

Figura 3. Vista aérea das parcelas experimentais, destacando-se os seguintes sistemas: T1, convencional com grade aradora; T2, alternado de equipamentos; T3, reduzido com escarificador; T4, plantio direto; T5, convencional com arado de disco; T6, talhão roçado; T7, talhão mobilizado “morro abaixo”; T8, enxada rotativa.



(Foto cedida por Luiz Antonio Daniel, julho de 1988).

Figura 4. Vista do coletor de água e sedimento durante a sua construção.



(Foto Gerson Araújo de Medeiros, dezembro de 1997).


Figura 5. Vista em detalhe do coletor de água e sedimento após sua conclusão.

Nos anos agrícolas de 1986/87, 1987/88, 1988/89 e 1989/90 foram feitas subsolagens a 0,50 m de profundidade, semeando-se crotalária, milho, soja e milho, respectivamente, em todas as parcelas.

No período de 1990 a 1998, somente a cultura do milho foi semeada em sete dos oito talhões. Esse manejo diferenciado nas parcelas experimentais levou a uma série de alterações nas características físicas e hídricas do solo e a uma perda diferenciada de sedimentos e nutrientes (Lucarelli et al., 1999, Lucarelli et al., 1998, Lucarelli, 1997, Lucarelli et al., 1996, Daniel et al., 1996, Daniel et al., 1997). No ano de 1999 realizou-se o primeiro ensaio irrigado semeando-se a cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), quando se verificou o efeito das modificações proporcionadas pelos diferentes sistemas de preparo e manejo do solo sobre o consumo e eficiência do uso da água (Medeiros, 2002). As parcelas foram trabalhadas sob os seguintes sistemas de preparo do solo, de acordo com informações fornecidas pelo Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel*





* Professor aposentado da Universidade Estadual de Campinas, idealizador e responsável pela realização e desenvolvimento de ensaios na área experimental de Conservação de Água e Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola, desde 1986.

Tratamentos de sistema de preparo do solo

<p>sistema convencional com grade aradora: realiza-se uma gradagem pesada a 0,20 m de profundidade, com grade de 16 discos de 24” e uma outra gradagem pesada, seguida de uma gradagem de destorroamento /nivelamento na época da semeadura;</p>	
<p>sistema alternado de equipamentos: alterna-se, anualmente, o equipamento utilizado no preparo, repetindo-o a cada quatro anos. A seguinte seqüência é utilizada: preparo com grade aradora no primeiro ano, seguindo-se de arado de disco, arado de aiveca, e escarificador nos demais anos;</p>	
<p>sistema escarificador: realiza-se a operação com escarificador de cinco hastes flexíveis a 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem leve de destorroamento/nivelamento;</p>	
<p>sistema de plantio direto: aplica-se herbicida antes da semeadura, realizando-se uma roçada dez dias depois. Efetua-se semeadura com semeadora adubadora para sistema de plantio direto, sem mobilização prévia do solo;</p>	

Fotos de José Ricardo Freitas Lucarelli, 1994.

Tratamentos de sistema de preparo do solo

<p>sistema convencional com arado de disco: utiliza-se arado reversível de três discos de 26” com uma aração de incorporação a 0,20 m de profundidade. À época de semeadura, realiza-se uma segunda aração a 0,25 m de profundidade, seguida de duas gradagens leves para destorroamento e nivelamento;</p>	
<p>talhão roçado sem mobilização: parcela utilizada como testemunha de área sem nenhum tipo de mobilização do solo, ou seja, sua vegetação espontânea, predominantemente capim-colônião (<i>Panicum maximum</i>), é controlada por uma roçada inicial e posteriormente deixada em pousio durante todo o período;</p>	
<p>talhão mobilizado “morro abaixo” com arado de disco: essa parcela serve como tratamento para a possível erosão máxima causada pelo preparo de solo com arado reversível de três discos de 26”, com aração no sentido da pendente, o mesmo ocorrendo com a aração e as gradagens de destorroamento e nivelamento prévias à semeadura;</p>	
<p>sistema enxada rotativa: o preparo do solo foi realizado com uma única operação de rotavação a 0,18 m de profundidade, com uma enxada rotativa de rotor fixo, cuja operação provoca a incorporação de inços, destorroamento e nivelamento.</p>	

3. Sistema de preparo: alterações nas características físico hídricas do solo

A influência do sistema de preparo e manejo sobre uma série de características físicas e hídricas do solo tem sido investigada por vários autores (Guimarães, 2000, De Maria et al., 1999, Castro, 1995, Lucarelli et al., 1999, Lucarelli et al., 1998, Lucarelli, 1997, Lucarelli et al., 1996, Daniel et al., 1996, Daniel et al., 1997).

Os parâmetros mais estudados são os que afetam a capacidade de armazenamento e distribuição de água no solo como a textura, a estrutura, a porosidade, a densidade, a condutividade hidráulica saturada e a capacidade de infiltração básica.

Esses parâmetros foram compilados e apresentados no presente trabalho a partir de levantamentos realizados em dois momentos distintos na história da área experimental de Conservação do Solo e Água da Feagri/UNICAMP: em 1996 (Lucarelli, 1997) e em 1999 (Medeiros, 2002), ambos realizados nos meses de junho e julho dos respectivos anos, antes das operações de preparo do solo.

Além disso, duas abordagens distintas de amostragens foram utilizadas. Na primeira, utilizada em 1996, as amostras foram coletadas em trincheiras e na segunda, adotada em 1999, em pontos distribuídos de forma reticulada na parcela experimental, distanciados de 3,5 m, em um total de 40 locais de amostragem por tratamento, conforme descrito em Medeiros (2002), para se possibilitar a realização de inferências estatísticas.

Destacaram-se, no presente texto, aqueles parâmetros mais afetados pelo sistema de preparo do solo e que melhor explicassem as causas de variação nas perdas de solos e eficiência do uso da água, no ensaio conduzido com cultura do feijoeiro irrigado no ano de 1999.

3.1. Densidade do solo, porosidade total, capacidade de infiltração básica

Apesar da diferença no sistema de amostragem, os resultados observados de densidade do solo nos mesmos tratamentos avaliados (escarificador, plantio direto, convencional com arado de disco e enxada rotativa) e nos dois momentos distintos (1996 e 1999) apresentam semelhanças (Tabelas 1, 2 e 3).

Tabela 1. Valores da densidade do solo dos horizontes que sofrem ação dos sistemas de preparo, em Campinas – SP, no ano de 1996 (Fonte: Lucarelli, 1996).

Horizonte	G.Arad.	Alternado	Escarific.	P.Diret.	A. Disco	Roçado	M. Abaixo	E. Rotat.
Ap	1,13	1,18	1,17	1,20	1,25	1,30	1,27	1,06
Ap2	1,52	-	-	1,43	1,35	-	-	-
AB	1,34	1,52	1,28	1,30	1,18	1,34	1,23	1,29
BA	1,28	1,33	1,21	1,25	1,19	1,27	1,16	1,13
Bw1	1,17	1,20	1,17	1,17	1,10	1,14	1,12	1,10

Tabela 2. Comparação entre médias da variável densidade do solo dos sistemas de preparo por profundidade pelo teste de diferenças mínimas significativas e intervalo de confiança da média, ao nível de 95%, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Tratamento	Profundidade (m)				n
	0 – 0,10 m	0,10 – 0,20 m	0,20 – 0,30 m	0,30 – 0,40 m	
	----- (Mg m ⁻³) -----				
Escarificador	1,20a	1,31a	1,37a	1,37a	40
Plantio Direto	1,15ab	1,32a	1,35ab	1,30b	40
Arado Disco	1,20a	1,29a	1,33b	1,28bc	40
Enx. Rotativa	1,09b	1,22b	1,29c	1,26c	40
	dms=0,06 Mg m ⁻³	dms=0,04 Mg m ⁻³	dms=0,04 Mg m ⁻³	dms=0,04 Mg m ⁻³	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

Durante o ensaio de 1996, o tratamento roçado foi aquele que apresentou a maior densidade, provavelmente por não ser trabalhado com implementos e pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas.

Os tratamentos plantio direto e convencional com arado de disco apresentaram valores ligeiramente superiores de densidade do solo até a profundidade de 0,20 m em comparação com aqueles observados no ensaio de 1999.

Nesse mesmo ano, os maiores valores de densidade do solo até a profundidade de 0,20 m, foram observados nos sistemas de preparo escarificador, plantio direto e arado de disco, não diferindo significativamente entre si (**Tabela 2**). Considerando-se todas as profundidades, os

tratamentos escarificador e plantio direto apresentaram os maiores valores, enquanto o sistema de preparo enxada rotativa foi o que obteve a menor densidade do solo, conforme resultados apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 3. Comparação entre médias da variável densidade do solo nas profundidades avaliadas por sistema de preparo pelo teste de diferenças mínimas significativas e intervalo de confiança da média, ao nível de 95%, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Profundidade (m)	Tratamento				n
	Escarificador	P. Direto	Arado Disco	Enx. Rotativa	
	----- (Mg dm ⁻³) -----				
0 – 0,10	1,20c	1,15c	1,20c	1,09c	40
0,10 – 0,20	1,31b	1,32ab	1,29ab	1,22b	40
0,20 – 0,30	1,37a	1,35a	1,33a	1,29a	40
0,30 – 0,40	1,37a	1,30b	1,28b	1,27ab	40
	dms=0,04 Mg m ⁻³	dms=0,05 Mg m ⁻³	dms=0,05 Mg m ⁻³	dms=0,05 Mg m ⁻³	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

Todos os sistemas de preparo avaliados alcançaram, em 1999, o seu valor médio máximo de densidade do solo na camada de 0,20 a 0,30 m, como pode ser visto na **Tabela 3**.

A maioria dos trabalhos avaliados, e relacionados à influência de sistemas de preparo sobre características físicas do solo, tem apontado para uma compactação na camada superficial em áreas manejadas com o sistema de plantio direto como citado em Stone & Silveira (2001), Beutler et al. (2001), Bertol et al. (2001), Oliveira et al. (2001), Guimarães (2000), De Maria et al. (1999) dentre outros. Esse aumento da densidade na camada superficial tem sido associado a trânsito de máquinas agrícolas e ao não revolvimento do solo no sistema plantio direto (Tormena et al., 1998).

A época da amostragem de ambos os ensaios, 1996 e 1999, foi provavelmente realizada no momento de maior densidade do solo na superfície e reflete, conseqüentemente, o efeito acumulado do sistema de preparo do solo ao longo dos anos.

A qualidade da porosidade total do solo pode ser medida por meio da macroporosidade e da microporosidade.

A microporosidade é responsável pela capacidade de retenção de água e solutos no solo e a macroporosidade influencia diretamente a capacidade de infiltração, a drenabilidade do solo e sua capacidade de aeração (Hillel, 1998).

A porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade foram determinadas a partir de amostras de solo indeformadas, retiradas em trincheiras, tanto em 1996 quanto em 1999, e estimadas pelos dados da curva de retenção.

Apresentam-se na **Tabela 4** os resultados da comparação de médias para a porosidade total, macroporosidade e microporosidade, por profundidade, no ano de 1999 quando foi possível realizar uma comparação estatística.

Valores significativamente superiores de macroporosidade foram observados na camada superficial (0 a 0,15 m), para o tratamento enxada rotativa, em subsuperfície (0,15 a 0,30 m), no tratamento escarificador e nas mais profundas (0,30 a 0,45 m e 0,45 a 0,60 m), para o sistema convencional com arado de disco.

As médias estatisticamente inferiores de porosidade total e macroporosidade do solo, até a profundidade de 0,60 m, ocorreram no tratamento plantio direto. Esses resultados concordam com os que foram descritos por outros autores, como Stone & Silveira (2001), Oliveira et al. (2001), Guimarães (2000), Carvalho et al. (1999).

Apesar dos maiores valores de densidade do solo encontrados para o tratamento escarificador (**Tabela 2**) e que poderiam levar a uma redução da porosidade total, em especial dos macroporos (Hillel, 1998), o que se observou foi uma superioridade significativa desse tratamento ao longo do perfil do solo, com exceção da camada 0 a 0,15 m.

Tabela 4. Comparação de médias para porosidade total na profundidade de 0 a 0,60 m e intervalo de confiança da média ao nível de 95%, para um Latossolo vermelho sob os sistemas de preparo do solo em Campinas – SP, no ano de 1999.

Tratamento	Profundidade (m)				n
	0 - 0,15	0,15 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	
Porosidade total					
----- m ³ m ⁻³ -----					
Escarificador	0,544b	0,538a	0,566a	0,587a	9
Plantio Direto	0,498d	0,499b	0,521c	0,535b	9
Arado de Disco	0,521c	0,510b	0,547ab	0,581a	9
Enx. Rotativa	0,567a	0,530a	0,552b	0,580a	9
	dms=0,019 m ³ m ⁻³	dms=0,016 m ³ m ⁻³	dms=0,017 m ³ m ⁻³	dms=0,017 m ³ m ⁻³	
Macroporosidade					
----- m ³ m ⁻³ -----					
Escarificador	0,145ab	0,123a	0,156ab	0,191ab	9
Plantio Direto	0,85c	0,95b	0,117c	0,124c	9
Arado de Disco	0,127b	0,102ab	0,166a	0,201a	9
Enx. Rotativa	0,157a	0,105ab	0,142b	0,169b	9
	dms=0,028 m ³ m ⁻³	dms=0,022 m ³ m ⁻³	dms=0,024 m ³ m ⁻³	dms=0,027 m ³ m ⁻³	
Microporosidade					
----- m ³ m ⁻³ -----					
Escarificador	0,398ab	0,414ab	0,410a	0,396a	9
Plantio Direto	0,413a	0,404b	0,403a	0,411a	9
Arado de Disco	0,393b	0,408b	0,381b	0,379b	9
Enx. Rotativa	0,411ab	0,425a	0,410a	0,411a	9
	dms=0,019 m ³ m ⁻³	dms=0,015 m ³ m ⁻³	dms=0,014 m ³ m ⁻³	dms=0,017 m ³ m ⁻³	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

O comportamento da microporosidade ao longo do perfil revelou que o plantio direto apresentou valores significativamente mais elevados na camada superficial, de 0 a 0,15 m, e na mais profunda, 0,45 a 0,60 m, não diferindo estatisticamente dos maiores valores na camada de 0,30 a 0,45 m. Alguns autores têm observado valores superiores de microporosidade no sistema de manejo plantio direto, principalmente próximo à superfície, como Carvalho et al. (1999), Stone & Silveira (2001), Guimarães (2000).

Contrariando a maioria dos resultados de pesquisa apresentados, Lucarelli (1997) encontrou valores superiores de macroporosidade próximo à superfície do solo no sistema plantio direto em relação aos tratamentos escarificador, arado de disco e enxada rotativa, os quais atingiram 0,262; 0,221; 0,126 e 0,113 m³ m⁻³ respectivamente. Em contrapartida, a microporosidade na semeadura direta foi a menor, atingindo 0,395 m³ m⁻³, enquanto os sistemas escarificador, arado de disco e enxada rotativa alcançaram 0,420; 0,444 e 0,442 m³ m⁻³ respectivamente. Contudo, esses resultados devem ser considerados como valores de referência, visto que não houve condições de se realizar uma comparação estatística.

Pode-se concluir que o tratamento escarificador foi o que apresentou melhor distribuição de poros no ano de 1999, tanto em quantidade quanto em qualidade, sendo este um fator apontado como benéfico para o desenvolvimento radicular de diversas culturas por Castro (1995). Esse resultado é corroborado pela avaliação da continuidade dos poros ao longo do perfil em 1996, por meio de análise microscópica, quando se verificou que os sistemas escarificador, plantio direto e enxada rotativa foram os que apresentaram porosidade mais uniforme em todas as profundidades estudadas.

Reichardt (1985) denomina infiltração o processo pelo qual a água entra no solo, representando a sua permeabilidade.

A **Figura 6** mostra a diferença relativa entre os resultados de infiltração básica determinados utilizando permeâmetro de anéis concêntricos. Observa-se a partir dessa **Figura**, cujos resultados foram obtidos em 1996, que os tratamentos conservacionistas escarificador e plantio direto se destacaram em relação aos demais apresentando os maiores valores de infiltração básica.

Três anos depois, os resultados de infiltração básica levantados por Medeiros (2002) mostraram que o tratamento escarificador atingiu um valor médio significativamente mais alto em relação aos demais tratamentos, os quais não diferiram entre si. Na avaliação desse parâmetro, os tratamentos conservacionistas apresentaram os maiores valores, 283,9 e 182,7 mm h⁻¹ para os sistemas escarificador e plantio direto respectivamente, em comparação aos sistemas enxada rotativa e arado de disco cujos valores foram 179,1 e 177,6 mm h⁻¹ respectivamente, em um total de 40 amostras por tratamento.

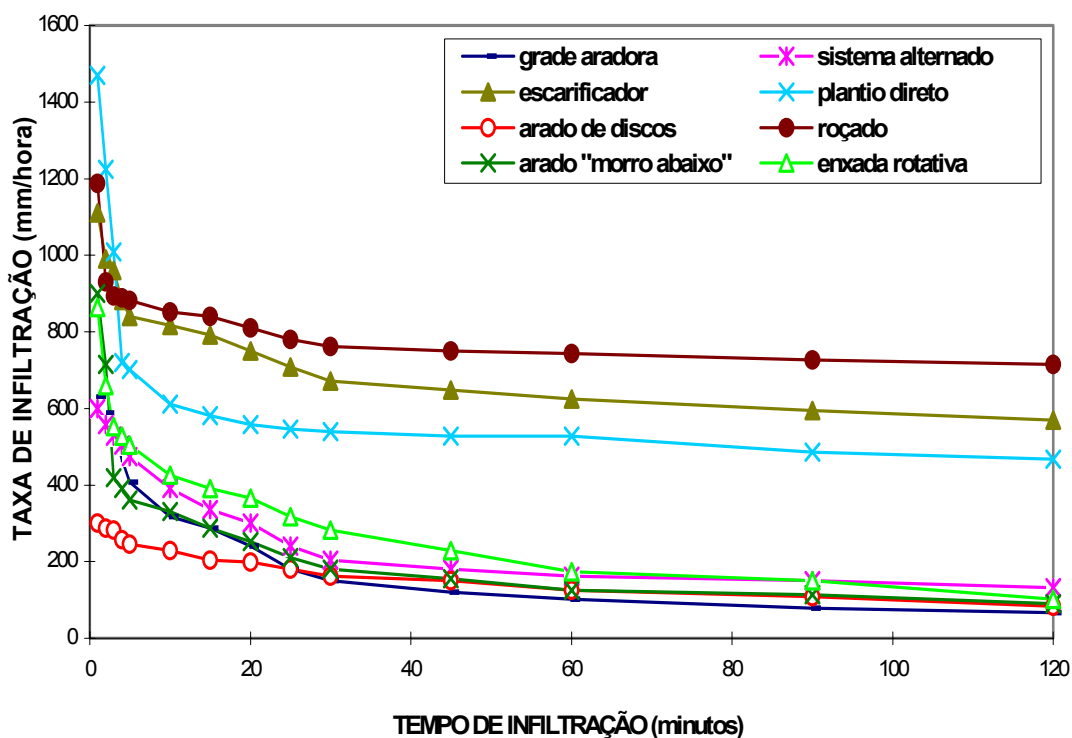


Figura 6. Taxa de infiltração para os tratamentos de sistema de preparo do solo, em Campinas – SP, no ano de 1996. (Lucarelli, 1997).

Alguns autores têm encontrado valores superiores de infiltração básica nos sistemas conservacionistas, como o plantio direto e escarificador, em relação aos chamados convencionais, como relatado em Guimarães (2000), Castro (1995), Arzeno (1990). Outros não observaram alterações significativas (Salih et al., 1998, Beutler et al., 2001)

A estreita relação da capacidade de infiltração de água no solo com a continuidade dos poros têm-se revelado como o mais eficaz parâmetro para a indicação de variações entre os sistemas de manejo em relação a outras determinações, além de constituir-se como indicador da qualidade do solo (Arzeno, 1990 e Beutler et al., 2001).

A permeabilidade medida em 1999 foi o parâmetro que demonstrou uma diferenciação entre os sistemas de preparo.

3.2. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular

A resistência mecânica é um termo utilizado para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele, como uma raiz em crescimento ou uma ferramenta de cultivo (Pedrotti et al., 2001)

O parâmetro resistência do solo à penetração (RSP) é muito utilizado para avaliar a compactação de solos agrícolas, a qual afeta o desenvolvimento radicular de diversas culturas, podendo limitar a camada do solo explorada pelas plantas, deixando-as mais susceptíveis ao estresse hídrico durante os períodos de seca.

A resistência do solo à penetração foi o atributo físico mais afetado por implementos agrícolas, especialmente em subsuperfície, segundo o estudo realizado por Lucarelli (1997), apresentando-se mais elevada nos tratamentos de maior mobilização, ou seja, grade aradora, arado de disco e enxada rotativa.

Conforme Lucarelli (1997), esses tratamentos, por terem ação cortante no solo, provocam uma camada subsuperficial compactada logo abaixo do implemento, deixando a parte superior bem desestruturada.

Observa-se, pela **Figura 7**, que os valores de resistência do solo à penetração (e respectiva umidade) nos sistemas de preparo do solo convencionais evidenciam a formação de uma camada subsuperficial compactada, na faixa de 15 a 30 cm de profundidade para os diferentes implementos utilizados. Essa camada é causada pela ação cizalhante dos implementos durante o preparo do solo, ficando a área logo acima do implemento constituída por um material extremamente solto e poroso e, logo abaixo, a estrutura fica adensada.

Os tratamentos considerados conservacionistas apresentam uma curva de resistência à penetração mais suave (**Figura 8**). No plantio direto, a curva mostra valores maiores de resistência, como consequência da não mobilização do solo, e, com isso, maior estabilidade de sua estrutura, além do rodado, que causa uma compactação mais superficial. Esse relativo alto valor de resistência à penetração não deve ser interpretado pelo todo como decorrente de uma compactação do solo, o que levaria a uma infiltração correlativamente mais baixa;

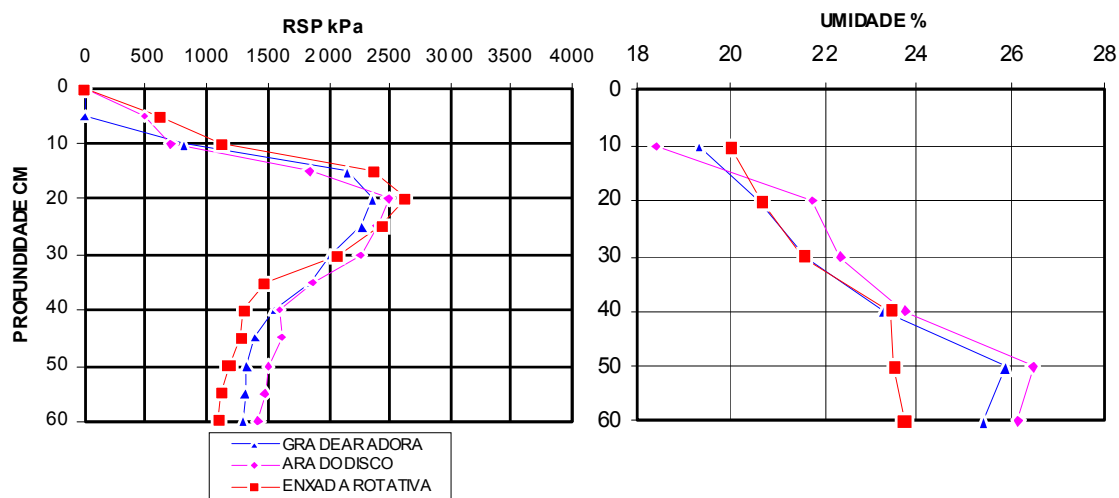


Figura 7. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos convencionais, em Campinas – SP, no ano de 1996.

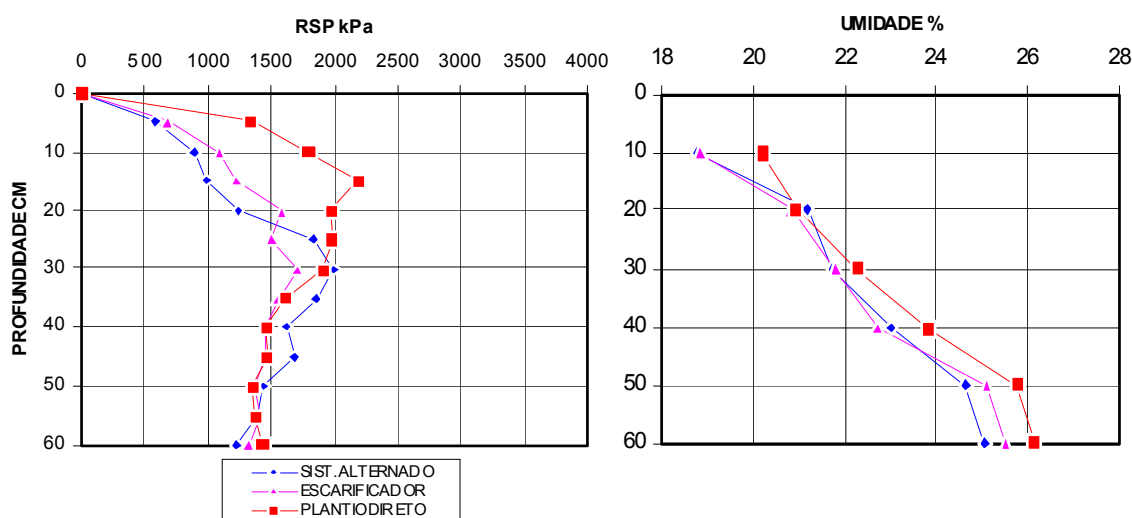


Figura 8. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos conservacionistas, em Campinas – SP, no ano de 1996 (Lucarelli, 1997).

Em sistemas de plantio direto, têm-se verificado, por vezes, valores de densidade do solo um tanto elevados, acompanhados de macroporosidade menor, o que se contrapõe aos resultados da taxa de infiltração maiores nesse sistema, por comparação ao sistema convencional, no qual a superfície normalmente é menos adensada. Entretanto, sob efeito da chuva, a resistência do solo à desagregação é maior por seu elevado teor de matéria orgânica e o não revolvimento do solo, que aliada aos resíduos superficiais que dissipam a energia cinética das gotas ajudando a diminuir o

escorrimento superficial, desempenha papel fundamental na infiltração de água, sendo possível constatar que a taxa de infiltração é inversamente proporcional ao grau de mobilização do solo. Dados obtidos por Roth & Meyer (1983) e Derpsch et al. (1986) confirmam essa afirmativa.

Para os tratamentos testemunhas (**Figura 9**), o resultado de RSP determinada em 1996, para tratamento roçado, é maior do que o do arado de disco “morro abaixo”. Tal fato se deve a uma compactação maior perto da superfície, em função do rodado do trator e por este talhão estar com gramíneas (colonião), portanto com enorme quantidade de raízes, conferindo boa estruturação ao solo, mostrando efeitos superiores aos das leguminosas.

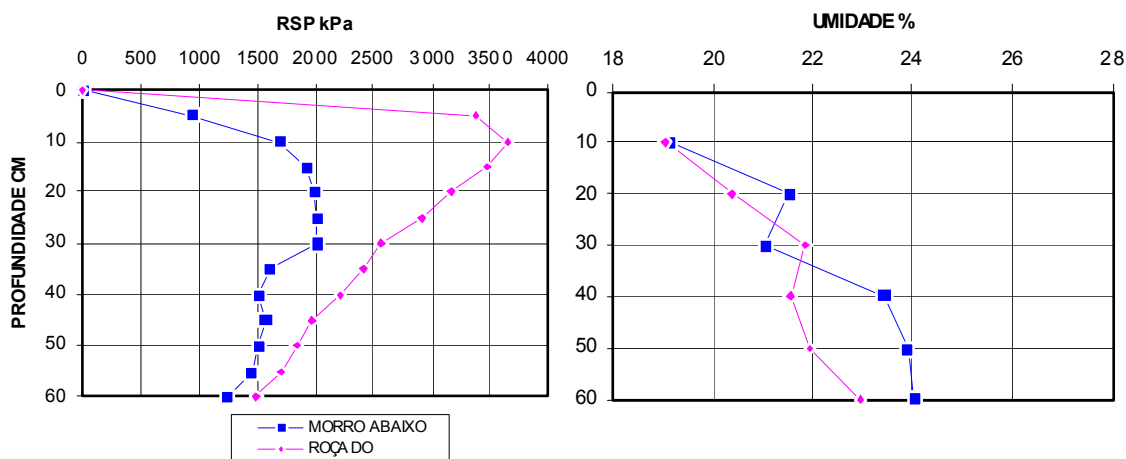


Figura 9. Resistência do solo à penetração (RSP) e teor de umidade nos tratamentos testemunhas.

No ano de 1999, a RSP foi medida na época da colheita da cultura do feijoeiro, ao longo do perfil (**Figura 10**), diferindo da amostragem de Lucarelli (1997) realizada antes das operações de preparo do solo.

Os resultados da variação de umidade do solo durante o ciclo de medições de resistência do solo à penetração, são apresentados na **Tabela 5**.

Tabela 5. Comparação entre médias da variável umidade em base peso dos sistemas de preparo por profundidade em Latossolo vermelho na época da colheita, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Tratamento	Profundidade (m)					n
	0 – 0,10	0,10 – 0,20	0,20 – 0,30	0,30 – 0,40	0 – 0,40	
	----- kg kg ⁻¹ -----					
Escarificador	0,220a	0,222a	0,234a	0,253a	0,267a	6
Arado Disco	0,228a	0,227a	0,236a	0,254a	0,269a	6
Enx. Rotativa	0,227a	0,236a	0,253a	0,262a	0,274a	6
	dms=kg kg ⁻¹	dms= ³	dms=	dms=	dms=	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de diferenças mínimas significativas a 5%, n: número de observações.

A umidade do solo foi crescente em profundidade para todos os tratamentos avaliados, havendo um paralelismo nas curvas (**Figura 10**) principalmente entre os tratamentos escarificador e arado de disco. O sistema de preparo enxada rotativa apresentou valores superiores de umidade do solo, com exceção da camada de 0 a 0,10 m, onde o tratamento arado de disco se destacou.

O critério do teste de Wilks mostra que não há efeito significativo entre sistemas de preparo do solo e para a interação profundidade *versus* sistema de preparo do solo, havendo somente diferenças significativas entre profundidades.

O tratamento com as maiores médias foi o sistema convencional arado de disco seguido do escarificador e enxada rotativa que atingiram praticamente o mesmo valor, apesar da maior umidade apresentada pelo sistema enxada rotativa.

Os valores máximos observados variaram de 2,6 a 3,5 MPa, ou seja, dentro dos limites considerados restritivos ao desenvolvimento das raízes por Grant & Lafond (1993).

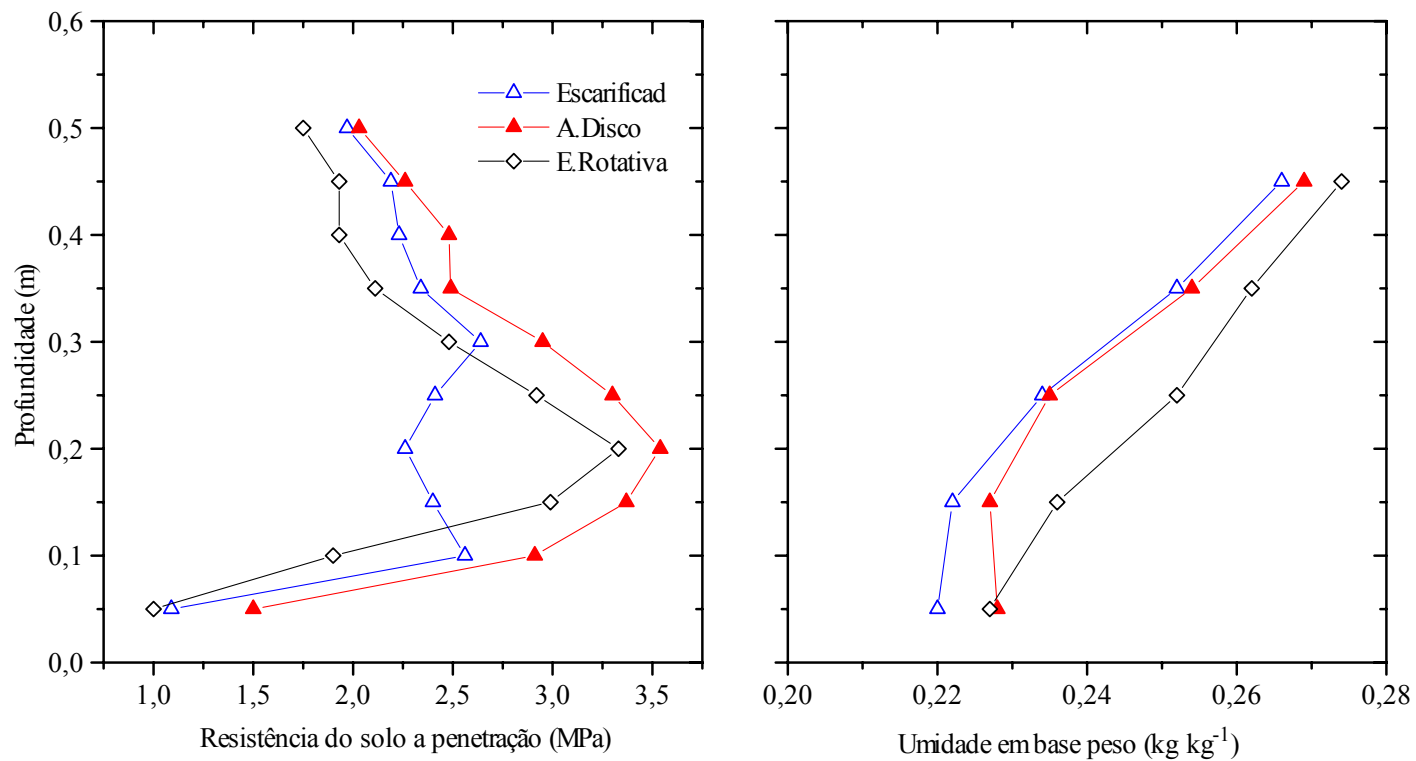


Figura 10. Variação da resistência do solo à penetração e umidade, na época da colheita, para os tratamentos escarificador, plantio direto, arado de disco e enxada rotativa, em Campinas – SP, no ano de 1999.

A profundidade em que esses valores máximos ocorreram varia de acordo com o tratamento, conforme pode ser observado na **Tabela 6**.

Tabela 6. Médias de resistência do solo à penetração por profundidade para cada sistema de preparo do solo, comparadas pelo teste de diferenças mínimas significativas ao nível de 95%, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Profundidade	Tratamento			n
	Escarificador	Arado Disco	Enx. Rotativa	
0,05	1,09c	1,50f	1,00e	6
0,10	2,56a	2,91bcd	1,90cd	6
0,15	2,40ab	3,37ab	2,99ab	6
0,20	2,26ab	3,54a	3,33a	6
0,25	2,41ab	3,30ab	2,92ab	6
0,30	2,64a	2,96abc	2,48bc	6
0,35	2,34ab	2,49cde	2,11cd	6
0,40	2,24ab	2,48cde	1,93cd	6
0,45	2,19ab	2,26e	1,94cd	6
0,50	1,97b	2,03ef	1,75d	6
	dms = 0,55 Mpa	dms = 0,67 MPa	dms = 0,67 MPa	

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5%, dms: diferenças mínimas significativas, n: número de observações.

Nos tratamentos arado de disco e enxada rotativa, os valores máximos foram atingidos na profundidade de 0,20 m, concordando com os resultados obtidos por Lucarelli (1997) três anos antes e apresentados na **Figura 7**. Já para o tratamento escarificador, a profundidade na qual se alcançou o máximo valor, manteve-se a 0,30 m, também concordando com o que fora descrito por Lucarelli (1997).

Os resultados de densidade de raízes da cultura do feijoeiro, em profundidade, dos tratamentos alternado, escarificador, convencional com arado de disco e enxada rotativa, durante o ciclo da cultura em 1999, encontram-se na **Tabela 7** e demonstram a superioridade do tratamento alternado em todas as profundidades devido, provavelmente, ao suprimento de água diferenciado em relação ao dos demais.

Tabela 7. Comparação entre médias da densidade de raízes por profundidade para um Latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de preparo do solo, em Campinas – SP, no ano de 1999.

Profundidade	Sistema de Preparo do Solo				n
	Alternado	Escarificador	Arado de Disco	Enxada Rotativa	
m	----- mg cm ⁻³ -----				
0 – 0,1	0,275aAB ± 0,005	0,192aA ± 0,003	0,145aAB ± 0,001	0,122aAB ± 0,001	6
0,1 – 0,2	0,290aA ± 0,008	0,249aA ± 0,001	0,169aA ± 0,001	0,154aA ± 0,001	6
0,2 – 0,3	0,191aABC ± 0,001	0,174aAB ± 0,001	0,204aA ± 0,002	0,086aBC ± 0,000	6
0,3 – 0,4	0,132aBCD ± 0,001	0,096aBC ± 0,000	0,071aBC ± 0,000	0,042aCD ± 0,000	6
0,4 – 0,5	0,083aCD ± 0,000	0,073aC ± 0,000	0,050aC ± 0,000	0,047aCD ± 0,000	6
0,5 – 0,6	0,046aD ± 0,001	0,027aC ± 0,000	0,029aC ± 0,001	0,005aD ± 0,000	6
	dms = 0,145 mg cm ⁻³	dms = 0,047 mg cm ⁻³	dms = 0,078 mg cm ⁻³	dms = 0,060 mg cm ⁻³	6
	CV = 72,5%	CV = 53,9%	CV = 59,3%	CV = 67,1%	
Total	1,016a ± 0,021	0,811ab ± 0,05	0,669ab ± 0,004	0,456b ± 0,002	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na linha e mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t de Student ao nível de 5%, dms: diferenças mínimas significativas, CV: coeficiente de variação; n: número de observações.

Incluiu-se o tratamento alternado nesta análise, objetivando-se ter uma referência de cultura sem restrição hídrica durante o ciclo e mantida sob potenciais elevados de água no solo.

Comparando-se os tratamentos com mesmo manejo de irrigação, observa-se uma superioridade do tratamento escarificador em todas as profundidades com exceção da camada de 0,20 a 0,30 m, onde se destaca o tratamento convencional com arado de disco.

Nessa **Tabela**, observa-se que o sistema radicular do feijoeiro concentrou-se na camada de 0,10 a 0,20 m para todos os sistemas de preparo, vindo a seguir a camada de 0,0 a 0,10 m e decaindo até a profundidade de 0,50 a 0,60 m. Essa concentração equivale a 55,6; 54,3 e 60,5% das raízes dos sistemas alternado, escarificador e enxada rotativa, respectivamente, indicando uma distribuição de raízes mais próxima à superfície no sistema enxada rotativa.

A exceção foi o sistema convencional com arado de disco, cuja densidade de raízes predominou na faixa de profundidade de 0,20 a 0,30 m e, em seguida, na de 0,1 a 0,2 m. Stone & Pereira (1994) também observaram maior densidade radicular para diferentes cultivares do feijoeiro, incluindo a cv. Carioca, na camada de 0 a 0,20 m, onde se concentrou mais de 70% das raízes.

Considerando-se a camada do solo de 0 a 0,30 m, observa-se que o sistema de preparo enxada rotativa continua apresentando uma concentração relativa de raízes superior à dos demais tratamentos, alcançando 79,4%, seguido do sistema arado de disco, escarificador e alternado, os quais apresentaram 77,6%; 75,9% e 74,4% respectivamente.

Esse fato sugere que os sistemas de preparo do solo influenciaram a distribuição radicular do feijoeiro, pois nos tratamentos cuja profundidade de trabalho foi menor, as raízes se concentraram mais próximas à superfície.

De Maria et al. (1999) observaram que o sistema radicular da soja foi reduzido em profundidade quando a densidade e a resistência do solo à penetração foram elevadas entre as camadas 0,10 a 0,20 m e 0,0 a 0,10 m e que os valores de RSP e densidade do solo isoladamente não puderam ser considerados como indicadores do crescimento das raízes.

Na amostragem realizada em 1999, as maiores médias de resistência do solo à penetração foram mais próximas à superfície nos tratamentos convencional com arado de disco e enxada rotativa do que no sistema de preparo escarificador. Além disso, o gradiente de RSP na superfície até a profundidade de 0,20 m, nesse sistema de preparo, foi inferior ao daqueles apresentados pelos tratamentos enxada rotativa e convencional com arado de disco.

Dentre os fatores implicados, um dos que podem ter levado ao melhor desempenho do sistema de preparo escarificador foi a distribuição mais homogênea de poros nesse tipo de sistema de preparo em relação à dos demais, o que, segundo Castro (1995) favorece o desenvolvimento radicular da cultura.

De maneira geral, os valores obtidos aproximam-se daqueles registrados por outros autores que realizaram ensaios com feijoeiro irrigado, como Pires et al. (1991), Stone & Silveira (1999), Wutke et al. (2000), para a variedade IAC Carioca, Stone & Pereira (1994) e Oliveira & Silva (1990).

Portanto, entre as propriedades físicas do solo avaliadas, observou-se que a porosidade total e a macroporosidade ao longo do perfil relacionaram-se com o melhor desenvolvimento do sistema radicular do tratamento escarificador, porém não significativo, nas diferentes profundidades avaliadas do solo. A profundidade da camada adensada e o gradiente de resistência à penetração ao longo do perfil, determinada ao final do ciclo, foram bons indicadores para o desenvolvimento radicular do feijoeiro, visto que as condições de fertilidade, umidade do solo, manejo de pragas e doenças não limitaram severamente o desenvolvimento da cultura.

4. Sistema de preparo do solo e as perdas de nutrientes (P, K⁺, CA²⁺, MG²⁺), matéria orgânica e sedimentos

A água e o solo perdidos pela erosão de terras agrícolas é uma das mais importantes fontes poluidora de rios, lagos e reservatórios, conhecida como fonte não pontual de poluição (nonpoint source pollution) ou poluição por carga difusa, a qual pode atingir também o lençol freático. O carreamento de nutrientes e defensivos ou a lixiviação contribuem para a eutrofização e contaminação de lagos, reservatórios e lençol freático além de seu assoreamento.

Nos Estados Unidos, o prejuízo para a qualidade de água superficial devido a sedimentos e nutrientes de terras agrícolas foi estimado variar de 2,2 a 7 bilhões de dólares por ano (Lovejoy et al., 1997). Já na Europa, as estimativas indicam que a erosão aumenta os custos de produção agrícola em 25% todos os anos (€ 53,00 por hectare) de acordo com ECAF (2003).

No Estado de São Paulo estima-se uma perda anual de 200 milhões de toneladas de solo (Canil & Ridente Junior, 1997). Esse quadro tem levado à proposição de programas de difusão de técnicas de manejo e conservação de solo, os quais já fazem parte de Legislação relacionada ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos em alguns Estados.

Resultados de experimentos conduzidos no período de 1990 a 1996 nos talhões coletores de solo e água da Feagri/UNICAMP e apresentados na **Figura 11** (Lucarelli, 1997) permitem comparar a diferença na perda média de terra devido somente à variação dada ao sistema de preparo e manejo do solo. Pode-se observar que os sistemas de preparo que mobilizam e desestruturam o solo são aqueles que também provocam as maiores perdas. Já os tratamentos conservacionistas (escarificador, plantio direto e sistema alternado) revelam menores perdas, principalmente o plantio direto, que mostra valores próximos ao do talhão testemunha roçado.

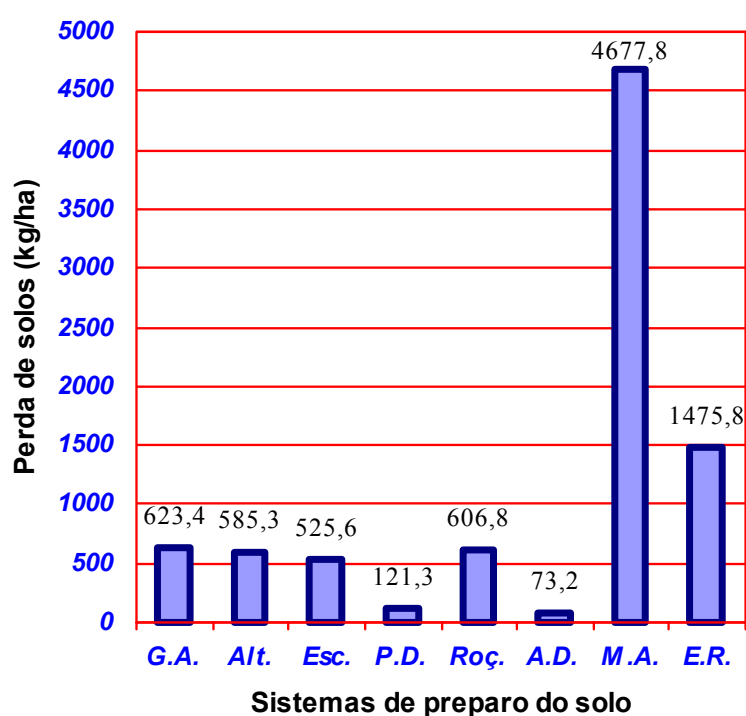


Figura 11. Perda média de terra observada nos tratamentos de preparo do solo grade aradora (G.A.), alternado (Alt), escarificador (Esc.), plantio direto (P.D.), roçado (Roç.), convencional com arado de disco (A.D.), convencional morro abaixo (M.A.) e enxada rotativa (E.R.) no período de 1990 a 1996.

A manutenção de uma camada de resíduos do solo, seja para a sua proteção ou para a minimização da perda de água por evaporação, é uma das práticas de manejo do solo sugerida e defendida por vários autores (Castro, 1995, Lucarelli, 1997, Amado et al., 1990, Stone & Moreira, 2000).

As perdas de solo, matéria orgânica e de outros nutrientes como o fósforo, potássio, cálcio e magnésio (**Tabela 8**) pela erosão hídrica revelam diferentes intensidades em função dos sistemas de preparo utilizado, como aliás, tem sido constatado em alguns trabalhos desenvolvidos na mesma direção (Lombardi Neto et al., 1980; entre outros).

Tabela 8. Perdas de matéria orgânica e de nutrientes, em função das perdas totais de solo por hectare de cada talhão, em Campinas – SP, no ano de 1996.

TRATAMENTO ⁽¹⁾	MATÉRIA ORGÂNICA	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
g/ha					
T1	31.276,41	56,18	101,13	1.817,02	431,26
T2	25.364,73	48,28	86,74	1.483,19	359,61
T3	25.845,44	36,92	85,57	1.412,27	268,39
T4	7.787,27	12,14	20,71	588,26	175,92
T5	27.714,64	36,58	66,59	2.218,79	579,08
T6	5.162,72	53,05	10,91	375,91	169,85
T7	164.505,80	58,93	277,73	4.481,44	1.126,28
T8	75.268,35	25,93	91,47	1.990,68	352,14

(1) T1-grade aradora; T2-sistema alternado; T3-escarificador; T4-plantio direto; T5-arado de disco; T6-roçado; T7-arado de disco “morro abaixo”; T8-enxada rotativa.

Observando-se os resultados da **Tabela 8**, constata-se que todos os tratamentos provocam perdas de solo, o que vai acarretar também perdas de matéria orgânica e de nutrientes.

As maiores perdas de sedimentos, matéria orgânica e nutrientes ocorreram no tratamento arado de disco “morro abaixo”, confirmando a importância, já bem conhecida, do cultivo em nível, que propicia menor velocidade de escoamento superficial e, com isso, menor arraste de partículas, Lucarelli et al. (1996). Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), o simples cultivo em nível pode reduzir até em 50% as perdas de solo em relação ao cultivo morro abaixo, fato este comprovado pelos tratamentos T7 e T5, desenvolvidos, respectivamente, com arado de disco “morro abaixo” e com o mesmo implemento, porém em nível; as diferenças de perdas de matéria orgânica e nutrientes entre os dois tratamentos são muito elevadas (**Tabela 8**).

Outros tratamentos que mobilizam em excesso o solo, deixando pouca cobertura vegetal, também provocaram perdas sempre elevadas, principalmente de matéria orgânica. Entre esses

tratamentos, a grade aradora (sistema convencional) mostrou o pior desempenho; com elevadas perdas tanto de sedimentos, como matéria orgânica e nutrientes avaliados (**Tabela 8**). Os resultados negativos, em relação aos sistemas convencionais, podem ser explicados em função do alto grau de mobilização, desestruturação e formação de camadas subsuperficiais compactadas que tais sistemas promovem, o que vai proporcionar elevadas perdas de solo e água, ou, por consequência, de matéria orgânica e nutrientes, fato esse observado por Chichester & Richardson (1992) e Seganfredo et al. (1997).

Um solo submetido a um sistema de preparo convencional tem a tendência de a cada ano agrícola sofrer um aumento crescente das perdas de matéria orgânica e nutrientes, uma vez que os fatores que levam ao processo erosivo tendem, igualmente, a acentuarem-se com o uso agrícola. Além disso, as formas convencionais de manejo do solo tendem a aumentar a taxa de decomposição de matéria orgânica em comparação com o plantio direto, contribuindo ainda mais para a sua redução.

A taxa de concentração de nutrientes e a de enriquecimento do material erodido são apresentadas nas **Tabelas 9 e 10**; verifica-se que os tratamentos ditos conservacionistas revelam valores mais elevados. Tal constatação é também referida por Seganfredo et al. (1997). Já Dedeczek et al. (1986), em experimento semelhante, não verificaram enriquecimento em nutrientes no sedimento em relação ao solo de origem.

Na **Tabela 9**, pode-se observar que para todos os tratamentos houve uma concentração maior de nutrientes e matéria orgânica no material erodido. Isso mostra que a erosão tem uma grande influência na taxa de fertilidade de um solo e o seu teor de matéria orgânica.

A elevada taxa de enriquecimento decorre da própria natureza dos sistemas ditos conservacionistas, pois o pouco de material que perdem é muito superficial, justamente onde a concentração em matéria orgânica e nutrientes é maior.

Tabela 9. Concentração de nutrientes e de matéria orgânica no solo do talhão, 0-20cm (S) e no material erodido (E), em Campinas – SP, no ano de 1996.

TRATAMENTO ⁽¹⁾	M. O.		P		K ⁺		Ca ²⁺		Mg ²⁺	
	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E
	g/kg				mg/kg					
Grade Aradora	27	50,17	45,13	90,12	124,45	162,21	778,76	2.914,45	139,78	691,73
Sist. Alternado	33	43,33	45,76	82,49	112,37	148,18	779,66	2.533,90	133,86	614,36
Escarificador	35	49,17	43,59	70,23	130,00	162,78	854,70	2.686,61	155,77	510,58
Plantio Direto	35	64,17	67,50	100,00	104,00	170,63	783,33	4.847,22	162,00	1.449,56
Arado de Disco	32	45,67	25,60	60,27	68,64	109,72	656,00	3.656,00	97,20	954,18
Roçado	36	70,50	84,60	72,44	78,00	149,00	400,00	5.133,33	112,15	2.319,40
A. D. m. abaixo	29	35,17	7,09	12,60	42,99	59,37	472,44	958,01	95,67	240,77
Enx. Rotativa	27	51,00	6,20	17,57	33,26	61,98	325,58	1.348,84	75,35	238,60

Tabela 10. Taxa de enriquecimento nos diferentes sistemas de preparo do solo, em Campinas – SP, no ano de 1996.

TRATAMENTOS	TAXA DE ENRIQUECIMENTO ⁽¹⁾				
	M.O.	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Grade Aradora	1,9	2,0	1,3	3,7	5,0
Sist. Alternado	1,3	1,8	1,3	3,3	4,6
Escarificador	1,4	1,6	1,3	3,1	3,3
Plantio Direto	1,8	1,5	1,6	6,2	8,9
Arado de Disco	1,4	2,4	1,6	5,6	9,8
Roçado	2,0	8,6	1,9	12,8	20,7
A. D. m. abaixo	1,2	1,8	1,4	10,0	2,5
Enx. Rotativa	1,9	2,8	1,9	3,8	3,2

(1) Taxa de Enriquecimento do material erodido = concentração do elemento no sedimento/concentração do elemento no solo original.

Observando-se os dados da **Tabela 10**, verifica-se que todas as taxas de enriquecimento encontradas para matéria orgânica e nutrientes foram maiores do que 1, indicando que as concentrações de tais elementos no material erodido sempre foram maiores do que as existentes no solo original. Como todos os processos de erosão promovem uma seleção de materiais, no caso do solo há, preferencialmente, carreamento de partículas de tamanhos pequenos e de colóides, que são justamente os responsáveis pela maior adsorção de nutrientes.

Essas perdas seletivas são, em boa parte, as responsáveis pelo decréscimo na fertilidade do solo, e podem, ao longo dos anos, inviabilizar o cultivo com bases econômicas se não forem tomadas providências corretas.

É interessante observar que, apesar da alta taxa de enriquecimento nos tratamentos conservacionistas, quando se considera o total de solo erodido, verifica-se que esses tratamentos são justamente os que revelaram menores perdas de matéria orgânica e de nutrientes, ou seja, quanto maior for a erosão, maiores serão as perdas destes elementos mesmo que o solo erodido esteja com baixos níveis de fertilidade.

Outro aspecto importante a se considerar, são os valores de perdas de nutrientes e matéria orgânica, que foram obtidos do solo erodido, não se considerando a enxurrada que possui um teor destes elementos maior que o solo.

5. Manejo de solo, consumo de água e eficiência do uso da água sob condições irrigadas

A influência dos sistemas de preparo sobre a degradação do solo e suas características físico-hídricas e sobre o desenvolvimento e a produtividade das culturas tem sido predominantemente estudada em condições de cultivo das águas. Poucos estudos, porém, direcionam para o efeito do manejo do solo sobre o desempenho e consumo de água das plantas, incluindo o feijoeiro, sob condições irrigadas, tampouco em áreas manejadas da mesma forma após um período de anos suficiente para que modificações tenham sido impostas.

Dentre as práticas de manejo agrícola a cobertura morta é apontada por vários autores como responsável pela maior produtividade e eficiência do uso da água do feijoeiro sob plantio direto, propiciando menores valores e menor variação ao longo do ciclo da tensão matricial da água no solo em comparação aos demais sistemas (Stone & Silveira, 1999, Urchei e al., 2000, Barros & Hanks, 1993). Isso se dá mesmo que a área esteja, pela primeira vez, sob esse sistema de preparo como observam Urchei et al. (2000). Todavia, resultados que contradizem essa afirmação têm ido encontrados na literatura como em Chagas et al. (1994), Zaffaroni et al. (1991), Xu & Pierce (1998).

A variabilidade dos efeitos do manejo do solo sobre o rendimento de grãos e desenvolvimento de cultura do feijoeiro está associada não só ao implemento utilizado, mas a outros fatores como o histórico da área do ensaio, a variedade de feijoeiro utilizada, a fertilidade, ao histórico da cultura ao longo do ciclo, as condições climáticas no ano agrícola, as variações

nos tratos culturais, se a cultura é ou não irrigada e se está sujeita ao estresse hídrico, etc. Por essas razões, tem sido bastante variável na literatura o comportamento do feijoeiro sob diferentes manejos do solo (Kluthcouski et al., 2000).

Desenvolveu-se, no ano de 1999, ensaio na área de Conservação de Solo e Água da Feagri/UNICAMP em Campinas-SP, quando se verificou a influência do sistema de preparo do solo sobre a produção, o consumo e a eficiência do uso da água do feijoeiro irrigado em área de Latossolo vermelho manejado durante oito anos com os sistemas de preparo alternado, convencional com arado de disco, escarificador e rotavação (Medeiros, 2002).

O sistema alternado teve um manejo de irrigação diferenciado em relação aos demais, pois a cultura foi mantida na capacidade de campo ao longo de todo o ciclo. Este manejo diferenciado foi adotado para que o tratamento alternado servisse como referência para uma avaliação de estresse hídrico da cultura, por meio da medição de temperatura do dossel vegetativo com termômetro infravermelho.

A **Tabela 11** apresenta os resultados da conversão do consumo de água da cultura em matéria seca e produção de grãos para os tratamentos de sistema de preparo do solo escarificador, convencional com arado de disco e enxada rotativa.

Tabela 11. Eficiência do uso da água da biomassa e da matéria seca de grãos do feijoeiro irrigado submetido aos sistemas de preparo do solo escarificador, arado de disco e enxada rotativa, em Campinas -SP, no ano de 1999.

Tratamento	Evapotranspiração -----mm-----	Produção		Eficiência do uso da água	
		Grãos -----kg ha ⁻¹ -----	Biomassa	Grãos -----kg m ⁻³ -----	Biomassa
Escarificador	336	2519a	4816a	0,753a	1,44a
Arado de disco	350	2213b	4870a	0,632b	1,39a
Enx. Rotativa	335	2164b	4895a	0,645b	1,46a

Apesar de o consumo de água ter sido semelhante, a diferença significativa na produção entre os tratamentos sob o mesmo manejo de irrigação levou a uma eficiência do uso da água significativamente maior do sistema de preparo do solo escarificador em relação ao convencional com arado de disco e enxada rotativa. Os valores de eficiência do uso da água estão acima do recomendado por Doorenbos & Kassan (1979), que apresentam valores para o feijoeiro na ordem

de 0,30 a 0,60 kg m⁻³ para grãos com teor de 10% de umidade e dentro da faixa encontrada em outros experimentos de feijoeiro irrigado (Barros & Hanks, 1993, Calvache et al., 1997).

Neste ensaio, os valores próximos de consumo de água entre os diferentes tratamentos e a magnitude dos valores de produção e de índice de colheita atingidos (77,7 para o sistema escarificador, 53,0% no convencional com arado de disco e 51,3% para a enxada rotativa) corroboram a conclusão de que o manejo de irrigação foi adequado e não influenciou os resultados entre tratamentos, evidenciando que as variações encontradas devem estar relacionadas a efeitos provocados pelos sistemas de preparo do solo.

Analisando-se o conjunto de resultados, conclui-se que o melhor desempenho do tratamento de sistema de preparo do solo escarificador é mais provavelmente explicado por uma confluência de condições do que por algum fator isolado.

Dentre os fatores determinados durante o ensaio, tem-se aqueles que apresentaram diferenças significativas e os que não as apresentaram, mas cujo comportamento contribui para os resultados finais.

Os parâmetros que melhor descreveram os atributos do solo para o desenvolvimento e eficiência do uso da água pela cultura do feijoeiro foram aqueles relacionados à distribuição em profundidade da porosidade ao longo do perfil do solo, determinados com base na curva de retenção de água no solo, e a capacidade de infiltração de água no solo, a qual é um atributo dependente, dentre outros fatores, da continuidade e do tamanho dos poros (Hillel, 1998, Beutler et al., 2001).

O reflexo dos efeitos acumulados do sistema de preparo sobre a qualidade do solo pôde então ser avaliado pelo desempenho da cultura do feijoeiro e eficiência do uso da água.

O parâmetro de crescimento da cultura que demonstrou diferença significativa foi a altura de planta. A porcentagem de cobertura vegetal, o índice de área foliar, a matéria seca total e de raízes, apesar de não terem apresentado uma significância estatística, foram maiores no tratamento escarificador em relação ao arado de disco e à enxada rotativa.

O desenvolvimento radicular mais uniforme em profundidade no sistema escarificador parece estar associado aos seguintes fatores, já citados por outros autores: melhor distribuição de poros ao longo do perfil, sendo este um aspecto apontado como benéfico para o desenvolvimento radicular de diversas culturas (Castro, 1995); maior profundidade do início da camada compactada desse tratamento em relação à enxada rotativa e arado de disco, condição essa

verificada como benéfica para a distribuição do sistema radicular do feijoeiro por Stone & Silveira (1999); o menor gradiente de variação da resistência do solo à penetração em profundidade, outro fator citado como responsável para o melhor crescimento de leguminosas como a soja (De Maria et al., 1999).

O crescimento diferenciado do sistema radicular deve ter promovido melhor aproveitamento da água pela cultura do feijoeiro no tratamento escarificador em relação aos demais, submetidos ao mesmo manejo de água. Esse fato é corroborado por dois resultados: o primeiro refere-se à camada do solo explorada pela cultura para retirada de água, a qual foi mais profunda no tratamento escarificador, cuja variação ficou entre 0,10 a 0,40 m (**Tabela 7**), enquanto no tratamento enxada rotativa concentrou-se na camada superficial do solo, até a profundidade de 0,20 m; o segundo diz respeito ao índice de estresse hídrico da cultura e sua relação com a produção do feijoeiro, como observado na **Figura 12**.

Na **Figura 12**, observa-se a relação linear, altamente significativa, entre a produção e o índice de estresse hídrico acumulado (IEHD) para a cultura do feijoeiro submetido aos diferentes sistemas de preparo do solo, cuja forma é a seguinte:

$$Y = -14,905 \times \text{IEHD} + 3296,1 \quad r^2 = 0,91^{**}$$

onde Y é a produção (kg ha⁻¹) e IEHD o índice de estresse hídrico da cultura, baseado na diferença entre a temperatura do dossel e a do ar.

A **Figura 12** permite observar que o tratamento alternado foi aquele que apresentou a maior produção e o menor índice de estresse hídrico acumulado. Dentre os tratamentos que tiveram o mesmo manejo de água, o sistema de preparo escarificador totalizou o menor índice de estresse hídrico acumulado, seguido do sistema convencional com arado de disco e enxada rotativa.

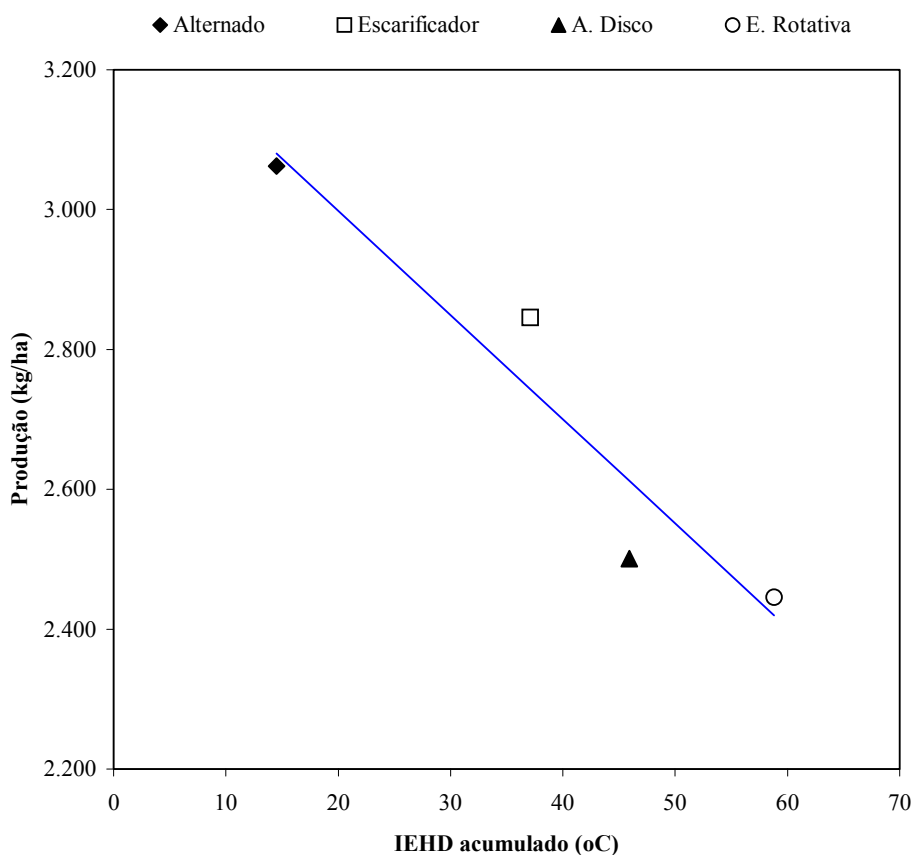


Figura 12. Variação da produção final com o índice de estresse hídrico acumulado (IEHD) para os tratamentos de sistema de preparo do solo alternado, escarificador, arado de disco e enxada rotativa, em Campinas-SP, no ano de 1999.

O maior IEHD apresentado pelo tratamento enxada rotativa é um indicativo de deficiência hídrica no feijoeiro, a qual pode ter levado ao menor número de vagens por planta neste sistema de preparo do solo, fruto do decréscimo na porcentagem de vingamento de flores como comentado por Stone & Moreira (2000), apesar das condições muito próximas do manejo de água entre os tratamentos.

Portanto, o desempenho da cultura e a sua conseqüente maior eficiência do uso da água devem ser resultado de efeitos acumulados, ao longo dos anos, do sistema de preparo do solo.

Outro importante aspecto a ser considerado e que influencia a produção e eficiência de o uso da água é o fato do sistema de preparo enxada rotativa perder a maior quantidade de solo e nutrientes na época das chuvas em relação aos demais tratamentos estudados, de acordo com os

levantamentos realizados por um período de oito anos e compilados por Lucarelli (1997). Tanaka (1990) comenta que a conservação do perfil do solo é importante para a manutenção da eficiência do uso da água pelas culturas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para atender ao escopo do evento “I Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios”, pretendeu-se apresentar resultados de ensaios conduzidos, sob condições de campo, na Universidade Estadual de Campinas, na área de Conservação de Solo e Água da Faculdade de Engenharia Agrícola.

Essa área é fruto de um dos raros exemplos de trabalho continuado e de longa duração, desenvolvido de forma sistemática e com rigor técnico por um período que chegou a 13 anos, sendo o último ano de ensaio, nos moldes conduzidos desde 1990, realizado no ano agrícola de 2002/2003.

A continuidade desse trabalho só foi possível graças ao empenho e dedicação do Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel que concebeu e conduziu esses ensaios mesmo depois de sua aposentadoria e pela dedicação e apoio técnico – científico do pesquisador Eng. MSc. José Ricardo Freitas Lucarelli que atualmente realiza o seu programa de doutoramento nessa mesma área experimental.

Dessa área de experimentação resultaram duas teses, sendo uma de mestrado (Lucarelli, 1997) e outra de doutorado (Medeiros, 2002), além de outros trabalhos publicados em periódicos, anais de congressos nacionais e internacionais, os quais tiveram a participação de alunos de iniciação científica (Medeiros et al., 2001, Lucarelli et al., 1999, Lucarelli et al., 1998, Lucarelli, 1997, Lucarelli et al., 1996, Daniel et al., 1996, Daniel et al., 1997).

Destaque-se ainda o fato da área experimental ter apoiado a disciplina de graduação Conservação do Solo e a disciplina de pós – graduação Mecanização no Uso e Manejo do Solo da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Os resultados obtidos podem ser considerados uma contribuição para linhas semelhantes e relacionadas à conservação do solo e água na agricultura.

Como avanços na área de manejo do solo verificados ao longo das últimas três décadas tem-se a destacar:

- a) os sistemas de preparo conservacionistas têm se expandido ressaltando-se o plantio direto, o qual vem tendo seu uso crescente também sob condições irrigadas;
- b) programas de difusão de técnicas de manejo e conservação de solo já fazem parte de Legislação relacionada ao Gerenciamento dos Recursos Hídricos em alguns Estados. Como exemplo cita-se Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas do Estado de São Paulo;
- c) o uso, a conservação e preservação do solo agrícola fazem parte da legislação no Estado de São Paulo por meio da Lei 6.171, de 4 de julho de 1988, regulamentada pelo Decreto 41.719, de 16 de abril de 1997;
- d) técnicas de preparo e manejo do solo que promovam menor revolvimento do solo e manutenção de resíduos culturais tem sido recomendadas para a redução da perda de água por evaporação, redução da perda de solos e nutrientes por escoamento superficial e, recentemente, redução da emissão de CO₂ para a atmosfera.

Referências

- AMADO, T. J.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural de soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 251-257, 1990.
- ARZENO, J. L. **Avaliação física de diferentes manejos de solo em um latossolo roxo - distrófico**. Piracicaba: ESALQ, 1990. 259 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1990.
- BARROS, L. C. G.; HANKS, R. J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 85, p. 692-697, 1993.
- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 3, p.555-60, 2001.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, Ícone, 1990. 335p.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p.167-77, 2001.
- CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K.; MALAVOLTA, E.; BACCHI, O. O. S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso da água em uma cultura do feijão. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 3, p.232-40, set/dez, 1997.

CANIL, K.; RIDENTE JUNIOR, J. L. A questão da erosão no contexto do gerenciamento dos recursos hídricos no Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. Resumos... São Paulo, SP : IEA-USP, 1997.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. S.; COSTA, L. M. Comportamento físico hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 257-265, fev. 1999.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* L.)**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 174 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ, USP, 1995.

CHAGAS, J. M.; GOMES, J. M.; VIEIRA, C.; ARAUJO, G. A. A. Efeitos de quantidades de água sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em quatro sistemas de manejo do solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 238, p.641-50, 1994.

CHICHESTER, F. W.; RICHARDSON, C. W. Sediment and nutrient loss from clay soils as affected by tillage. **Journal Environmental Quality**, Madison, v. 21, n. 4, p. 587-590, 1982.

CLAWSON, K. L.; BLAD, B. L. Infrared thermometry for scheduling irrigation of corn. **Agronomy Journal**, Madison, WI, v. 74, p. 311-316, 1982.

DANIEL, L. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; LUCARELLI, J. R. F.; MAIA, J. C. S. A mecanização e conservação do solo na FEAGRI/UNICAMP. In: SEMINÁRIO CIÊNCIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Resumos Expandidos...** São Paulo, 1997. p. 119-120.

DANIEL, L. A.; SVERZUT, C. B.; LUCARELLI, J. R. F. Effects of different agricultural mechanization systems on compacted soil layer formation. In: AgEng96, INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING. **Anais...** Madrid, 23 a 26 de setembro de 1996, v. 1, p. 134-35.

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS JUNIOR, E. de. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em latossolo vermelho-escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 265-272, 1986.

DE MARIA, I.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 703-709, 1999.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, M.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil Tillage Research.**, Amsterdam v. 8, p. 253-263, 1986.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Yield response to water**. Rome : FAO, 1979. 193 p. Paper n. 33.

DUMANSKI, J.; ROLOFF, G.; GAMEDA, S. de; JONG, R. Application of information technology for the sustainable management of land resources. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997. **Anais...** Rio de Janeiro, 1997. 22p.

ECAF (European Conservation Agriculture Federation). Agricultura de conservação na Europa. Disponível em: < <http://www.ecaf.org/português/First.html#3d> >. Acesso em: 7 de maio de 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA - CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de um Latossolo Vermelho Escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. New York, Academic Press, 1998. 771p.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO-NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento da soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n.1, p.97-104, jan/mar 2000.

LOVEJOY, B. S.; LEE, J. G.; RANDHIR, T. O.; ENGEL, B. A. Research needs for water quality management in the 21st century. A spatial support system. **Journal of Soil and Water Conservation**, Iowa-USA, v. 52, n. 1, p. 18-22, jan-fev 1997.

LUCARELLI, J. R. F.; MEDEIROS, G. A.; ESPÍNDOLA, C. R.; DANIEL, L. A. Influência do manejo do solo de um Latossolo roxo sobre a disponibilidade de água no solo e suas implicações para o manejo de irrigação. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 14., 1999, Pucon-Chile. **Anales del CLACS-99**. Pucon-Chile: Sociedad Agronomica de Chile, 1999. p. 1-4.

LUCARELLI, J. R. F.; ESPÍNDOLA, C. R.; DANIEL, L. A. Estabilidade e distribuição dos agregados em oito diferentes sistemas de preparo e manejo do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E ÁGUA, 12., 1998. **Resumos Expandidos...** Fortaleza, 1998. p. 207-08.

LUCARELLI, J. R. F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 1997. 135 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LUCARELLI, J. R. F.; DANIEL, L. A.; GUIMARÃES, E. C.; SVERZUT, C. B. Different soil tillage systems influence in soil loss by erosion. In: AgEng96, INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRICULTURAL ENGINEERING. **Anais...** Madrid, 23 a 26 de setembro de 1996, v.2, p.757-58.

MEDEIROS, G. A. **Influência do manejo de um Latossolo vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2002. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MEDEIROS, G. A.; BOMFIM, M. B.; LUCARELLI, J. R. F.; DANIEL, L. A. Avaliação de sondas segmentadas multihaste e TDR em latossolo vermelho conduzido sob dois sistemas de preparo e cultivado com feijoeiro irrigado. **Ecossistema**, Espírito Santo do Pinhal - SP, v. 26, n. 1, p. 48-53, 2001.

OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 317-322, março 1990.

OLIVEIRA, J. O. A. P.; VIDIGAL FILHO, P. S.; TORMENA, C. A.; PEQUENO, M. G.; SCAPIM, C. A.; MUNIZ, A. S.; SAGRILO, E. Influência de sistemas de preparo do solo na produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*, CRANTZ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.2 5, p.443-450, 2001.

OLIVEIRA, J. B.; ROTTA, C. L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos** do Estado de São Paulo. **Quadrícula de Campinas**. Rio de Janeiro, IBGE, 169 p. 1979.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; CRESTANA, S.; FERREIRA, M. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; GOMES, A. S.; TURATTI, A. L. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 521-529, 2001b.

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 1, p. 153-162, 1991.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4 ed. rev. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

ROTH, C. H.; MEYER, B. Infiltrabilidade de um Latossolo roxo distrófico durante o período vegetativo da soja sob preparo convencional, escarificação e plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 19, Curitiba, 1983. **Programas e Resumos**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983, p.108.

SALIH, A. A.; BABIKIR, H. M.; ALI, S. A. M. Preliminary observations on effects of tillage systems on soil physical properties, cotton root growth and yield in Gezira Scheme, Sudan. **Soil & Tillage Research**, v. 61, p. 193-202, 2001.

SEGANFREDO, L. M.; ELTZ, F. L. F.; BRUM, A. C. R. de. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 21, p. 287-291, 1997.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 395-401, 2001.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistema de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 835-841, abr. 2000.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, jan. 1999.

STONE, L. F.; PEREIRA, A. L. Sucessão arroz-feijão irrigados por aspersão: efeitos de espaçamento entre linhas, adubação e cultivar no crescimento, desenvolvimento radicular e consumo d'água do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 6, p.939-54, 1994.

TANAKA, D. L. Topsoil removal influences on spring wheat water-use efficiency and nutrient concentration and content. **Transactions ASAE**, St Joseph, MI, v. 33, n. 5, p. 1518-24, 1990.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 301-09, 1998.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p.497-506, 2000.

WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 621-33, 2000.

XU, C.; PIERCE, F. J. Dry bean and soil reponse to tillage and row spacing. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p. 393-399, 1998.

ZAFFARONI, E.; BARROS, H. H. de A.; NÓBREGA, J. A. M.; LACERDA, J. T. de; SOUZA JUNIOR, V. E. Efeito de métodos de preparo do solo na produtividade e outras características agrônômicas de milho e feijão no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 99-104, 1991.

TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO E REUSO DA ÁGUA NO MEIO RURAL

JOSÉ EUCLIDES STIPP PATERNIANI

DENIS MIGUEL ROSTON

Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP
Caixa Postal 6011 - 13083-970 - Campinas, SP, Brasil
{pater, denis@agr.unicamp.br}

Resumo. A água no meio rural vem recebendo grande importância ultimamente devido à crescente deterioração da qualidade dos mananciais em decorrência do aumento da poluição e contaminação constatado. Ações governamentais no sentido de adotar mecanismos para controlar o uso dos recursos hídricos vêm sendo cada vez mais postas em discussão e, em alguns casos, em prática. O desenvolvimento e aperfeiçoamento de tecnologias para tratamento de água, apropriadas a regiões rurais, que possibilitem a adequação da qualidade da água aos usos a que se destina, bem como o reuso de águas já servidas, podem contribuir de forma substancial para a preservação dos recursos hídricos e sua utilização na agricultura de maneira sustentável. O presente texto apresenta algumas considerações a respeito da qualidade da água e algumas tecnologias simples e de baixo custo para tratamento da águas, tais como: filtração lenta, desinfecção por radiação solar e leitos cultivados, a fim de melhorar a qualidade da água e possibilitar seu reuso em diversas atividades agrícolas.

Palavras-chave: qualidade da água, reuso da água, filtração lenta, leitos cultivados, desinfecção solar.

1. Importância da água na agricultura

Há pouco tempo, um jornal de grande circulação trazia um artigo com a seguinte manchete - “Água será estopim de guerras no próximo século”. Esse artigo, muito bem elaborado pelo jornalista Gilberto Dimenstein, abordava os riscos de uma disputa bélica entre diversos países pela água, sob a luz de dados e levantamentos estatísticos que davam total razão ao título. Neste artigo era citado que a falta de água é permanente em 22 países e atinge 40% da população mundial. O artigo enfatiza ainda, que a população mais pobre dos países em desenvolvimento é a que mais sente os impactos negativos desse problema. Nos países em desenvolvimento 80% das doenças são provocadas por água contaminada, isso devido à falta de acesso à água tratada e à rede de esgoto, que não chegam a alcançar 20 % da população.

Sabe-se que $\frac{3}{4}$ da superfície da Terra é coberto por água, no entanto 97% de toda essa água está contida nos mares e oceanos restando apenas 3% de água doce. Desses 3%, 2,7% estão congelados nas calotas polares, restando apenas 0,7% de toda a água do planeta, que são águas superficiais de fácil captação. A escassa disponibilidade de água no planeta pode ser melhor visualizada no gráfico da **Figura 1**. Contudo, a água é um recurso finito, renovável mas finito.

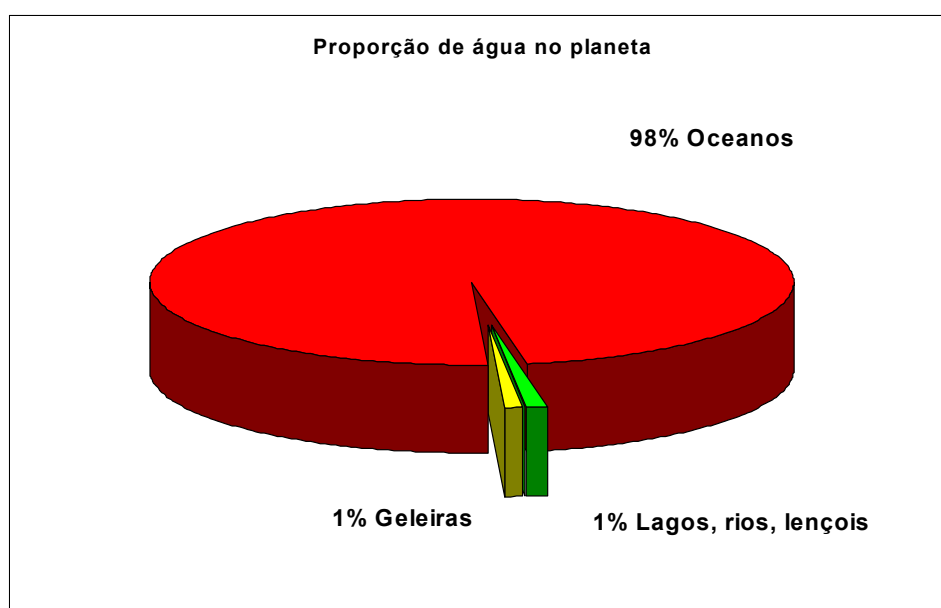


Figura 1. Disponibilidade de água na Terra.

Assim, não é muito difícil perceber a importância e a necessidade de se preocupar com a qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis no nosso planeta.

Questões relativas à qualidade da água são antigas. Em bibliografia escrita por Aristóteles (384-322 a.C.) intitulada *De Generalione Animalium*, eram citados processos de filtração da água através de vasos porosos com o objetivo de purificá-la. Ancestrais egípcios descreviam processos de filtração em série também para purificação da água para suprimento doméstico. Há uma passagem na Bíblia onde Moisés recebe indicação do Senhor para lançar nas águas do rio Mara um pedaço de madeira, para tornar suas águas próprias para matar a sede de seu povo (as águas de Mara eram amargas e a madeira, agindo como vários polímeros vegetais, tem a capacidade de absorver e retirar da água substâncias que causam gosto).

A necessidade de se tratar a água, ou seja, de adequar a sua qualidade ao uso a que se destina tem levado pesquisadores e especialistas a desenvolver padrões de qualidade de água para

diversos usos, além de normas para a captação dos recursos hídricos com o objetivo de preservar a qualidade da água e garantir a existência deste recurso em quantidade e qualidade adequada principalmente para as gerações futuras, evitando, ou pelo menos minimizando, os riscos de uma disputa pela água onde, certamente, os mais pobres perderão.

Em se tratando de qualidade da água é necessário, antes de mais nada, definir o uso a que se destinará a água bem como conhecer os mananciais de onde se captará a água a ser utilizada.

De acordo com o gráfico da **Figura 2**, nota-se que o maior consumo de água se dá na agricultura, mais especificamente na irrigação. Com as recentes notícias, na maioria das vezes alarmantes com relação à falta de água e à escassez cada vez mais acentuada de água de boa qualidade, até mesmo na zona rural, fica evidente a necessidade de se voltar maior atenção à água na agricultura, não só em relação aos aspectos quantitativos mas também aos qualitativos deste recurso natural.

A disponibilidade de água no planeta é superior à demanda da população. No entanto, sua distribuição aos diferentes setores consumidores para os diversos usos é extremamente desigual, o que confere a muitas regiões déficit de recursos hídricos, comprometendo o atendimento à população em geral.

Além da má distribuição e perdas, a crescente degradação dos recursos hídricos -- devido à concentração de cargas poluidoras em algumas regiões e à falta de escrúpulos quanto ao lançamento dessa carga nos cursos d'água também deve ser considerada como um dos fatores que tornam a água imprópria para diversos usos.

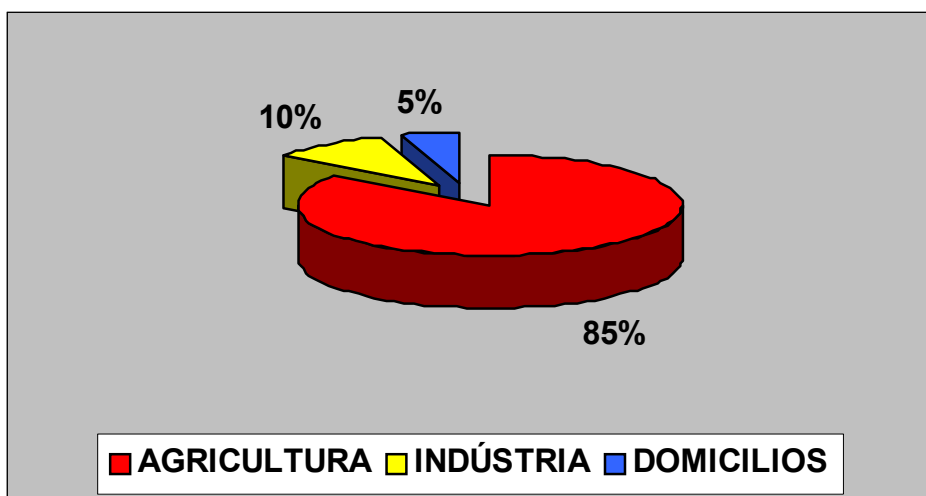


Figura 2. Consumo de água no mundo.

Assim, diversas regiões do mundo enfrentam hoje problemas relativos à escassez de água com qualidade compatível ao uso que se fará dela.

Mota (1997) classifica os principais usos da água como consuntivos (quando há perdas entre o que é retirado e o que retorna ao sistema natural) e não consuntivos (quando ocorre o contrário).

Consuntivos: abastecimento humano, abastecimento industrial, **irrigação**, dessedentação de animais.

Não consuntivos: recreação, harmonia paisagística, geração de energia elétrica, conservação da flora e da fauna, navegação, pesca, diluição, assimilação e afastamento de despejos.

O consumo de água tende a crescer com o aumento da população, o desenvolvimento industrial e outras atividades humanas. Cada vez mais se retira água dos mananciais e se produzem resíduos líquidos, que voltam para os recursos hídricos alterando a sua qualidade.

Para cada uso da água, há necessidade de que a mesma tenha uma determinada qualidade. A água para beber, por exemplo, deve obedecer a critérios mais rígidos do que a utilizada na recreação ou para fins paisagísticos. A qualidade desejável para a água usada na irrigação varia em função dos tipos de culturas onde será aplicada. Culturas alimentícias, por exemplo, exigem uma qualidade de água superior à de culturas não-alimentícias. O mesmo acontece com a água destinada às indústrias, cujas características dependem dos tipos de processamentos e produtos das fábricas.

Alguns usos provocam alterações nas características da água, tornando-a imprópria para outras finalidades. A recreação pode modificar a qualidade da água, prejudicando o abastecimento humano. A irrigação, com o uso de fertilizantes e pesticidas, pode provocar a poluição de mananciais, causando prejuízos a outros usos. A água utilizada para diluir despejos, mesmo tratada, torna-se imprópria para consumo humano e para outros fins.

Observa-se que há necessidade do manejo adequado dos recursos hídricos, compatibilizando-se os seus diversos usos de forma a garantir a água na qualidade e na quantidade desejáveis aos diversos fins. Este é um dos grandes desafios da humanidade: saber aproveitar os recursos hídricos de forma a garantir os seus múltiplos usos hoje e sempre.

Em algumas regiões, há água em abundância, suficiente para suprir as necessidades da população e para diluir os resíduos líquidos resultantes dos diversos usos. Em outras, com

características áridas ou semi-áridas, há escassez de água, muitas vezes até para fins mais nobres, como o abastecimento humano.

No Brasil, por exemplo, na região árida e semi-árida do Nordeste, em períodos longos de estiagem, a população de algumas áreas é, muitas vezes, obrigada a percorrer grandes distâncias para apanhar água que, freqüentemente, é de péssima qualidade. Nessas regiões, devido ao baixo índice pluviométrico e intensa evapotranspiração, o processo de salinização do solo tende a aumentar gradativamente com as irrigações sucessivas, a menos que as condições de drenagem permitam a remoção dos sais. Nestas zonas, a aplicação da água em excesso em áreas com drenagem ineficiente, conduz os sais contidos na água e no perfil do solo até o lençol freático, proporcionando sua elevação. Nestas condições, a água pode retornar à superfície por capilaridade, sofrem o processo de evaporação e, em consequência, aumentar a concentração de sais.

Em outras regiões do país, onde há relativa abundância de água, os problemas de poluição são graves, resultantes da urbanização, industrialização, mineração, irrigação e outras atividades, havendo, muitas vezes, dificuldade de se obter água na qualidade adequada para determinados usos. Com isso, torna-se necessária a implantação de processos de tratamento mais rigorosos, e isso será refletido no custo da água fornecida.

Constata-se assim que no manejo dos recursos hídricos, é importante considerar-se os aspectos de qualidade e quantidade de água. Os múltiplos usos desse líquido devem ocorrer de forma equilibrada, considerando a sua disponibilidade, a capacidade dos mananciais de diluir e depurar recursos líquidos e a adequação de técnicas apropriadas de tratamento.

2. Principais parâmetros de qualidade de água

A água naturalmente apresenta diversas substâncias que, dependendo da quantidade em que se encontram, podem torná-la imprópria para determinados usos. Diz-se então, que a água está poluída. Quando essa poluição pode por em risco a saúde da população diz-se que a água está contaminada.

As principais impurezas presentes na água são identificadas e mensuradas a partir de testes e análises em laboratório. Só assim pode-se conhecer com precisão as características da água e adotar as técnicas apropriadas de tratamento.

A seguir, serão apresentados alguns dos principais parâmetros de qualidade de água de interesse para a maioria das atividades agrícolas.

2.1. Turbidez

A turbidez em águas é causada pela presença de matéria orgânica e inorgânica em suspensão, como argila, silte, carbonatos, plânctons e outros animais que dificultam a penetração da luz.

É um dos parâmetros de controle de qualidade de água mais usados em sistemas de tratamento de água, devido à sua rápida e fácil determinação, com resultados bastante confiáveis e precisos.

Para que a água seja utilizada tanto na indústria como para o consumo doméstico, há necessidade de se eliminar esta característica nas estações de tratamento. Muitos organismos aquáticos, especialmente os filtradores, não podem tolerar apreciáveis concentrações de material particulado inorgânico. Além disso, essa característica é prejudicial para a vida aquática por promover uma diminuição na fotossíntese, com conseqüente abaixamento da temperatura no fundo de águas túrbidas.

Na irrigação localizada pode ser um parâmetro comprometedor, uma vez que indica a concentração de partículas sólidas em suspensão que podem obstruir os gotejadores, além de diminuir a eficiência de processos de desinfecção. A turbidez da água é normalmente reduzida através da filtração.

2.2. Cor

A cor da água pode ser classificada como verdadeira (quando é devida à matéria dissolvida), e aparente (quando da presença de materiais em suspensão). Na maioria dos casos, observa-se nas águas naturais a cor aparente. Um bom exemplo é a cor marrom das águas que drenam material humificado, havendo inclusive uma correlação positiva entre este tipo de coloração e a concentração de carbono orgânico dissolvido. Colorações azul-esverdeadas, marrons e vermelhas podem ser observadas conforme a densidade populacional de algas e bactérias, podendo ser um indício do fenômeno de eutroficação.

A cor aparente pode ser reduzida através de processos físicos como filtração, porém a cor verdadeira é mais difícil de ser removida e requer tratamento mais complexo com coagulação química e osmose reversa.

2.3. Sólidos totais

Este parâmetro refere-se à quantidade de material que está em suspensão na água. Os sólidos totais podem ser subdivididos em sólidos dissolvidos (não filtráveis) e sólidos em suspensão (filtráveis).

Altas concentrações desses compostos podem tornar uma água imprópria para uso doméstico e industrial, devido a seus efeitos estéticos, fisiológicos e econômicos. Sais minerais como sulfatos e cloretos estão associados a processos de corrosão, que podem danificar os sistemas de distribuição de água. Com relação à produção de sabor, estudos indicam que limites um pouco acima de 500 mg/l são tolerados nas águas de abastecimento.

Com relação à vida aquática, o efeito dos sólidos dissolvidos totais é semelhante ao efeito causado pela turbidez, e os sólidos orgânicos podem causar uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido.

Embora este parâmetro, assim como a turbidez, não indique nada de qualitativo da composição do material analisado, eles são largamente empregados em laboratórios de análises de água.

Este parâmetro torna-se muito importante quando se emprega métodos de irrigação localizada, seja por gotejadores ou microaspersores. Esses emissores são extremamente sensíveis à presença de partículas sólidas na água e obstruem-se facilmente, comprometendo a uniformidade de distribuição de água às plantas.

2.4. pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma medida importante na análise de água para irrigação por estar intimamente relacionado com a concentração de outras substâncias presentes na água. Assim, por exemplo, uma água que apresenta pH acima de 8,3 contém altas concentrações de sódio, carbonatos e bicarbonatos, podendo tornar-se inadequada para irrigação. A concentração elevada desses íons na água, com a sua aplicação no solo, causará influência no processo de intercâmbio de cátions da superfície da fase sólida do solo em direção à solução do solo e vice-versa.

Assim, por exemplo, a alta concentração de íons bicarbonato na água de irrigação, favorece a precipitação de cálcio e magnésio, aumentando a concentração de sódio na solução do solo. Um pH de 7,5 a 8,0 mostra geralmente a presença de carbonatos de cálcio e magnésio.

Segundo Fireman e Waldleigh citados por Richards (1954), há uma correlação significativa entre o pH e a porcentagem de sódio intercambiável no solo. Pelos estudos desenvolvidos, evidenciaram que valores de pH igual ou superior a 8,5 indicam quase sempre uma porcentagem de sódio intercambiável (PSI) igual ou superior a 15 e a presença de carbonatos de metais alcalino-terrosos. Valores de pH entre 7,5 e 8,5 a PSI podem ou não ser superiores a 15; pH menor que 7,5 indica, em geral, a ausência de carbonatos e pH abaixo de 7 significa a presença de quantidades consideráveis de hidrogênio.

As águas de irrigação com pH inferior a 7 tornam-se corrosivas, enquanto valores de pH acima de 7 favorecem a incrustação de materiais nas tubulações e equipamentos de irrigação. Assim, nesses casos, a fim de melhor verificar os efeitos corrosivos e incrustantes da água, outros fatores além do pH devem ser considerados (oxigênio dissolvido, gás sulfídrico, sólidos totais dissolvidos, cloretos, ferro, dureza total, etc.).

2.5. Condutividade elétrica e sais solúveis

A medida da salinidade em termos de condutividade elétrica, se baseia na seguinte propriedade:

"Quanto maior a concentração de sais em uma solução melhor será a condução da corrente elétrica".

Considerando um condutor elétrico de comprimento "L" e seção transversal "S", sua resistência elétrica será dada por:

$$R = P.(L/S)$$

O fator "P" é denominado de resistividade elétrica. O valor de "P" depende da natureza do condutor e não de sua forma e dimensões.

Quanto maior o valor de "P" de um certo material, piores serão suas propriedades condutoras de eletricidade.

A unidade de resistividade elétrica do condutor é dada em Ohm vezes unidades de comprimento.

A inversa de "P" chama-se condutividade elétrica (CE). Assim, a equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$CE = 1/P = (1/R) \times (1/S)$$

Quanto maior o valor da CE de um material, melhor ele conduz a corrente elétrica. No caso de soluções salinas, valores elevados de CE indicam concentrações salinas também elevadas.

2.6. Ferro e Manganês

O Ferro e o Manganês normalmente estão presentes na água nas formas insolúveis (Fe^{3+} e Mn^{4+}). Suas origens podem ser da dissolução de compostos do solo ou de despejos industriais. A presença de Fe e Mn na água não tem muita importância do ponto de vista sanitário a não ser gosto e cor amarelada que inferem à água. No entanto, podem precipitar na presença de oxigênio dissolvido convertendo-se em fortes contribuintes para a obstrução de gotejadores. (Von Sperling, 1996).

A forma mais recomendada de se remover ou reduzir a concentração de ferro e manganês da água é através da aeração, ou seja, pela introdução de oxigênio dissolvido na água a fim de promover a oxidação desses metais. É importante lembrar que ao processo de aeração deve-se associar um sistema de remoção física, como a filtração, para remoção do ferro e manganês precipitados.

2.7. Nitrogênio

O Nitrogênio pode ser encontrado na água em todas as suas formas presentes no Ciclo do Nitrogênio na biosfera, ou seja: nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico, amônia, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). A origem de excessos de nitrogênio na água está normalmente associada a despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e uso de fertilizantes. Devido a esse último fator, sua importância na agricultura irrigada tem tido atenção intensificada, principalmente devido à difusão das técnicas de fertirrigação. A presença de nitrogênio, na forma de nitrato, em excesso na água pode trazer problemas graves de saúde à população como a metahemoglobinemia, doença que pode causar morte em crianças.

O excesso de nitrogênio em reservatório de água para irrigação pode tornar esse ambiente aquático eutrofizado, conduzindo a um crescimento elevado de algas que virão a obstruir gotejadores e filtros do sistema de irrigação. Uso de algicidas, cloro e mesmo filtros específicos tem sido recomendados para reduzir o desenvolvimento de algas no interior de tubulações de irrigação localizada (Von Sperling, 1996).

2.8. Fósforo

O fósforo se encontra na água geralmente na forma de ortofosfatos, sendo a mais comum dela o HPO_4^{2-} . Sua origem na água pode ser natural, proveniente do solo e da decomposição de matéria

orgânica, como também proveniente de despejos domésticos, industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes. Tem para a irrigação a mesma importância que o nitrogênio, pois é responsável também por fenômenos de eutrofização em reservatórios quando em elevadas concentrações. Pode-se utilizar o fósforo total (P total) como indicador do estado de eutrofização de corpos d'água, conforme a **Tabela 1** (Von Sperling, 1996).

Tabela 1. Níveis de eutrofização em função do fósforo total

Grau de eutrofização	Concentração de P total (mg/L)
Não eutrófico	< 0,01 e 0,02
Estágio intermediário	entre 0,02 a 0,05
Eutrófico	> 0,05

2.9. Oxigênio dissolvido

Por ser um elemento essencial à vida aquática e também a microrganismos aeróbios que utilizam-no na degradação de matéria orgânica, sua concentração na água tem estreita relação com a contaminação por matéria orgânica, especialmente esgoto doméstico na água.

A concentração de OD na água é proporcional à temperatura e à altitude. Ao nível do mar e a 20°C a concentração de saturação do oxigênio na água é igual a 9,2 mg/L. Assim, encontrando-se valores muito inferiores a esse, existe um forte indicativo de contaminação por esgotos domésticos na água. O oxigênio dissolvido em concentração igual a 2 mg/L causa a morte de grande quantidade de peixes. Deve-se lembrar também que o Oxigênio dissolvido é empregado na oxidação do ferro para sua remoção da água.

2.10. Coliformes

As bactérias do grupo coliforme são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias que inclui os generos *Klebsiella*, *Escherichia*, *Serratia*, *Erwenia* e *Enterobactéria*. Todas as bactérias coliformes são gran-negativas manchadas, de hastes não esporuladas, que estão associadas com as fezes de animais de sangue quente e com o solo. O uso da bactéria coliforme fecal para indicar poluição sanitária mostra-se

mais significativo que o uso da bactéria coliforme "total", porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente.

A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microorganismos patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, desintéria bacilar e cólera.

2.11. Streptococos fecais

Os estreptococos fecais constituem um grupo de bactérias, cujo habitat normal é o trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente. Estas bactérias não conseguem se multiplicar em águas poluídas, sendo sua presença indicativa de contaminação fecal recente, apresentando o risco de encontrar organismos patogênicos. As espécies contidas no grupo dos estreptococos fecais apresentam diferentes graus de resistência às condições ambientais. Assim, as espécies do sub-grupo dos enterococos apresentam maior resistência, possuem habilidade de crescer em pH de até 9.6, na presença de cloreto de sódio, na concentração de 6,5% e às temperaturas de 10 e 45°C.

2.12. Giardia sp e Cryptosporidium sp

As doenças parasitárias representam uma parcela significativa de casos de morbidade e mortalidade e, a Giardia lamblia e Cryptosporidium parvum estão entre os protozoários capazes de causar diarreias graves tanto em indivíduos imunocompetentes quanto imunodeficientes. A partir da década de 80, a preocupação com estes protozoários aumentou principalmente em relação aos casos de criptosporidiose. Dentre os vários modos de transmissão destas duas protozooses, a veiculação hídrica tem sido considerada a mais importante, sendo implicada na ocorrência de mais de cem surtos de gastroenterite por Giardia e Cryptosporidium, de acordo com relatos nos Estados Unidos, Canadá e países da Europa nos últimos 25 anos.

3. Principais tecnologias de tratamento de águas e águas residuárias apropriadas a zona rural

3.1 Leitos Cultivados

Todo lançamento de dejetos líquidos em um corpo receptor está obrigado a seguir padrões de qualidade contemplados nas legislações municipais, estaduais, federais e internacionais que dizem respeito à proteção dos cursos d'água. Estes padrões se baseiam no princípio do restabelecimento do equilíbrio e da autodepuração do corpo receptor, sendo que estes são os responsáveis pela conversão de compostos orgânicos ativos em compostos orgânicos inertes e não prejudiciais do ponto de vista ecológico (Von Sperling, 1996). Conhecer e quantificar estes mecanismos é de fundamental importância para o desenvolvimento dos processos de tratamento de águas residuárias baseados nos sistemas naturais, buscando otimizar o que ocorre na natureza. O termo “sistemas naturais” é usado por Reed et al. (1995) para descrever os processos de tratamento de resíduos que tenham como principais componentes a força gravitacional, microrganismos, plantas e animais.

Os processos de tratamento baseados nos sistemas naturais possuem vantagens em relação aos convencionais, pois são pouco mecanizados, exigem pouca manutenção, são de fácil operação e apresentam baixo custo de implantação e operação. O Brasil é um dos países que oferecem excelentes condições ambientais para a implantação deste tipo de sistema, além de apresentar, segundo Mansor (1998), uma enorme carência de tratamento de águas residuárias, especialmente em pequenas comunidades rurais

Entre os sistemas chamados naturais, destaca-se o leito cultivado ou “constructed wetland” que vem sendo alvo de estudo junto à Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP por se enquadrar dentro da linha de desenvolvimento de sistemas simplificados de tratamento de esgoto.

3.1.1. Leitos cultivados com macrófitas ou “Constructed Wetlands”

O termo “Constructed Wetlands” é utilizado internacionalmente para identificação do sistema, que no Brasil ainda não tem um único nome. Alguns pesquisadores usam o termo Zona de Raízes, sendo este traduzido do termo em inglês “Root Zone” muito utilizado na Europa. O termo Terras Úmidas Construídas também é utilizado por alguns pesquisadores. A designação de Leitos Cultivados, adotada por outros pesquisadores, é considerada a melhor tradução do termo em inglês.

Os leitos cultivados (LC) podem ser classificados como um sistema natural de tratamento de águas residuárias, sendo baseados nos alagados, nas várzeas ou “wetlands” naturais, que são áreas de solo hidromórfico permanentemente inundados ou saturados por águas superficiais ou subterrâneas, onde vegetam várias espécies de plantas que são diretamente dependentes da hidrologia, do meio suporte e dos nutrientes característicos da região onde se encontram (U.S.E.P.A., 1988; Wood & Mcatamney, 1996). Estes sistemas foram criados para controlar sistematicamente o tratamento e otimizar a habilidade do sistema de várzea em remover ou transformar os poluentes dos efluentes, além de criar um ambiente favorável ao desenvolvimento da vida selvagem.

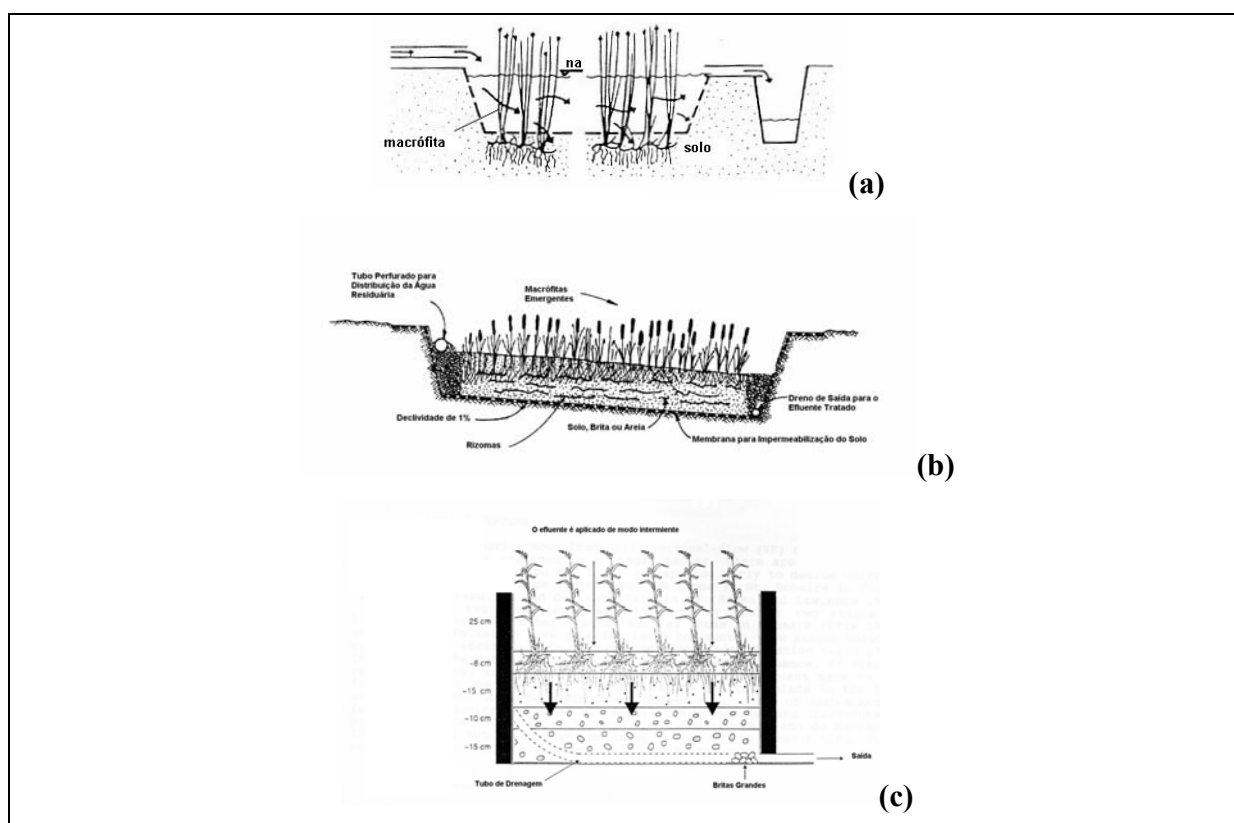
Os leitos cultivados são classificados como de fluxo superficial (LCFS), de fluxo subsuperficial (LCFSS) e como de fluxo vertical (LCFV), de acordo com as seguintes características (U.S.E.P.A., 1988; Vymajal, 1998):

- **Leitos cultivados de fluxo superficial (LCFS):** constituídos de canais com algum tipo de barreira subsuperficial, geralmente o próprio solo, que fornece condições de desenvolvimento para as plantas, sendo que a água flui a uma pequena profundidade (0,1 a 0,3m). Seus melhores resultados são como tratamento terciário. Nos Estados Unidos, o sistema de fluxo superficial é muito utilizado no tratamento de grandes volumes de águas residuárias, principalmente na remoção de nitrogênio e fósforo (**Figura 3 (a)**);
- **Leitos cultivados de fluxo subsuperficial (LCFSS):** são essencialmente filtros horizontais preenchidos com brita ou areia como meio suporte onde as raízes das plantas se desenvolvem. Este sistema mostrou-se eficiente no tratamento secundário de águas residuárias (Roston, 1994; Souza & Bernandes, 1996; Mansor, 1998; Valentim, 1999), porém com baixa taxa de nitrificação. É muito utilizado no tratamento de efluentes de pequenas comunidades, tanto nos Estados Unidos, Austrália e África do Sul (cascalho como meio suporte) quanto na Europa (tecnologia solo-base) (**Figura 3 (b)**);
- **Leitos cultivados de fluxo vertical (LCFV):** filtros de escoamento vertical intermitente preenchido com brita ou areia. O nível d’água permanece abaixo do meio suporte, impossibilitando seu contato com animais e pessoas. Os primeiros leitos de fluxo vertical surgiram na Europa nos anos de 1970 e eram conhecidos como “campos de infiltração” na

Holanda e sistema de Seidel na Alemanha, conhecido como o processo do Instituto Max Planck (**Figura 3 (c)**).

Os leitos cultivados podem ser utilizados nos tratamentos primário, secundário e terciário de águas residuárias de origem domiciliar, industrial e rural; no tratamento de águas subterrâneas e de águas para reuso; no manejo de lodo, de águas de escoamento superficial e contaminada com substâncias tóxicas; e na produção de biomassa. (Bavor et al., 1995; Kadlec, 1995).

As várzeas naturais são habitadas por diferentes tipos de plantas adaptadas para o crescimento na água e em solos saturados. Existem vários termos para definir estas plantas devido à ambigüidade nas definições e à complexidade de sua classificação, sendo os termos usuais: hidrófitas, macrófitas aquáticas, hidrófitas vasculares, plantas aquáticas e plantas aquáticas vasculares (Guntenspergen et al., 1988). De modo geral, o termo macrófitas é o utilizado para os sistemas de leitos cultivados por diversos pesquisadores no mundo todo (Valentim, 1999).



(Adaptado de U.S.E.P.A. (1988); Vymajal (1998), por Valentim (1999))

Figura 3. Leitos cultivados de fluxo (a) superficial, (b) subsuperficial e (c) vertical.

A **Figura 4** mostra uma ilustração do funcionamento de um leito cultivado, indicando a entrada e saída do esgoto passando pelo meio suporte onde são plantadas as macrófitas aquáticas.

A **Figura 5** mostra uma foto de um sistema de leitos cultivados de fluxo subsuperficial instalado no Campo Experimental da FEAGRI. Este sistema trata parte do esgoto gerado na Faculdade e tem alcançado remoções médias de DBO em torno de 90%, removendo também nitrogênio e fósforo em menor escala.

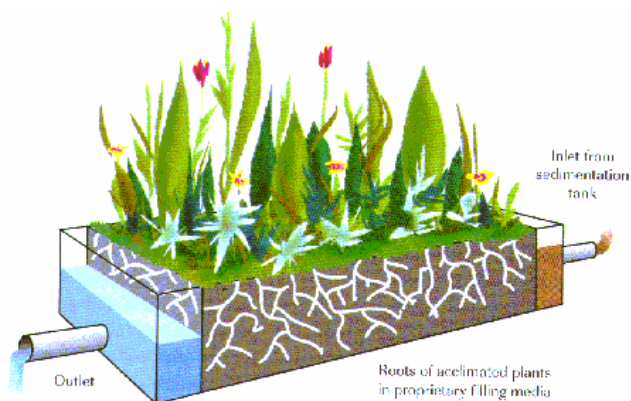


Figura 4. Ilustração do funcionamento de um leito cultivado.



Figura 5. Leito cultivado de fluxo subsuperficial instalado na FEAGRI/UNICAMP.

3.2 Pré-filtração e filtração lenta

A filtração lenta destaca-se por ser um sistema que não requer uso de coagulantes ou de outro produto químico, é de simples construção, operação e manutenção, não requer mão de obra qualificada para sua operação, produz águas com características menos corrosivas e apresenta

custos geralmente acessíveis a pequenas comunidades, principalmente de países em desenvolvimento (Azevedo Netto & Hespanhol, 1979), além de ser um dos processos de tratamento de águas de abastecimento que produz menos quantidade de lodo.

Pesquisas desenvolvidas na Escola de Engenharia de São Carlos – USP, por Di Bernardo e colaboradores (1989), (1990a), (1990b) e (1991), apontam a filtração lenta como um sistema de tratamento econômico e eficiente e portanto bastante adequado às condições brasileiras.

Um problema encontrado na filtração lenta é a variação da qualidade da água bruta resultando na queda da eficiência dos filtros lentos. Assim, faz-se necessário o pré-tratamento da água bruta. Na filtração em múltiplas etapas (FIME) ocorre a remoção progressiva das substâncias sólidas. As etapas de tratamento da FIME são constituídas pela: pré-filtração dinâmica, pré-filtração e a filtração lenta (Di Bernardo, 1999), conforme esquema da **Figura 6**.

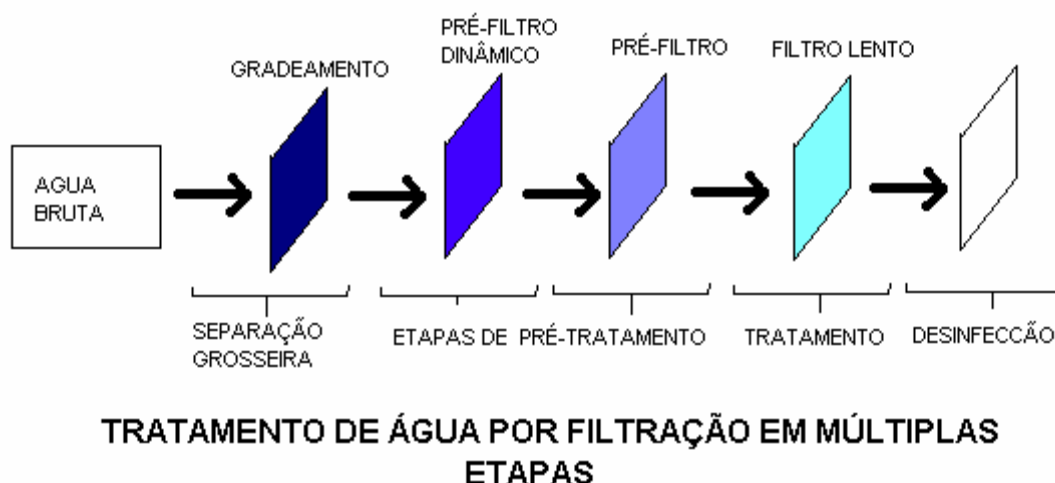


Figura 6. Esquema da filtração em múltiplas etapas.

O pré-filtro dinâmico consiste de uma unidade com meio granular de composição granulométrica crescente de forma que o material mais fino localiza-se no topo da unidade. A função dos pré-filtros dinâmicos é a remoção de materiais mais grosseiros, suportando picos de sólidos em suspensão (Di Bernardo, 1999).

Os pré-filtros de pedregulho com escoamento vertical podem ser de fluxo descendente ou ascendente. No pré-filtro ascendente podem ser encontradas duas configurações, a em camadas e em série, ao passo que no descendente ocorrem apenas unidades em séries. Na pré-filtração em

camadas o processo ocorre em uma única unidade, onde o material filtrante é composto de subcamadas de pedregulho decrescente no sentido do escoamento.

O principal fator limitante da filtração lenta é a limpeza dos filtros após o funcionamento, normalmente realizada através da raspagem da camada superior de areia (aproximadamente 5cm), lavagem e reposição. Paterniani (1991), realizou intensos estudos propondo a utilização de mantas sintéticas não tecidas no topo do leito de areia, como forma de facilitar a limpeza dos filtros lentos

As mantas sintéticas não tecidas são geralmente fabricadas com fibras de polipropileno, poliamida e poliéster, possuem alta porosidade (cerca de 80% a 90%, contra 45% de areia), o que proporciona pequena perda de carga, aumentando-se, conseqüentemente, a duração da carreira de filtração, além de possuir maior volume de vazios para armazenamento das impurezas retidas.

Segundo Di Bernardo et al. (1999), o uso de baixas taxas de filtração levam a um maior tempo de retenção da água sobre o meio filtrante e no seu interior, o que favorece uma intensa atividade biológica no filtro lento atribuindo ao mesmo uma grande vantagem: a elevada eficiência na remoção de bactérias, vírus e cistos de *Giardia*.

Timms et al. (1995) realizaram experiências em instalações piloto visando estabelecer a eficácia da filtração lenta na remoção de oocistos de *Cryptosporidium*. Essas experiências foram motivadas pelo fato dos oocistos desse protozoário serem resistentes à desinfecção pelo cloro. Para taxas de filtração variando de 7,2 a 9,6 m/dia, e uma concentração de 4000 oocistos/ L na água afluenta ao filtro lento, os autores observaram eficiência de remoção superiores a 99,997%, o que comprova a elevada eficiência da filtração lenta na remoção de microrganismos. Os autores observaram também, que todos os cistos ficaram retidos nos 2,5 cm iniciais do meio filtrante.

A areia grossa de construção passada pela peneira de 1,0 mm, apresenta, segundo Paterniani et al. (1998) características semelhantes à da areia recomendada para a filtração lenta. Além disso, essa areia possui um coeficiente de desuniformidade igual a 2,4, que atribui vantagem à filtração lenta uma vez que proporciona pouca penetração de impurezas no leito filtrante.

Esses valores estão muito próximos àqueles recomendados por Di Bernardo & Escobar (1996), citados por Di Bernardo (1999) o que reforça a viabilidade de se empregar areia de construção como meio filtrante e a possibilidade de se obter boa qualidade do efluente filtrado, principalmente com o uso de mantas não tecidas no topo da camada de areia, proporcionando, assim, um sistema de tratamento de água eficiente e a um custo mais baixo.

A **Figura 7** mostra um sistema de tratamento de água composto por Pré-filtro de pedregulho de fluxo ascendente seguido de um filtro lento com areia e manta não tecida, construído no Campus da Faculdade de Agronomia do CREUPI, em parceria com a FEAGRI/UNICAMP.



Figura 7. Sistema composto por pré-filtro e filtro lento instalado no Campus do CREUPI, Espírito Santo do Pinhal, SP.

3.3. Desinfecção por radiação solar - SODIS

A exposição ao calor e à radiação ultravioleta, proveniente da radiação solar, é estudada como processo de desinfecção desde a década de 70 no Líbano, sendo que nos últimos anos, vem sendo dado um enfoque de alternativa de baixo custo para desinfecção de água, uma vez que já está comprovada a capacidade de eliminação de patógenos (WEGELIN et al., 1994).

Os processos usuais de tratamento em escala doméstica são: fervura, que tem o custo da energia; cloração, dificultada pela necessidade de controle de dosagem e do tempo de contato e filtração em vela, que além de ter custo relativamente alto requer um afluente com qualidade adequada para não entupir o meio filtrante. O SODIS torna-se uma alternativa técnica e economicamente viável para o tratamento de água em pequenas quantidades, tendo como referência de custo US\$3,00 por ano para uma residência de 5 pessoas utilizando garrafas PET, e também não necessita dosagem de produtos químicos, conforme esquema da **Figura 8**. Essas características fazem com que o sistema tenha aceitação de 84% dos usuários de países em desenvolvimento, como Colômbia, Bolívia, Indonésia, Tailândia e China (Wegelin et al., 1994; Daniel et al., 2001; SODIS, 2003j, 2003k, 2003m).



Figura 8. Esquema do método de desinfecção por radiação solar.

Outro ponto importante é que não ocorre nenhuma alteração nas características químicas e organolépticas da água; sendo que os requisitos para remoção de *E. coli* da ordem de 10^3 é a escala de tratamento, turbidez da água deve ser inferior à 30 NTU, intensidade de radiação solar da ordem de 600 W/m^2 e tempo de exposição mínimo de 5 horas com 50% de insolação ou 2 dias consecutivos para 100% de nuvens. Isto faz com que a desinfecção por radiação solar seja apropriada para regiões tropicais. (Zapp et al., 1987; Wegelin et al., 1994; SODIS, 2003j, 2003g.)

3.4. Coagulação e Sedimentação Com Sementes De Moringa

Árvore nativa da África. Na América tropical, onde foi introduzida como planta ornamental, seu porte é de uma arvoreta com até 5 m de altura, de tronco delgado (até 10 cm), com folhas compostas, bipinadas, com sete folíolos pequenos em cada pina. As flores, brancacentas e com marcas lilacínias, são numerosas e cheirosas. Os frutos são longos, triquinados, contêm sementes globóides e trialadas. Pode ser cultivada a partir das sementes, que germinam facilmente.



Figura 9. Flor e sementes da Moringa Oleifera.

Entre os diferentes usos da semente de Moringa, mostrada na **Figura 9**, o mais promissor parece ser a função de coagulante primário. Pode-se imaginar duas zonas de difusão que significam estratégias diferentes: meio rural, ou seja, as comunidades rurais sem sistema de abastecimento d'água para o tratamento da água de consumo familiar nas comunidades rurais.

A proposta consiste em uma produção familiar de sementes visando suprir a demanda para o tratamento das águas destinadas a beber e cozinhar. O tratamento seria feito nos próprios potes utilizados para armazenar água: a dona de casa colocaria a água e a suspensão na véspera para o consumo do dia seguinte e com a abertura de registros colocados na base do recipiente o lodo gerado seria drenado e a água clarificada precisaria apenas ser fervida para o consumo.

Pesquisas mostraram que os cotilédones de 6 espécies do gênero Moringa contêm propriedades de coagulação, em substituição aos produtos químicos normalmente empregados (sais de alumínio ou ferro, por exemplo: sulfato de alumínio, cloreto férrico).

No meio rural, onde os moradores geralmente consomem a água bruta, a possibilidade de utilizar um coagulante primário natural, produzido no local e com baixo custo representa uma grande ferramenta na luta contra os problemas ligados ao consumo de água não potável.

A tentativa de isolar o produto coagulante presente nas sementes identificou 6 polipeptídios na *M. oleifera* e 9 na *M. stenopetala*, de peso molecular entre 6 e 16.000 daltons. Os aminoácidos

detectados foram majoritariamente o ácido glutâmico, a proline, a metionine, e a arginine (Jahn, 1988). Mas o mecanismo de coagulação pelos polipeptídios é ainda desconhecido.

O uso das sementes da Moringa como coagulante apresenta uma dupla vantagem:

1. efeito de tratamento físico (diminuição da turbidez) da água pela coagulação do material em suspensão.
2. efeito de tratamento biológico, eliminando os microorganismos patogênicos. Esta ação é devida a dois fatores: primeiro, uma grande parte dos microorganismos fisicamente ligados às partículas em suspensão na água ficam eliminados junto com o lodo retido. Além desta propriedade, uma pesquisa de Jahn (1981;1986) sobre duas espécies de Moringa (*M. stenopetala* e *M. oleifera*) mostrou que os cotilédones contêm uma substância antimicrobiana aumentando no tratamento biológico da água. Ainda segundo o autor, com a dosagem de semente adequada, é possível alcançar uma redução de 98% do número de coliformes fecais de águas brutas inicialmente com alta turbidez inferior a 10 NTU.

A água clarificada utilizando o coagulante natural extraído das sementes de Moringa tem sido objeto de pesquisa para verificar a sua eficiência e viabilidade para o tratamento de água visando sua potabilidade.

Apresenta-se a seguir um roteiro simplificado de como tratar a água com semente de moringa:

- Descasca-se uma ou duas sementes e amassa-se no pilão.
- Coloca-se essa semente pisada em 1/2 litro de água turva (barrenta) e mexe-se durante alguns minutos.
- Deixa-se a jarra com a água descansar.

Em poucos minutos já será possível observar a água clareando, e as impurezas sedimentando no fundo. Este teste já dará uma boa noção da dosagem de sementes que serão necessárias para cada litro de água. Em geral esta dose é de 1 a 3 sementes por litro.

Quanto mais turva estiver a água maior é a quantidade de sementes que serão necessárias. Para tratar a água em grandes quantidades recomenda-se preparar um extrato da semente, que por ter a cor branca é chamado de "leite da Moringa". Coloca-se então, a água que será tratada em um recipiente e adiciona-se a quantidade de "leite" de moringa necessário para tratar aquela água, de acordo com o teste anterior. Mexe-se com **força** durante aproximadamente um minuto, para misturar bem (mistura rápida - **coagulação**). Depois passa-se a mexer **lentamente** por mais 5

minutos (mistura lenta - **floculação**). A partir de então, o leite da Moringa começará a fazer efeito, proporcionando a **sedimentação** das impurezas floculadas que vão se acumulando no fundo do recipiente.

3.5. Tratamento de esgoto associado ao tratamento de água

A reutilização de águas residuárias, além de poder ser considerada como uma medida de controle da poluição, é também uma solução indicada, principalmente, para regiões onde há carência de água, por duas razões principais: garante o suprimento para outros fins, liberando os mananciais para o abastecimento humano e evita a disposição de esgotos em mananciais, os quais, muitas vezes, secam durante grande parte do ano. Mesmo tratados, os esgotos oferecem riscos ao ambiente. O reuso dos mesmos de forma controlada pode significar a proteção de recursos hídricos (Mota, 1997).

Na área urbana brasileira, onde seria esperada uma maior facilidade de recursos para o tratamento da água, encontram-se várias dificuldades. Na zona rural esta situação se agrava, pois a água gerada por atividades agrícolas ou esgotos domésticos é eliminada no ambiente, visto que muitas vezes não há condições financeiras ou informação suficiente para tratá-la. Esta água, além da possibilidade de contaminar o solo, não pode ser reutilizada.

O uso de leitos cultivados tem sido proposto como um método de tratamento de baixo custo para efluentes líquidos sanitários e eficiente para pequenas propriedades rurais (Newman et al., 2000) e por sua grande capacidade em reduzir a carga de resíduos sólidos e substâncias tóxicas (Gopal, 1999).

Uma proposta alternativa para viabilizar de forma econômica e prática o reuso da água em regiões rurais é a combinação de leitos cultivados com a filtração lenta, finalizando o tratamento com algum sistema alternativo de desinfecção, como por exemplo o SODIS, como esquematizada na **Figura 10**. Esta teria como função reduzir na água residuária os valores de cor, turbidez, coliformes, sólidos suspensos totais e clorofila a, mantendo valores adequados de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, Ferro, Manganês, Fósforo e Nitrogênio, bem como a melhoria da qualidade bacteriológica da água podendo ser reutilizada para fins mais nobres.

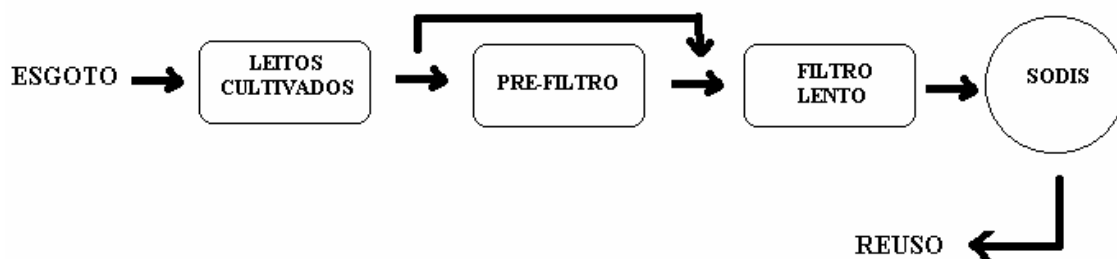


Figura 10. Esquema de um sistema de tratamento de águas para reúso em comunidades rurais.

Referências

- AZEVEDO NETTO, J. M.; HESPANHOL, I. Filtração lenta. In: AZEVEDO NETTO, J. M.; HESPANHOL, I. **Técnicas de abastecimento e tratamento de água**. 20. ed. São Paulo: CETESB, 1979. v. 2, cap. 23, p.869-882.
- BAVOR, H. J.; ROSER, D. J.; ADCOCK, P. W. Challenges for the development of advanced constructed wetlands technology. **Water Science and Technology**, v. 32, n. 3, p. 13-20, 1995.
- DANIEL, L. A.; BRANDÃO, C. C. S.; GUIMARÃES, J. R.; LIBÂNIO, M.; LUCA, S. J. **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. Rio de Janeiro: ABES/ PROSAB, 2001. 39 p.
- DI BERNARDO, L.; GRAHAM, N. J. D.; PATERNIANI, J. E. S. Caracterização de mantas sintéticas não tecidas utilizadas na filtração lenta de águas de abastecimento. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 23., 1990, San Juan, Puerto Rico. **Anais...** San Juan: AIDIS, 1990a. 13 p.
- DI BERNARDO, L.; GRAHAM, N. J. D.; PATERNIANI, J. E. S. Investigação experimental sobre desempenho de mantas sintéticas na filtração lenta de águas de abastecimento. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 23., 1990, San Juan, Puerto Rico. **Anais...** San Juan: AIDIS, 1990b. 18 p.
- DI BERNARDO, L. **Seminário sobre pré-filtração e filtração lenta de águas de abastecimento**. São Carlos, 1991. 167 p.
- DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 1993. 498 p.
- DI BERNARDO, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999.
- GOPAL, B. Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: Potentials and problems. **Water Science and Technology**, v. 40, n. 4, p. 9, 1999.

GUNTENSPERGEN, G. R.; STEARNS, F.; KADLEC, J. A. Wetland vegetation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTED WETLANDS FOR WASTEWATER TREATMENT, 1., 1988, Chattanooga. **Anais...** Chattanooga, 1988. v. 1, p. 73-88.

HESPANHOL, I. **Investigação sobre o comportamento e aplicabilidade de filtros lentos do Brasil**. 1969. 163 p. Tese (Doutorado em Higiene e Saúde Pública) - Faculdade de Higiene e Saúde Pública – USP, São Paulo.

JAHN, S.A.A. Using *Moringa* seeds as coagulant in developing countries. **Journal of the American Water Works Association**, v. 6, p. 43-50, 1988.

KADLEC, R. H. Overview: surface flow constructed wetlands. **Water Science and Technology**, v. 32, n. 3, p. 1-12, 1995.

MANSOR, M. T. C. **Uso de leitos de macrófitas no tratamento de águas residuárias**. 1998. 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Campinas.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

NEWMAN, J.M.; CLAUSEN, J.C.; NEAFSEY, J.A. Seasonal performance of a wetland constructed to process dairy milkhouse wastewater in Connecticut. **Ecological Engineering**, v. 14, n. 74, p. 18, 2000.

PATERNIANI, J. E. S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento**. 1991. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos.

PATERNIANI, J. E. S.; ROSTON, D. M. Redução da espessura da camada suporte na filtração lenta com mantas não tecidas. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 26., 1998, Lima, Peru. **Anais...** Lima: AIDIS, 1998. CD ROM. Paper no. BRA-APA-158.

ROSTON, D. M. Uso de várzeas artificiais para tratamento de efluente de tanque séptico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 1994. Trabalho nº 94-7-210.

SODIS. Documento eletrônico. Disponível: <http://www.sodis.ch> Acesso em: 17 out. 2001.

SOUZA, L. E. L.; BERNARDES, R. S. Avaliação do desempenho de um RAFA no tratamento de esgotos domésticos, com pós-tratamento através de leitos cultivados. In: SIMPÓSIO ITALO-BRASILIANO DE INGENIERÍA SANITARIA-AMBIENTALE, 1996, Gramado. **Anais...** Gramado, 1996. v. 1.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG/Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996a. v. 1, 243 p.

SPERLING, M.V. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: UFMG/ Depto. de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996b. v. 2, 212 p.

TIMM, S.; SLADE, J. S.; FRICKER, C. R. Removal of *Cryptosporidium* by slow sand filtration. **Water Science and Technology**, v. 31, n. 5-6, p. 81-84, 1995.

U.S.E.P.A. **Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment.** Cincinnati, 1988. 83 p. (EPA/625/1-88/022).

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** 1999. Dissertação (Mestrado) - FEAGRI – Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Campinas.

VYMAJAL, J. Types of constructed wetlands for wastewater treatment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 6., 1998, Águas de São Pedro. **Anais...** Águas de São Pedro, 1998.

WEGELIN, M.; CANONICA, S.; MECHSNER, K.; FLEISHMANN, T.; PESARO, F.; METZLER, A. Solar water disinfection: scope on process and analysis of radiation experiments. **Aqua**, v. 43, n. 3, p. 154-169, 1994.

WOOD, R. B.; McATAMNEY, C. F. Constructed wetlands for wastewater treatment: The use of laterite in the bed medium in phosphorus and heavy metal removal. **Hidrobiologia**, v. 340, p. 323-331, 1996.

ZAPP, J.; SANTACRUZ, J.; MONCAYO, J. I.; MONTES, M.L.; HERNANDEZ, N. **Solar water purification in coffee growers climate.** Tokyo: United Nations University, 1987.

PROCEDIMENTOS PARA PEDIDOS DE OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

PEDRO CUNHA

EDER JOÃO POZZEBON

ANTONIO CABRAL CAVALCANTI

LUCIANO MENESES CARDOSO DA SILVA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

SPO – Área 5 – Quadra 3 – Bloco L – 70.610-200 – Brasília – DF

{cunha, eder, acabral, lmeneses@ana.gov.br}

Resumo. Este trabalho objetiva trazer alguns subsídios às análises de pedidos de outorga de direito de uso da água para fins de irrigação, utilizando estimativas de demanda hídrica para irrigação. Aspectos da legislação são discutidos assim como a Lei n.º 9.433/97, que institui Política Nacional dos Recursos Hídricos, apresenta, entre outros instrumentos, a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos. Foram feitas, por meio de metodologia específica utilizada em planejamento preliminar de projetos de irrigação, bem como analisada a sua repercussão nos critérios utilizados nas análises de pleitos de outorga. Ao final, é feita uma discussão e propostas do uso de critérios de outorga para estimular o uso eficiente dos recursos hídricos, considerando a eficiência do uso da água na irrigação e cita alguns aspectos importantes que podem alterar as rotinas dessas análises.

Palavras-chave: outorga, irrigação, critérios de outorga, demanda hídrica.

1. Introdução

Dentre os usos múltiplos da água, a agricultura irrigada se constitui no maior usuário, com cerca de 70 (± 20)%. Segundos dados da FAO, no Brasil 63% dos usos são para irrigação, 18 % para abastecimento humano, 14 para uso animal e 5% para uso industrial. A irrigação, além de consumir grandes volumes de água, apresenta o tipo de uso preponderantemente consuntivo, ou seja, não retorna para os mananciais, na maior parte. Do grande potencial para irrigação Brasil, da ordem de 30 milhões de hectares, apenas 10% é atualmente irrigado.

Os irrigantes, em grande parte, não fazem o controle adequado da água aplicada nas irrigações, existindo sempre a tendência de excederem as necessidades das culturas e as condições estruturais dos solos. De forma equivocada, muitas vezes, promovem danos, com

conseqüências negativas para a produção e para degradação do meio ambiente, tais como: desperdício de energia, perda de água por lixiviação, estagnação e acúmulo em solos com restrições de drenagem, riscos de salinização, perda de nutrientes, fragilização das plantas ao ataque de pragas e doenças, e restrições de pós-colheita. Evidentemente, faz-se necessário o emprego de tecnologias e manejos adequados que conduzam à otimização do processo produtivo, a partir da racionalização da irrigação, que deve estar fundamentada, a priori, nas condições ambientais de solo e clima, nas necessidades hídricas das culturas e nos equipamentos de irrigação.

Estudos do PIMES-UFPE, citados pela CODEVASF (2002) indicam que cada hectare irrigado no semi-árido brasileiro proporciona a geração de 0,7 a 5 empregos, conforme a cultura. Esses dados demonstram que a agricultura irrigada possibilita a geração de empregos de forma mais barata do que outros setores da economia. Um ponto a ser destacado é que a agricultura irrigada permite a obtenção de altas produtividades, o que, especialmente em culturas de alto valor econômico, possibilita a concentração da produção sem a ocupação de bacias inteiras, permitindo a sustentabilidade econômica e ambiental de pequenos agricultores. O contrário se verifica na agricultura extensiva de baixo nível tecnológico, que pode, inclusive, ocasionar efeitos muito mais negativos para o meio ambiente, pela grande transformação que proporciona nas bacias.

O Brasil é um dos países em que a agricultura irrigada é proporcionalmente menos utilizada, já que, dos mais 220 milhões de hectares ocupados pela agricultura e pecuária, apenas algo em torno de 1,4%, ou seja, 3 milhões de hectares, são irrigados, o que representa um potencial muito grande de crescimento para os próximos anos. Esse avanço da agricultura irrigada, com certeza, poderá condicionar uma pressão significativa sobre os recursos hídricos, requerendo os devidos cuidados na gestão da água.

1.2. Legislação e questões relativas aos pedidos de outorga

Para que a irrigação cumpra os seus objetivos é fundamental que ela seja feita de forma a respeitar a legislação ambiental, de modo que os recursos naturais possam ser bem utilizados e que a sua disponibilidade esteja garantida para as futuras gerações. Esse é um preceito básico da legislação do Brasil, a qual, também, considera a água como um bem de domínio público, cabendo ao Estado estabelecer a sua alocação entre os diversos setores usuários de modo a

garantir um uso equilibrado, sem conflitos e com um mínimo de impactos ambientais. Nesse sentido, a Lei n.º 9.433/97, que institui Política Nacional dos Recursos Hídricos, apresenta, entre outros instrumentos, a Outorga de Direito de Uso dos Recursos Hídricos. Além disso, procurando minimizar os impactos ambientais da irrigação o CONAMA aprovou, em 2001, a Resolução n.º 284 que dispõe sobre as normas de licenciamento ambiental de empreendimentos de irrigação.

A **Lei n.º 9.433/97 (“Lei das Águas”)** estabeleceu como um de seus instrumentos (Art. 5º, III) a Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos, a qual constitui o elemento central de controle dos recursos hídricos e indutor do ordenamento dos usos. A seguir, estão apresentadas algumas observações sobre diversos artigos que detalham o instrumento outorga da mencionada Lei.

O Art. 11 estabelece que o regime de outorga tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. Para que isso seja possível, é fundamental o conhecimento dos impactos quali-quantitativos de cada usuário e, principalmente, a sistematização da avaliação cumulativa desses impactos sobre o corpo de água. Além disso, o “efetivo exercício dos direitos de acesso à água” reporta ao Art. 1º, IV, dos fundamentos, o qual determina que “a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas” e ao parágrafo único do Art. 13 que estabelece, praticamente, a mesma coisa. Ou seja, implantar um regime de outorgas que favoreça uma única finalidade é descumprir triplamente a lei.

O Art. 12, §1º, estabelece que algumas formas de uso da água podem ser consideradas insignificantes, tirando, com isso, a obrigatoriedade da outorga, mas não a responsabilidade de computá-las e quantificá-las nos balanços quali-quantitativos, pois um conjunto de usos insignificantes pode tornar-se significativo.

Como estabelecer o limite entre vazão insignificante e vazão outorgável? O Comitê da bacia do rio Paraíba do Sul, por exemplo, deliberou, em 2002, o limite mínimo de 1,0 L/s como vazão outorgável, ou seja, vazões inferiores a esse valor seriam consideradas insignificantes, portanto, dispensadas de outorga. Uma vez que os usos considerados insignificantes são dispensados da outorga, isso também os dispensa da cobrança pelo uso dos recursos hídricos. A leitura do Art 20 da Lei 9.433/97 permite essa conclusão: “Art. 20. Serão cobrados os usos de recursos hídricos sujeitos à outorga...”. Aliás, essa leitura permite, ainda, a seguinte interpretação: o uso não

precisa estar outorgado para que esteja habilitado a pagar pela água. Basta que esse uso seja sujeito à outorga.

O Art. 13 estabelece que “Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e respeitar a Classe em que o corpo hídrico estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso”.

Este artigo dispõe, claramente, que as condições preexistentes que possibilitam o transporte aquaviário devem ser preservadas, mesmo após a implantação de interferências no corpo de água, tais como barragens e travessias.

A navegação é um uso da água que exige manutenção de níveis mínimos de água para o calado das embarcações, o que implica restrição aos usos consuntivos localizados a montante dos trechos navegáveis. Portanto, trata-se de um uso da água como outro qualquer e que também poderá ser objeto de outorga.

A Resolução de Outorga (CNRH), aprovada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos em maio de 2001 a Resolução n.º 16, de caráter nacional, regulamentando a Lei n.º 9.433/97 no que diz respeito à outorga.

Há avanços importantes nessa Resolução, os quais procuram tornar o processo mais transparente e ágil. Nesse sentido, seguem observações sobre os artigos considerados mais relevantes para o presente texto.

O Art. 10 estabelece que “A autoridade outorgante deverá assegurar ao público o acesso aos critérios que orientaram as tomadas de decisão referentes à outorga”. De certa forma, essa norma traz mais credibilidade ao processo, uma vez que os usuários poderão ter conhecimento das regras de alocação de água na bacia e, eventualmente, poder questioná-las e apontar sugestões. Talvez a dificuldade esteja em utilizar uma linguagem acessível ao público para expor esses critérios, principalmente aqueles ligados à qualidade de água e ao lançamento de efluentes.

O Art. 29 estabelece que “A autoridade outorgante poderá delegar às Agências de Água o exercício das seguintes atividades relacionadas à outorga de uso dos recursos hídricos situados em suas respectivas áreas de atuação: I - recepção dos requerimentos de outorga; II - análise técnica dos pedidos de outorga; III - emissão de parecer sobre os pedidos de outorga”.

Esse procedimento poderá facilitar sobremaneira o trabalho do órgão gestor de recursos hídricos em algumas bacias. Em tese, as Agências de Água serão detentoras de um grande

conhecimento sobre os recursos hídricos. Esse conhecimento é fundamental na análise e definição técnica dos pleitos de outorga, cabendo ao Poder Público, contudo, a definição política e a emissão da outorga em diário oficial (Cardoso da Silva & Monteiro, 2003).

A **Resolução CONAMA n° 284/2001** define normas específicas para o licenciamento ambiental em projetos de irrigação, os empreendimentos de irrigação são classificados em categorias, de acordo com a dimensão efetiva da área irrigada, por propriedade individual, e o método de irrigação empregado. Conforme a resolução os empreendimentos de irrigação, classe A, B ou C atribuídas ao empreendimento de acordo com a área irrigada e o método de irrigação. Os empreendimentos deverão ser licenciados pelo órgão ambiental competente, os empreendimentos da classe A poderão ter seu licenciamento simplificado, e para os da classe B e C são exigidos documentações e informações técnicas diferenciadas, para a Licença de Previa – LP, Licença de Instalação - LI, e Licença de Instalação – LO, dentre estas documentações a outorga.

A ANA participa do grupo que estuda as interações entre os órgãos de recursos hídricos e os órgãos ambientais, com o objetivo de regulamentar os procedimentos entre os pedidos de outorga dos recursos hídricos e o licenciamento ambiental.

A **Lei n.º 9.984/2000** dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, regulamenta alguns pontos em relação à outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União. Seguem alguns destaques dessa Lei.

O art. 6º estabelece que “A ANA poderá emitir outorgas preventivas de uso de recursos hídricos, com a finalidade de declarar a disponibilidade de água para os usos requeridos, observado o disposto no art. 13 da Lei n.º 9.433, de 1997”. O §1º desse artigo complementa: “A outorga preventiva não confere direito de uso de recursos hídricos e se destina a reservar a vazão passível de outorga, possibilitando, aos investidores, o planejamento de empreendimentos que necessitem desses recursos”.

Trata-se de um desdobramento da Outorga estabelecida na Lei n.º 9.433/97 que, associado ao art. 7º da Resolução CNRH n° 16/01, que regulamenta nacionalmente a outorga, permite estender esse novo conceito a todos os corpos de água do país. A intenção desse artigo é proporcionar aos empreendedores garantias de que seu empreendimento poderá ter água à época em que estiver implantado. Os projetos da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco –

CODEVASF, por exemplo, levam anos e até décadas para serem implantados. A inexistência de um instrumento como esse pode implicar prejuízos e conflitos pelo uso da água.

2. Estudos para definição das necessidades hídricas de irrigação

2.1. Precipitação efetiva

O termo precipitação efetiva tem diferentes interpretações, conforme as especialidades. Para os hidrólogos, a precipitação efetiva, também chamada de excesso de precipitação, é a parte da precipitação que eventualmente contribui para a vazão dos cursos de água.

Em agricultura, a precipitação efetiva é definida como a parte da precipitação que fica armazenada no solo até a profundidade das raízes e que efetivamente contribui para a produção das culturas. É a diferença entre a precipitação total e as diferentes perdas: por escoamento superficial, percolação além da zona radicular, interceptação pela vegetação, por evaporação.

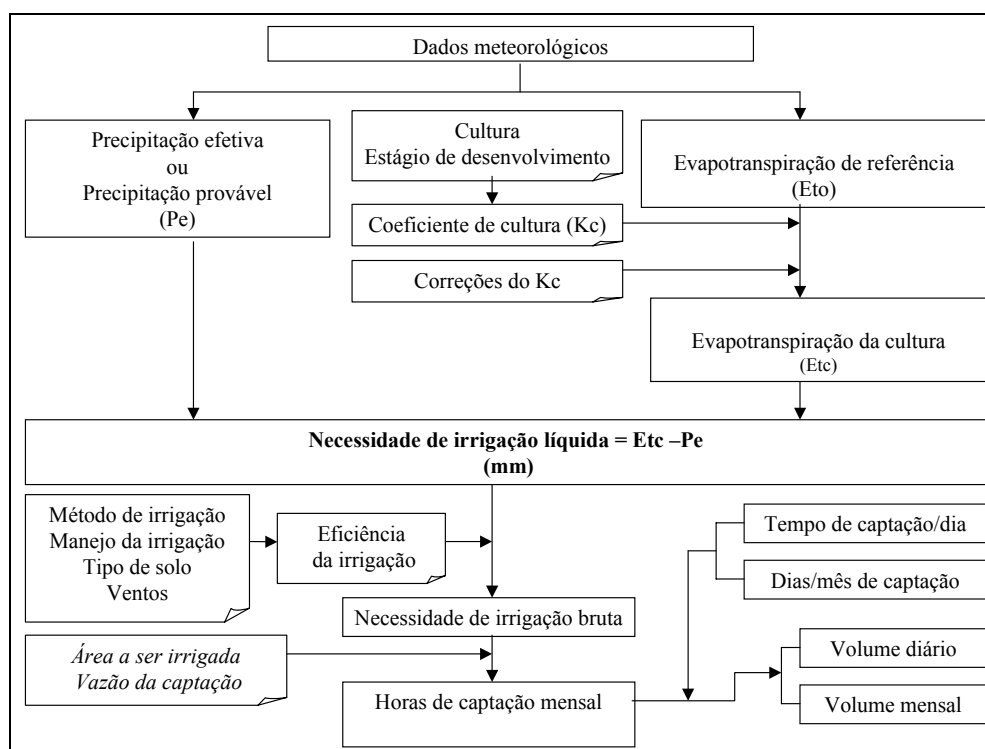


Figura 1. Fluxograma para a determinação das necessidades para irrigação.

A precipitação efetiva é um parâmetro básico de determinação variável; sendo influenciada principalmente pela intensidade da chuva, declividade do terreno, tipo de solo e seu teor de

umidade, pela cultura e pelo sistema de irrigação. Chuvas intensas e duradouras, com o passar das horas, podem ser desperdiçadas por percolação profunda, por escoamento superficial, por estagnação, além de poder causar degradação do solo. Assim, para uma cultura que tenha toda superfície exposta à captação de água, as chuvas sem muita intensidade têm um ótimo aproveitamento, e a precipitação efetiva corresponde, praticamente, a 100% da precipitação natural. É o caso da água fornecida pelo sistema de irrigação por aspersão. Por outro lado, num sistema de irrigação localizado, essa mesma precipitação natural passa a ter um aproveitamento bem menor, da ordem de 60%, pois boa parte cai fora da área de interesse de captação.

Empregam-se diferentes critérios para a estimativa da precipitação efetiva, às vezes utilizando-se 60% (na Índia) ou 75% da precipitação média. Em alguns países considera-se a chuva efetiva como uma média, porém sem levar em consideração as precipitações inferiores a 5 mm, superiores a 75 mm/dia e 125 mm num período de 10 dias.

Alguns métodos clássicos foram desenvolvidos para determinar a precipitação efetiva, dentre os quais: Blaney e Criddle, Método do U.S. Soil Conservation Service, Método do Balanço de Água do Solo, e do Lisímetro.

2.2. Precipitação provável ou dependente

A precipitação provável é a precipitação que apresenta uma probabilidade específica de ocorrência e para a sua determinação são necessárias séries históricas. Na agricultura dependente de chuva (lavoura de sequeiro), no caso de irrigação suplementar ou nos estudos de drenagem, o conhecimento da precipitação provável é de fundamental importância para um aproveitamento eficiente da água ou para as condições de descarga. Os riscos de perdas ou quebra de safra pela falta de chuva e o valor econômico da produção podem ser determinantes na escolha da probabilidade da precipitação provável.

Existem vários métodos para a determinação da precipitação provável, entre outros, a distribuição gama, o método de Kimball, método de Gumbell, Cadeia de Markov, papel de probabilidade log-normal, descrito em Bernardo (1995).

2.3. Evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (Eto) é a água que é evaporada do solo e transpirada pelas plantas em uma superfície coberta por vegetação específica rasteira, uniformemente distribuída, em fase de crescimento ativo, em solo com perfeita condutibilidade hídrica e mantido sempre com umidade próxima à capacidade de campo.

A Eto expressa a demanda evaporativa da atmosfera de um local específico, numa época do ano e não considera as características da cultura e fatores do solo, sendo função do clima.

Entre os métodos para estimativa da Eto destaca-se o de Penman/Montheit, que é recomendado pela FAO, por ser o que apresenta os melhores resultados e tem embasamento físico. A desvantagem do método é a necessidade de dados climáticos que, muitas vezes, não são disponíveis nas estações meteorológicas do local. Outros métodos que podem ser usados são o de Blaney-Criddle, de Hargreaves, da radiação ou do tanque de evaporação.

2.4. Evapotranspiração da Cultura (Etc)

A partir da evapotranspiração de referência (ETo), será possível estimar a evapotranspiração da cultura a ser irrigada, por meio dos coeficientes de cultivo (Kc).

$$\text{Etc} = \text{Eto} \times \text{Kc}$$

A Etc considera a cultura sob condição padrão, ou seja, é a evapotranspiração de uma cultura livre de pragas, doenças e plantas daninhas, bem fertilizada, que se desenvolve numa área ampla, com ótimo suprimento hídrico de água no solo e que alcança plena produção sob determinadas condições climáticas (Albuquerque 2001, 2002). Entretanto, quando a cultura é conduzida no campo pode ser que a evapotranspiração real seja diferente, já que ocorrem desvios da condição ótima, tais como pragas, doenças, salinidade do solo, baixa fertilidade, déficit ou excesso hídrico, que resultam em mau crescimento e baixa densidade das plantas. Assim, na tentativa de ajustar esses desvios em relação à condição padrão, podem ser usados outros coeficientes.

2.5. Coeficiente de cultura (Kc)

O coeficiente de cultura (Kc) é um fator adimensional que estabelece a relação entre a evapotranspiração de referência e a evapotranspiração real. É um valor encontrado na literatura para as diferentes culturas, onde através de experimentos é determinada a razão entre a evapotranspiração da cultura e evapotranspiração de referência.

$$K_c = E_{tc}/E_{to}$$

O valor do k_c é pouco dependente do tipo de solo e da umidade do solo, sendo mais dependente das características da espécie, como área foliar, estágio fisiológico, sistema radicular, sendo determinado para diferentes estágios de desenvolvimento de cada cultura.

Conforme método proposto pela FAO (Doorembos & Pruitt, 1976, Doorembos & Kassan, 1979) e Allen et al. (1998), o k_c é determinado para quatro estágios de desenvolvimento, conforme ilustrado na **Figura 2**.

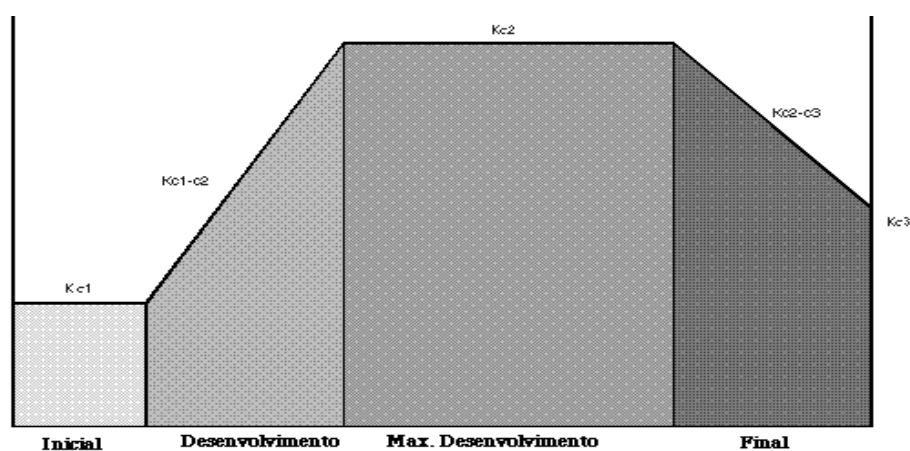


Figura 2. Estágios de desenvolvimento em que o k_c é determinado para a maior parte das culturas.

2.6. Coeficiente de molhamento da superfície do solo (K_s)

O coeficiente de molhamento (K_s) expressa a relação entre a área molhada pela irrigação e a área do solo ocupada pela cultura. Embora não se tenha uma regra fixa para os valores de K_s , que dependerão de características da irrigação, são considerados igual a 1 para os sistemas que apresentarem 100 % de área molhada (aspersão convencional, pivot-central, etc) e menor que 1 para os sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão).

2.7. Necessidade de Irrigação Líquida (LIL)

É a relação da diferença entre a evapotranspiração da cultura e a precipitação efetiva (P_e) ou a precipitação provável (dependente), dado em mm/mês.

$$LIL = (E_{Tc} - P_e)$$

2.8. Necessidade de Irrigação Bruta (LIB)

É a relação entre a necessidade irrigação líquida, em mm/mês, e a eficiência do sistema de irrigação, adotada em valor unitário (0,85, por exemplo).

$$LIB = NIL / \text{Eficiência do Sistema (mm/mês)}$$

2.9. Eficiência da irrigação

Representa o quanto foi realmente irrigado pelo sistema. Uma distribuição desuniforme da água normalmente produz perdas por drenagem num ponto e armazenamento insuficiente em outros. Estas perdas dependem da uniformidade de distribuição das lâminas que cada método de irrigação pode gerar.

Ao mesmo tempo em que são importantes, as avaliações da eficiência são difíceis de serem feitas. Na literatura encontram-se tabelas com recomendações que podem ser consideradas satisfatórias para bons projetos de irrigação, como exemplos, a **Tabela 1**.

Tabela 1. Eficiência média de irrigação em função do método de irrigação e de condicionantes.

Método	Condicionante	Eficiência* (%)
Sulcos de infiltração	Sulcos longos e/ou solos arenosos	50
	Solo e comprimento adequados	65
Inundação (tabuleiros)	Solo arenoso - lençol profundo	40
	Solo argiloso - lençol raso	60
Aspersão convencional	Ventos fortes	60
	Com ventos leves ou sem	75
Autopropelido / montagem direta	Ventos fortes	60
	Com ventos leves ou sem	75
Pivô central	Vento forte / condições razoáveis	75
	Em ótimas condições	90
Microaspersão	Condições razoáveis	75
	Em ótimas condições	90
Gotejamento	Condições razoáveis	85
	Em ótimas condições	95
Tubos perfurados	Perfuração manual	65
	Em ótimas condições	80

* Não estão consideradas as perdas de água em canais e nas estações de bombeamento. Fonte: Engecorps (1998)

3. Aplicação dos estudos da demanda de água: exemplo

Na **Tabela 2** está apresentado um exemplo da aplicação dos estudos das necessidades hídricas da cultura e da água necessária para irrigação. Uma planilha eletrônica Excel para realização destes cálculos é anexada este trabalho.

Tabela 2. Aplicação dos dados meteorológicos e da determinação da lâmina bruta e do volume de água para irrigação.

Sistema/Método		Aspersão						
Cultura(s)		milho/feijão						
Eficiência da irrigação (%)		85,0						
Área (ha)		15,0						
Mês	PE	Etr	Kc	Ks	Etc	LIL	LIB	Vol
	(mm)		(adimensional)		(mm)			m ³
Jan	110,0	130,2	1,3	1	169,3	59,3	69,7	10.457,6
Fev	95,0	128,8	0,5	1	64,4			
Mar	85,0	133,3						
Abr	35,5	114,0	0,5	1	57,0	21,5	25,3	3.794,1
Mai	9,2	108,5	0,8	1	86,8	77,6	91,3	13.694,1
Jun	3,0	93,0	0,9	1	83,7	80,7	94,9	14.241,2
Jul	2,0	105,4	0,5	1	52,7	50,7	59,6	8.947,1
Ago	5,4	133,3						
Set	25,3	150,0						
Out	54,9	145,7						
Nov	85,0	120,0						
Dez	103,0	117,8	1,2	1	141,4	38,4	45,1	6.769,4

4. Planejamento da vazão e da sazonalidade de irrigação

4.1. Determinação da vazão de captação. Escolha do sistema de bombeamento

A vazão de captação ou vazão instantânea é determinada com a transformação da Necessidade de Irrigação Bruta, expressa em lâmina (mm/mês), para volume em m³/mês, para a área a ser

irrigada, a partir do ponto de captação. Nesse ponto, considerando-se as necessidades do sistema de irrigação e de dados essenciais para seleção da(s) bomba(s) como vazão de projeto e altura manométrica, é feita a escolha da(s) bomba(s) a partir das diversas opções de marcas e modelos disponíveis no mercado. A determinação da vazão deve ser aquela correspondente ao ponto de trabalho do sistema, considerando a curva da bomba e da tubulação. Na seleção das bombas também devem ser considerados dados complementares como altura de sucção, altura de recalque e NPSH disponível. A vazão de captação é dada em m^3/h .

4.2. Determinação da sazonalidade da irrigação: tempo (h/dia) e período (dias/mês)

Com a vazão de bombeamento e os cálculos de necessidades hídricas, é possível a determinação do número de horas por mês de captação. Com este dado e com a determinação do número de dias por mês em que é feita a captação, obedecendo as características do projeto, é possível a determinação do número de horas por dia de captação para atender a demanda para irrigação, ou vice-versa.

Para facilitar esses cálculos recomenda-se a utilização da planilha eletrônica, que se encontra anexo a este CD. Com a determinação da vazão de captação, através da escolha da(s) bomba(s), é estimado o número de horas que deve ser feita a captação. A seguir, com a determinação do número de horas por dia e do número de dias por mês de captação estimam-se os volumes diários e mensais captados, ficando caracterizada a sazonalidade da captação.

O Anexo III, que constitui o documento de registro do procedimento de irrigação e do volume aplicado, é preenchido tomando por base os estudos referenciados na planilha eletrônica. No caso de irrigação, os valores preenchidos na tabela do Anexo III, deverão coincidir com os valores da Planilha de Irrigação.

4.3. Vazão de captação por hectare irrigado (L/s/ha) – “Vazão instantânea unitária”

A vazão de captação por hectare irrigado (L/s/ha) é dependente de vários fatores, entre outros, do sistema e do manejo da irrigação, da existência de reservatório pulmão que influenciam, conseqüentemente, a vazão da bomba a ser usada no projeto. A vazão de captação por hectare irrigado (Q_{cap}) é calculada levando-se em consideração a vazão de bombeamento (Q), conforme a equação, onde A representa a área irrigada:

$$Q_{\text{cap}} \left(\frac{\text{L}}{\text{seg. ha}} \right) = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \cdot 1000 \left(\frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right)}{3600 \frac{\text{seg}}{\text{h}} \cdot A(\text{ha})}$$

4.4. Vazão contínua por hectare

A vazão contínua por hectare (L/s/ha) representa uma vazão fictícia, sendo também denominada de vazão distribuída. A vazão contínua representa a necessidade de irrigação, caso esta fosse realizada continuamente ao longo do tempo (todas as horas do dia todos os dias do mês). O seu cálculo é feito a partir do estudo de demanda hídrica para irrigação, sendo a vazão contínua mensal (Q_{cont}) calculada supondo-se uma captação contínua sem interrupções durante o mês inteiro, conforme a equação, onde V é o volume máximo mensal de captação:

$$Q_{\text{cont}} \frac{\text{L}}{\text{seg. ha}} = \frac{V \left(\frac{\text{m}^3}{\text{mês}} \right) \cdot 1000 \left(\frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right)}{30 \frac{\text{dias}}{\text{mês}} \cdot 24 \frac{\text{horas}}{\text{dia}} \cdot 3600 \frac{\text{seg}}{\text{hora}} \cdot A(\text{ha})}$$

4.5. Indicadores ou balizadores de demandas para irrigação (L/s/ha)

Estudos e observações quanto ao uso da água para irrigação permitem estabelecer algumas faixas de valores para as demandas de água conforme os diferentes métodos de irrigação (**Tabela 3**). Estas faixas podem ser usadas como balizadoras da adequabilidade das demandas requeridas. Entretanto, estas faixas de necessidades não levam em consideração a ocorrência de precipitação, mas as demandas em si. Portanto, em regiões onde a irrigação é complementar, são esperados valores menores.

Tabela 3. Vazão contínua por método de irrigação (L/s/ha).

Método	Vazão contínua (L/s/ha)
Inundação	2,0 - 2,5
Sulcos	0,8 - 2,0
Aspersão	0,6 - 1,0
Localizada (microaspersão, gotejamento)	0,3 - 0,7

4.6. Outras demandas de água na agricultura irrigada

Além das necessidades das culturas, a água pode ser importante para outras atividades como a preparação do terreno, indução à germinação, pré-processamento e lavagem de produtos colhidos. No caso de problemas de salinização, o total das necessidades hídricas do processo deverá incluir a água necessária para a lixiviação de sais acumulados na rizosfera. Essa necessidade de lixiviação é uma lâmina que deve atravessar a zona radicular a fim de controlar a salinidade do solo, em relação à lâmina líquida da irrigação. Pode-se adotar a lixiviação antes durante ou após a o período vegetativo. A eficiência da lixiviação varia segundo o tipo de solo e depende particularmente da capacidade de drenagem interna do solo.

5. Procedimentos para solicitação da outorga

Para sistematizar a solicitação da outorga, é necessário detalhar o que está sendo solicitado pelo usuário em, basicamente, três grupos de informações. Cada grupo contém um conjunto de alternativas que contemplam diversas situações apresentadas a seguir.

Categoria de Outorga:

- Outorga de direito de uso de recursos hídricos – para os casos de novas outorgas;
- Alteração de outorga de direito de uso de recursos hídricos – altera as condições de uma outorga emitida;
- Renovação de outorga de direito de uso de recursos hídricos – para os casos de vencimento da outorga;
- Transferência/cessão de outorga de direito de uso de recursos hídricos – para os casos de transferência do empreendimento a terceiros, nas mesmas condições de utilização da água da outorga original.

Modalidade de Outorga:

- Derivação ou captação de água;
- Lançamento de efluentes;
- Obras hidráulicas – para os casos de construção de barragens, canalizações, diques, etc;
- Execução de serviços – para os casos de serviços de desassoreamento, derrocamento, limpeza de margens, etc;
- Travessia – para os casos de construção de pontes, dutos, túneis, etc. que cruzem o manancial;

- Outros.

Finalidade do Uso:

- Irrigação, Indústria, Aqüicultura, Criação de animais para fins comerciais, Saneamento, etc.

Nos formulários de solicitação de outorga esses itens são apresentados como opções a serem selecionadas pelo usuário. A solicitação de outorga é encaminhada para a ANA através de formulários específicos, explicitando além de dados gerais do usuário e do empreendimento, a necessidade de água para a sua atividade, como também do seu regime de variação.

Um fluxograma dos principais passos da análise dos processos usados na ANA está apresentado na **Figura 3**.

5.1. Formulários para os pedidos de derivação para irrigação

Para a finalidade de irrigação, deverão ser preenchidos seguintes formulários:

Anexo I - REQUERIMENTO (especificação da categoria, modalidade e finalidade);

Anexo II - DADOS CADASTRAIS (do requerente e empreendimento);

Anexo III - DERIVAÇÃO OU CAPTAÇÃO DE ÁGUA (para cada ponto de captação);

Anexo VI - FINALIDADE IRRIGAÇÃO (dados do empreendimento e do responsável técnico para cada ponto de captação);

Caso a captação do ponto também seja usado para outras finalidades:

Anexo XI - OUTROS USOS (especificação da porcentagem da vazão destinada a outros usos);

Outros formulários que poderão ser necessários para a finalidade irrigação:

Anexo XII - TRANSFERÊNCIA/CESSÃO DE OUTORGA

Anexo XIII - COMUNICAÇÃO DE DESISTÊNCIA DE OUTORGA

Anexo XIV - CADASTRO DE USOS INSIGNIFICANTES

Os modelos de formulários estão disponíveis em:

<http://www.ana.gov.br/Instrumentos/Outorga/Index.htm>.

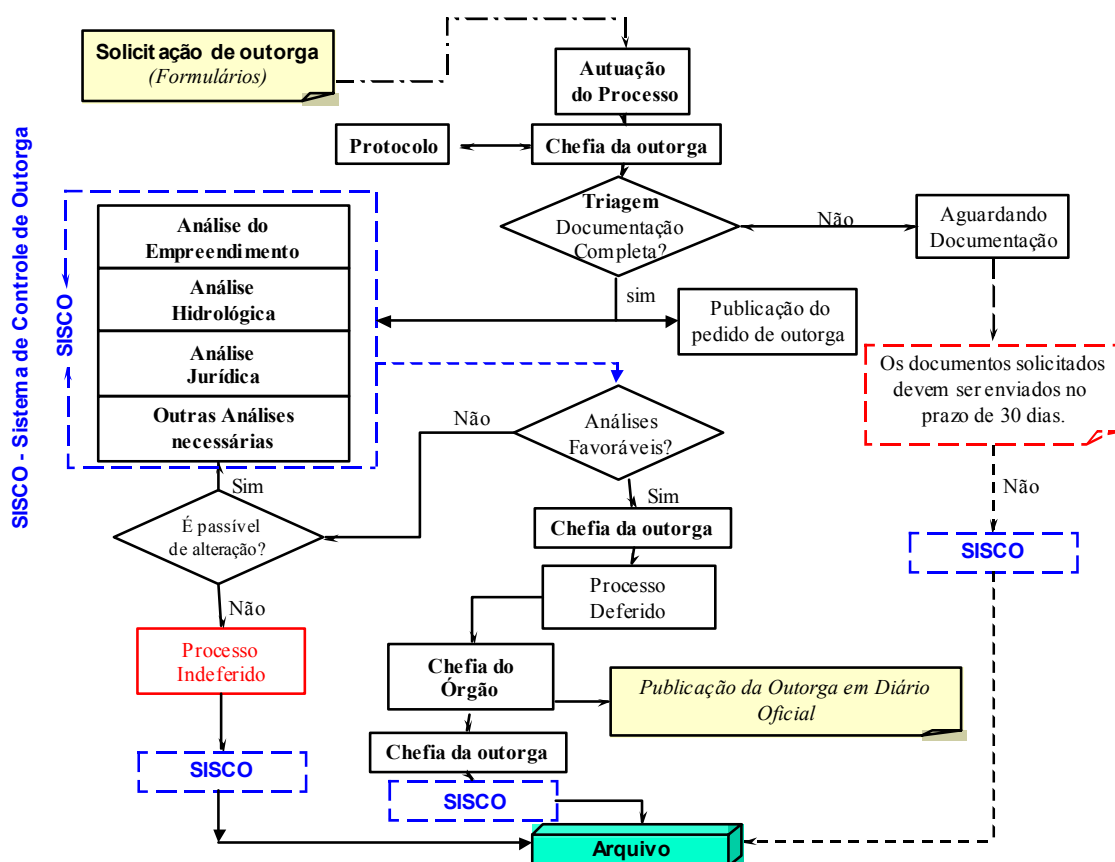


Figura 3. Fluxograma dos procedimentos de outorga usados na ANA.

5.2. Documentação a ser anexada

Para a finalidade irrigação a documentação geral e específica que deverá ser anexada é a seguinte:

Documentação geral:

- **Pessoa física** – CPF, Identidade (Fotocópia);
- **Pessoa jurídica** – CNPJ, Contrato Social com as alterações respectivas ou Estatuto da Empresa com as respectivas Atas ou similar (Fotocópia);
- **Fotocópia do documento de posse da área** ou outros documentos que comprovem a dominialidade da área;
- Em caso de não ser proprietário, o requerente deverá anexar **carta de anuência do proprietário da terra**;

- Em se tratando de representação através de procurador deverá ser juntada a **procuração autenticada em Cartório**;
- **Fotocópia da Portaria ou Resolução anterior**, quando se tratar de renovação ou alteração; e
- **Croqui de acesso** ao empreendimento.

Obs: Para facilitar a análise do processo, é de bom propósito que no croqui sejam esquematizadas os seguintes elementos: manancial da captação, hidrografia da região, localização do(s) ponto(s) de captação, o sistema de adução, a área irrigada, a rede viária, a sede dos municípios das proximidades, pontes, barragens ou outros elementos de referência.

Documentação específica:

Para irrigação, a documentação específica a ser anexada é um relatório do projeto de irrigação, contendo descrição geral do empreendimento e principalmente estudos para determinação das demandas por ponto de captação.

5.3. Cuidados no preenchimento dos formulários

- Dados cadastrais devem estar de acordo com a documentação apresentada;
- Os formulários Anexo III e VI deverão ser preenchidos para cada ponto de captação;
- Coordenadas deverão ser dos pontos de captação e não das propriedades ou cidades próximas;
- No caso da captação ser feita por apenas uma bomba, as vazões mensais deverão ser as mesmas ao longo do período da captação, a não ser que a bomba permita a variação da vazão especificada no formulário;
- No caso de operação com varias bombas, poderá ser feita a variação das vazões ao longo do ano, já que um número diferentes de bombas poderá estar operando num determinado mês.
- A vazão de bombeamento deverá estar de acordo com o projeto;
- Os campos Tempo (h/dia) e Período (dias/mês) da captação deverão ser preenchidos com números inteiros.

5.4. Encaminhamento do pedido

Os formulários, bem como a documentação, deverão ser entregues ou enviados pelo correio no endereço: AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, Setor Policial Sul, Área 05 - Quadra 3, Bloco L , CEP: 70.610-200 – Brasília/DF, Informações: (61)445.5252.

6. Análise dos pedidos de direito de uso de recursos hídricos

O pedido de outorga deve passar, no mínimo, por três avaliações: técnica, do empreendimento e jurídica (Cardoso da Silva & Monteiro, 2003). A avaliação técnica consiste na verificação da disponibilidade hídrica do manancial, isto é, se a vazão que está sendo solicitada pode ser atendida pelo manancial, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos. Avalia-se, portanto, se a interferência pleiteada está coerente com os critérios de alocação de água previamente determinados e se os impactos quali-quantitativos são aceitáveis dentro de determinada margem de segurança. As informações mínimas necessárias para realização da avaliação técnica do pleito de outorga estão apresentadas a seguir:

- Identificação e caracterização do uso (irrigação, saneamento, lazer, geração de energia, etc.);
- Localização do pleito (bacia, coordenadas, manancial, município, UF);
- Demanda sazonal do pleito para captação de água e/ou lançamento de efluentes;
- Características físico-químicas e biológicas dos efluentes (obtidas em articulação com o órgão de Controle Ambiental);
- Dados hidrometeorológicos e estudos hidrológicos;
- Demandas existentes em toda a bacia hidrográfica (a montante e a jusante do aproveitamento);
- Reservatórios existentes.

Obs.: Existindo Plano de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, as análises técnicas deverão levar em consideração as suas diretrizes.

A **avaliação do empreendimento** verifica se o que está sendo solicitado em termos de vazão de captação e de lançamento de efluentes, bem como as características físico-químicas e biológicas dos efluentes gerados, estão compatíveis com o tipo e com o porte do empreendimento. Nesse sentido, deve ser solicitada a apresentação do projeto de utilização dos recursos hídricos, onde deverão constar informações referentes à concepção do empreendimento como, por exemplo: descrição geral da atividade, fluxograma do processo, índices de utilização da água, eficiência do tratamento de efluentes, etc. O fato é que há inúmeros usuários que solicitam muito mais água do que têm capacidade de usar, provavelmente com o objetivo de auferir ganhos com algum tipo de especulação. Há outros, contudo, que solicitam muito menos água que a capacidade instalada de seu empreendimento, provavelmente por receio da cobrança

pelo uso dos recursos hídricos. A análise do empreendimento procura detectar esses tipos de situação.

A **avaliação jurídica** analisa a documentação enviada e a adequação do pedido às leis de recursos hídricos. Para essa análise é necessária a identificação do usuário (cópia do CNPJ ou CPF) e dados relativos ao empreendimento como cópia do documento de posse da terra, entre outros. Há situações em que é necessária a realização de vistorias técnicas ao local do pleito para verificação das informações prestadas e, principalmente, para avaliação da demanda potencial da região.

Nos **aspectos técnicos da outorga**, a outorga deve ser vista como um instrumento de alocação de água entre os mais diversos usos dentro de uma bacia. Essa alocação (distribuição) de água deve buscar os seguintes objetivos mínimos: atendimento das necessidades ambientais, econômicas e sociais por água; redução ou eliminação dos conflitos entre usuários da água e possibilidade de que as demandas futuras também possam ser atendidas. A alocação mencionada refere-se aos aspectos quantitativos, qualitativos e de distribuição temporal e espacial da água (Cardoso da Silva & Monteiro, 2003).

O equacionamento desse tema requer entendimento e aplicação de questões técnicas (hidrologia, hidráulica, ecologia, qualidade de água, etc.), questões legais (competências, direitos e responsabilidades dos usuários, etc.) e políticas (mobilização social, acordos entre setores e governos para o desenvolvimento integrado e sustentável da bacia, articulação institucional, etc.).

Para o caso da irrigação, caso não seja apresentado no relatório do projeto de irrigação estudos para a determinação das demandas ou se o mesmo for insuficiente, é solicitado ao requerente o preenchimento de uma planilha eletrônica para a determinação das necessidades de água. Esta planilha eletrônica elaborada pela equipe técnica da SOC, segue anexo a este CD do **Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios (2003)**, e deverá ser encaminhada juntamente com o pedido de outorga a SOC/ANA, futuramente estará junto aos formulários no site da ANA. Como relatório da análise, o técnico responsável redige uma nota técnica com os resultados das etapas da análise.

6.1. Análise quanto à demanda do pedido

A partir dos dados apresentados pelo requerente nos formulários e anexos, são feitas conferências das necessidades de água para irrigação. Nessa análise, são considerados vários parâmetros agrometeorológicos, as características da cultura e a eficiência do sistema de irrigação, conforme visto anteriormente. Caso estes parâmetros sejam considerados satisfatórios, e a vazão específica máxima ponderada em L/s/ha esteja dentro de valores considerados adequados para o método de irrigação, o pedido será aprovado do ponto de vista de empreendimento agrícola. Caso contrário, o requerente é orientado a justificar ou reconsiderar parâmetros e conseqüentemente as vazões solicitadas.

A análise dos pedidos de captações em recursos hídricos federais deve estar coerente com os princípios estabelecidos nos seguintes instrumentos legais: Lei 9.433/1997; Lei 9.984/2000; Resolução 016/2001- CNRH; Instrução Normativa Nº 004, de 21 de junho de 2000 – SRH/MMA.

6.2. Análise do pedido quanto à disponibilidade de água no manancial

Nessa fase, é feita a avaliação da disponibilidade e das demandas de água do manancial no qual será feita a captação. Para a determinação da disponibilidade são necessários dados fluviométricos para o cálculo das curvas de permanência das vazões no tempo, sendo que nas análises normalmente é utilizada a vazão com 95% de permanência, $Q_{95\%}$ como referência nos cálculos. Os organismos gestores de recursos hídricos estaduais podem usar outras vazões de referência como a $Q_{7,10}$ ou a $Q_{90\%}$, depende da vazão de referência definida na Lei de recursos hídricos estadual.

A vazão de referência é uma vazão mínima que representa uma situação crítica em termos de oferta hídrica, sendo que os valores máximos outorgados são frações dessas vazões de referência. Os organismos gestores de recursos hídricos estaduais adotam diferentes critérios de outorga, por exemplo em São Paulo usa-se o valor máximo de 80% da $Q_{7,10}$, conforme definido na Lei estadual nº 9034/94, na Bahia, usa-se como limite máximo 80% da $Q_{90\%}$, Minas Gerais usa 30% da $Q_{7,10}$ e Paraná, 50% da $Q_{7,10}$. Para os rios de domínio da União, como o rio Paraíba do Sul deverão ser acordados critérios de vazão outorgável que poderão ser diferentes desses valores.

Vale lembrar que a água é um recurso finito, renovável através do ciclo hidrológico, cuja disponibilidade é aleatória no tempo, no espaço e de caráter sazonal, sendo assim, a outorga não é

uma garantia de fornecimento, apenas o direito ao uso, caso a mesma seja disponibilizada pela natureza. Como ferramenta para o cálculo das permanência de vazões, normalmente é utilizado o software HIDRO - Sistemas de Informações Hidrológicas da ANNEL. Nesse software, a partir de uma base de dados centralizada e alimentada pela rede hidrometeorológica que a opera, são calculadas várias funções hidrológicas, tal como curvas de permanência.

No caso da não existência de dados fluviométricos para o manancial ou ponto de captação, são utilizadas técnicas de regionalização hidrológica. Nesse caso, é necessário determinar a área de drenagem a montante do ponto de captação ou outras variáveis independentes. Quanto às demandas, também é feita uma estimativa da vazão captada considerando todos os usuários a montante do ponto de captação. Para tanto se utiliza o Banco de Dados Georeferenciado de Outorgas (SIGEO). Nesse banco de dados em ambiente de SIG, a partir da indicação das coordenadas geográficas do ponto de captação, facilmente é obtido o somatório das demandas a montante, a relação dos usuários entre outras informações. Também é analisada a interferência da captação nos usuários a jusante do ponto de captação.

Com as informações sobre a disponibilidade hídrica do manancial e a determinação da demanda a montante é feita a sugestão de atendimento do pedido, caso o cotejo permita. Nesse caso, são especificadas as coordenadas do ponto de captação, a vazão máxima de captação, tempo máximo de operação diário, período de operação mensal e uma tabela com a variação da operação mensal. Caso não seja possível atender ao pedido, pode ser solicitado que o requerente reconsidere o pedido. Como relatório da análise, o técnico responsável redige uma nota técnica com os resultados das etapas da análise, sugerindo a outorga da vazão solicitada, o indeferimento ou outra solução. Para empreendimentos ainda não implantados, usa-se emitir a outorga preventiva, observando-se o art. 6º da Lei 9.984 de 2000.

7. Considerações de demanda hídrica para irrigação no Estado de São Paulo

Especificamente, foram avaliadas as demandas hídricas de irrigação em três cidades do Estado de São Paulo e uma de Minas Gerais por estimativas de consumo médio mensal a partir de variáveis agrometeorológicas destas localidades.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado de São Paulo 2000-2003, cita que em vista a gama de variáveis para determinar a dotação de rega e que os dados de pesquisa existentes são insuficientes e desatualizados e não representam as quantidades efetivamente utilizadas pelos

irrigantes, considerou-se uma dotação de 0,327 l/s/ha para todas as Unidades de Gestão de Recursos Hídricos Integradas - UGRHIs, o que resulta numa demanda de ordem de 143 m³/s. Estabelecendo-se uma comparação entre a vazão estimada e a efetivamente cadastrada na Divisão de Outorgas do DAEE, da ordem de 2,94m³/s, depreende-se que a maioria dos usuários de recursos hídricos na agricultura irrigada, em geral, não solicita as outorgas para o desenvolvimento das atividades hidroagrícolas (CRH, 2000).

A Superintendência de Outorga e Cobrança – SOC da Agência Nacional de Águas –ANA desde de sua criação até o momento outorgou 30 pedidos de direito de uso de recursos hídricos com finalidade de irrigação, em mananciais federais no Estado de São Paulo. A soma destes pedidos em vazão instantânea é de 2.715 L/s para uma área de 1.691 hectares irrigados, com uma vazão de captação de 1,6 L/s/ha, principalmente nas bacias hidrográficas dos rios Grande, Piracicaba e Mogi-Guaçu, conforme consulta ao banco de dados SIGEO.

O Estado de São Paulo utiliza 40% da sua disponibilidade hídrica para atender à demanda de água superficial. Da observação da **Figura 4** verifica-se que sete bacias já podem ser consideradas críticas. (Isto se dá quando a soma das vazões captadas em uma determinada bacia hidrográfica, ou em parte dela, supera 50% da vazão mínima). São elas: Pardo, Piracicaba/Capivari/Jundiaí, Alto Tietê e Baixada Santista, Mogi-Guaçu, Tietê/Sorocaba e Tietê/Jacaré. No Alto Tietê as demandas superam as disponibilidades em mais de 60 m³/s. Além das bacias já em situação crítica, as do Baixo Pardo/Grande, do Baixo Tietê e Sapucaí-Mirim/Grande estão próximas de atingir esse índice (CRH, 2000).

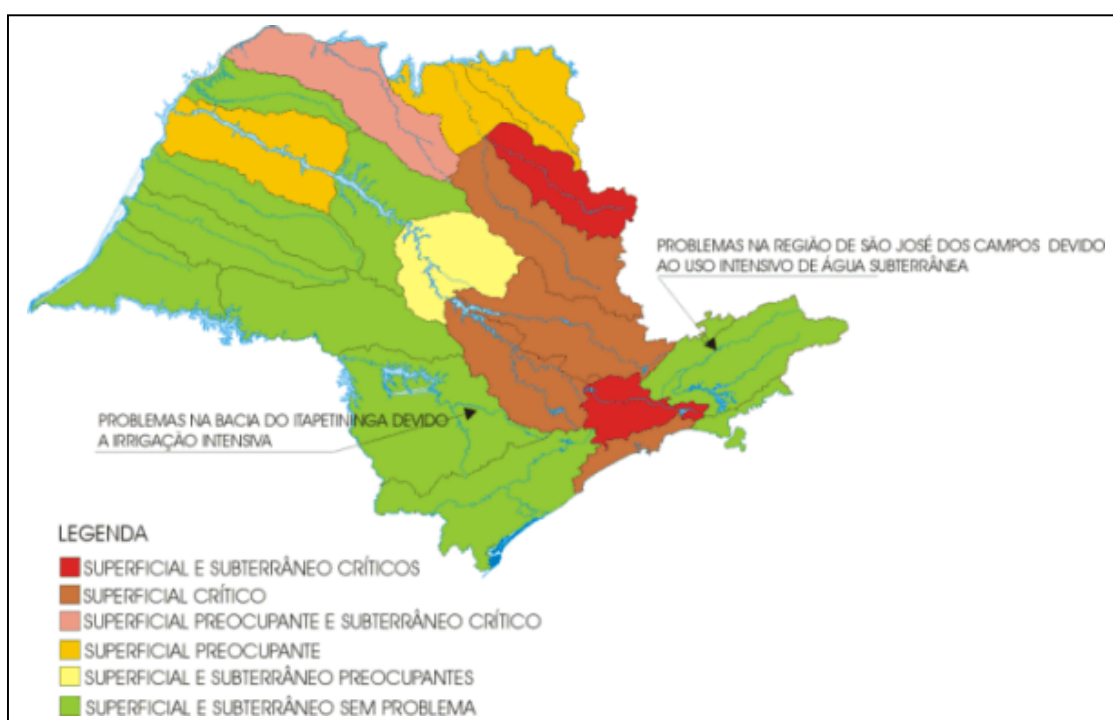


Figura 4. Balanço entre a disponibilidade hídrica existente em cada bacia e as demandas superficiais e subterrâneas (Fonte: PERH-2000-2003).

Foram realizadas avaliações das necessidades de irrigação para 3 locais no Estado de São Paulo e uma em Minas Gerais, baseado na metodologia de estimativa das demandas para irrigação, apresentada acima. Nos cálculos, foram utilizados os dados meteorológicos, para cada localidade estudada, obtidos na base de dados da FAO CLIMWAT (<http://www.fao.org/ag/AGL/AGLW/climwat.stm>), que é uma base com dados meteorológicos mundiais para serem usados no programa computacional CROPWAT.

No referido programa, a evapotranspiração de referência foi determinada a partir de dados médios mensais, pelo uso da equação de Penman-Monteith/FAO. A precipitação efetiva foi calculada a partir de médias mensais de precipitação, de acordo com fórmulas desenvolvidas pelo USDA Soil Conservation Service. Os coeficientes de cultura (K_c) foram considerados nos cálculos como sendo 1, pois esse valor atende às necessidades da maioria das culturas na fase de maior demanda, especialmente em frutíferas, que é o tipo de cultura com maior potencial no Oeste do Estado de São Paulo. Este valor representa um suprimento hídrico ideal. Entretanto, deve ser considerado que, na prática da irrigação, esta situação não é permanente, pois entre duas

irrigações, geralmente existe algum grau de deficiência hídrica, com exceção de irrigações localizadas, que são efetuadas com alta frequência. Nos cálculos, foram consideradas duas condições de irrigação, conforme a percentagem da superfície do terreno umedecida pela irrigação. Para o caso da irrigação localizada foi assumido um valor de 70% de superfície umedecida e para os demais métodos foi considerado 100%.

Os resultados das estimativas de necessidade líquida de irrigação do mês mais crítico (**Figura 5**) mostraram variações consideráveis entre os locais estudados. As maiores necessidades ocorrem no Oeste de São Paulo, Planalto Ocidental conforme mostra os dados de Frutal-MG, com uma necessidade de 83 mm/mês para irrigação localizada e de 119 mm/mês para os demais métodos, ambas para o mês de agosto. As menores necessidades foram encontradas em Campinas, com valor de 37 mm/mês para irrigação localizada e 53 mm/mês para os demais métodos. Em Frutal-MG, a maior contribuição das chuvas ocorre entre outubro a março. A região de Ribeirão Preto e Franca, que ficam entre uma e outra região, apresentam características intermediárias. A época de ocorrência do mês mais crítico não varia.

O consumo médio mensal por hectare (**Tabelas 4 e 5**), além de variar em função das necessidades de irrigação líquidas, também é altamente dependente da eficiência com que é feita a irrigação. Por outro lado, com base neste estudo, as diferenças de necessidades de irrigação líquida entre as localidades consideradas podem ser de 56 %.

Deve ser ponderado que nesse estudo apenas foram consideradas 4 localidades para todo o Estado. Caso fossem considerados locais em todo o Estado, com micro-climas diferenciados, essas diferenças seriam bem maiores. Também deve ser ressaltado que nesse estudo não estão sendo consideradas lâminas adicionais para lixiviação de sais, para minimização de problemas de salinidade. No caso destas lâminas serem necessárias provocarão uma redução da eficiência de uso da água. Como pode ser visto nas **Tabelas 4 e 5**, a eficiência da irrigação é um dos fatores mais importantes a ser considerado em estudos de demanda hídrica para irrigação, pois em função dela podem ocorrer grandes diferenças entre os valores de consumo médio por hectare. Quanto menor a eficiência da irrigação maiores vazões médias serão necessárias e maior o impacto sobre o manancial de captação.

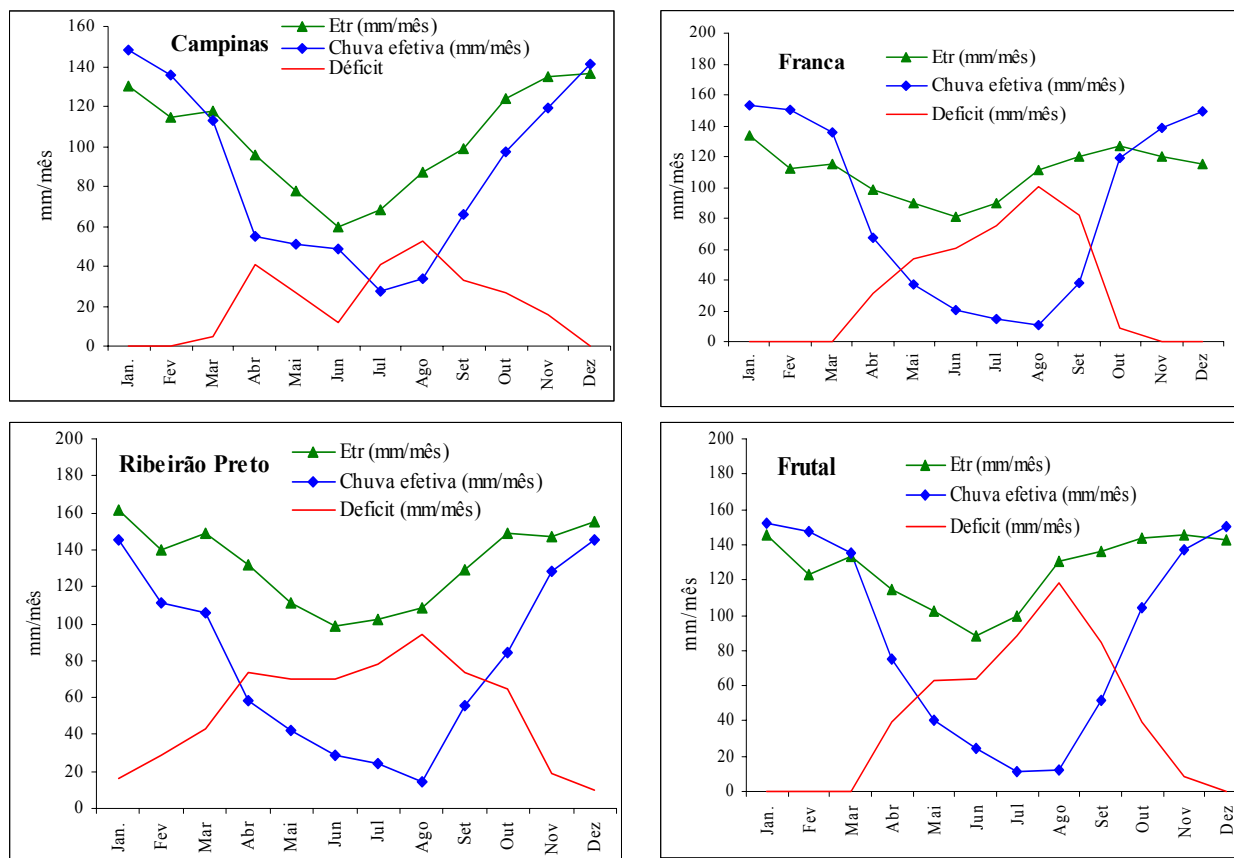


Figura 5. Necessidade líquida de irrigação (NIL) do mês de maior deficiência hídrica para três localidades do Estado de São Paulo e uma de Minas Gerais.

Tabela 4. Estimativas de necessidade de irrigação líquida e consumo médio mensal por hectare para irrigação localizada (70% de umedecimento da superfície do solo), para o mês de maior deficiência hídrica.

Local	Mês mais crítico	NIL* mm/mês	Volume m ³ /ha/mês	Eficiência da irrigação (%)							
				100%	90	80	70	60	50	40	30
				Consumo médio mensal L/s/ha							
Campinas	Ago	37	370	0,14	0,15	0,17	0,20	0,23	0,28	0,35	0,46
Ribeirão Preto	Ago	66	660	0,25	0,27	0,31	0,35	0,41	0,49	0,62	0,82
Franca	Ago	71	710	0,27	0,29	0,33	0,38	0,44	0,53	0,66	0,88
Frutal	Ago	83	833	0,31	0,35	0,39	0,44	0,52	0,62	0,78	1,04
Máximo		83	833	0,31	0,35	0,39	0,44	0,52	0,62	0,78	1,04
Mínimo		37	370	0,14	0,15	0,17	0,20	0,23	0,28	0,35	0,46
Média		64	643	0,24	0,27	0,30	0,34	0,40	0,48	0,60	0,80

*Estimativa da necessidade de irrigação líquida correspondente ao mês mais crítico

As diferenças com relação ao consumo médio por hectare entre a irrigação localizada e os demais métodos são em decorrência de que a irrigação localizada umedece apenas uma porcentagem do terreno. Por esse motivo, os valores de consumo são menores quando comparados aos métodos que molham toda a superfície. É importante considerar que a redução da evapotranspiração da cultura em função da redução da área umedecida é um assunto complexo. Na realidade, pode não apresentar a proporcionalidade assumida neste estudo. Em decorrência, o problema deve ser estudado caso a caso. Além disso, as interações entre espaçamentos e sombreamentos da cultura com a área umedecida pelas irrigações devem ser melhor estudadas pela pesquisa, de forma a permitir aplicações técnicas mais seguras.

Os resultados de consumo médio mensal por hectare para o mês de maior demanda, mostram que os valores de 1,0 L/s/ha (valor normalmente considerado para suprimento de água nos projetos de irrigação) somente serão atingidos quando a eficiência de irrigação for muito baixa (abaixo de 50%), mesmo nas regiões de maior demanda hídrica.

Tabela 5. Estimativas de necessidade de irrigação líquida e consumo médio mensal por hectare para os demais métodos de irrigação (com 100% de umedecimento da superfície do solo) para o mês de maior deficiência hídrica.

Local	Mês mais crítico	NIL* mm/mês	Volume m ³ /ha/mês	Eficiência da irrigação (%)							
				100%	90	80	70	60	50	40	30
				Consumo médio mensal L/s/ha							
Campinas	Ago	53	530	0,20	0,22	0,25	0,28	0,33	0,40	0,49	0,66
Ribeirão Preto	Ago	94	940	0,35	0,39	0,44	0,50	0,58	0,70	0,88	1,17
Franca	Ago	101	1.010	0,38	0,42	0,47	0,54	0,63	0,75	0,94	1,26
Frutal	Ago	119	1.190	0,44	0,49	0,56	0,63	0,74	0,89	1,11	1,48
Máximo		119	1.190	0,44	0,49	0,56	0,63	0,74	0,89	1,11	1,48
Mínimo		53	530	0,20	0,22	0,25	0,28	0,33	0,40	0,49	0,66
Média		92	918	0,34	0,38	0,43	0,49	0,57	0,69	0,86	1,14

*Estimativa da necessidade de irrigação líquida correspondente ao mês mais crítico

Para regiões de menor demanda, o valor de 1,0 L/s/ha somente será atingido quando a irrigação for realizada de forma muito ineficiente (menor de 40%). Um outro ponto a ser considerado é que o estabelecimento de um valor máximo de consumo em L/s/ha, para que o uso de água para irrigação seja considerado eficiente ou ineficiente, não é uma boa estratégia. Este procedimento apenas terá efeito para as regiões que apresentam maiores demandas de irrigação, e pouco efeito em regiões ou épocas que apresentem menores demandas ou onde a irrigação é feita

de forma complementar à precipitação. Nessa última condição, raramente será atingido o limite estabelecido em L/s/ha. Para que todos os usuários sejam estimulados a economizar água., devem ser estabelecidos critérios de outorga e cobrança que levem em conta a eficiência da irrigação, de forma a induzir o uso eficiente da água.

8. Classes de outorga e cobrança em função da eficiência do uso da água para irrigação

Deve ser considerado que nem sempre o método de irrigação, por si, é o principal responsável pela eficiência da irrigação. Métodos supostamente eficientes quando mal manejados podem ser muito ineficientes. Por outro lado, métodos considerados ineficientes podem ter seu desempenho melhorado através de um adequado manejo da irrigação, uso de técnicas de reaproveitamento da água no final do sulco, sistematização das áreas, pudelagem de tabuleiros, entre outras. Na **Tabela 6** percebe-se grandes possibilidades de melhoria de eficiência, independente do método.

Nesse sentido, para que seja estimulado um uso eficiente propõe-se uma metodologia que considere a eficiência de uso da água da irrigação, que deverá ser declarada pelo requerente quando do pedido de outorga. O valor da eficiência declarado será fundamental para a determinação dos volumes a serem outorgados. Na prática da irrigação o requerente deverá alcançar a meta de eficiência declarada. A vantagem para o irrigante em buscar a eficiência seria compensada pela maior prioridade de suprimento de água em caso de suspensão da outorga decorrente de programas de racionamento, prioridades na emissão de outorga e valor diferenciado de cobrança, com valores menores para as classes de maior eficiência. Na **Tabela 6**, são apresentadas sugestões de classes em função da eficiência.

Tabela 6. Classes de outorga em função da eficiência do uso da água para irrigação.

Eficiência de irrigação (%)	Prioridade
Alta (> 85%)	1
Média (entre 70% e 85%)	2
Baixa (entre 55% e 70%)	3
Muito baixa (< 55%)	4

9. Conclusões e Recomendações

- As interações entre os órgãos de recursos hídricos e os órgãos ambientais devem ser melhor regulamentadas, definindo as interações entre os pedidos de direito de uso de recursos hídricos e o licenciamento ambiental.
- A estimativa do consumo de água para irrigação, apresenta muitas incertezas, especialmente decorrentes da aleatoriedade das condições climáticas entre diferentes localidades, das diferentes características dos solos, das culturas irrigadas e dos níveis tecnológicos dos irrigantes que proporcionam variações de eficiência no uso da água;
- Para determinação das necessidades de irrigação, a evapotranspiração de referência e a precipitação efetiva deverão ser tratadas estatisticamente, de forma que seja possível a determinação de níveis de garantia aos estudos subseqüentes;
- Os métodos de determinação da evapotranspiração de referência e, especialmente, da determinação da precipitação efetiva ou provável carecem de aprimoramentos para possibilitar estimativas mais realistas das demandas de água para irrigação.
- A determinação de consumos médios por hectare como limite entre usos eficientes e ineficientes não é uma boa estratégia pois existem muitos fatores que podem determinar as demandas, especialmente a época e o local onde é feita a irrigação. O valor de 1,0 L/s/ha, largamente utilizado como balizador, é muito alto para ser adotado como um limite entre usos eficientes e ineficientes.
- Para estimular o uso eficiente dos recursos hídricos, os critérios para análise de pedidos de outorga para irrigação devem levar em conta a eficiência do uso da água. Sendo assim, sugere-se que sejam estabelecidos critérios de outorga e cobrança que levem em conta essa eficiência, de forma a estimular o uso racional da água.

Nota: As opiniões e conclusões apresentadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não significando atitude da Agência Nacional de Águas – ANA.

Referências

ALBURQUERQUE, P. E. P. de; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SOUZA, F. de; SEDIYAMA, G. C.; BEZZERRA, J. R. C.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. **Revista Item - Irrigação e Tecnologia Moderna**. n. 52/53 2001/2002.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995, 657 p.

CARDOSO DA SILVA, L. M.; MONTEIRO, R. A. Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos: Uma das Possíveis Abordagens. In: MACHADO, C. J. S. *Gestão de Águas Doces: Usos Múltiplos, Políticas Públicas e Exercício da Cidadania no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora da UERJ, 2003. (no prelo).

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE DO SÃO FRANCISCO. **Projetos de Irrigação no Vale do São Francisco**. CODEVASF. Brasília, 2002. Revista, 42 p. il. (<http://www.codevasf.gov.br/produtos/publicacoes.htm>).

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HIDRICOS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH 2000-2003**. Disponível em: < <http://www.sigrh.sp.gov.br>>.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop and Water Requirements**. Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAO/ Rome. Paper 24, 1976.

ENGENCORPS. **Manual de Outorga**. In: Relatório 210- SRH-MAO-RT-006/98, Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente, Fundação Arthur Bernardes, Brasília, 1998.

HARGREAVES, G. H. **Precipitation Dependability and Potentials for Agricultural Production in Northeast Brazil**. Logan: Utah State University, 1974.

Obs: Segue anexo ao CD do Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo: Avanços e Desafios (2003), a planilha eletrônica em Excel elaborada pela equipe técnica da SOC para cálculo de demanda hídrica dos pedidos de outorga encaminhados a SOC/ANA.

Ver instruções de preenchimento abaixo de cada tabela:

TABELA PARA A DETERMINAÇÃO DAS NECESSIDADES DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO (Por ponto de captação)																		
Requerente:	Exemplo			Propriedade:														
Município/UF:	Fruital/MG			Município:	Rio Grande													
Nome ou nº do ponto de captação:	1			Latitude:	° ' "		Longitude:	° ' "		Hemiférico:	() S () N							
Sistema/Método	Aspersão		Aspersão			Microaspersão			Gotejamento		Inundação		Volume anual (m³):					
Cultura(s)	Olerícolas		Milho Verde			Citrus			Uva		Arroz/Feijão		73.689,9					
Eficiência da irrigação (%)	80,0					90			95		40		EIP (%): 77					
Área irrigada (ha)	5,0		5			5			5		5		Área total: 25,0					
Mês	PE*	Eto*	Kc	Ks	Etc	Kc	Ks	Etc	Kc	Ks	Etc	Kc	Ks	Etc	Kc	Ks	Etc	Vol total (m³)
Jan	151,9	145,7	1	1	145,7	0,8			0,9	0,6	78,7	0,8	0,7	81,6	1,2	0,8	139,9	
Fev	147,4	122,9	1	1	122,9	0,5	0,8	49,2	0,9	0,6	66,4	0,8	0,7	68,8	0,8	0,8	78,7	
Mar	135,6	133,3	1	1	133,3	0,9	0,8	96,0	0,9	0,6	72,0	0,8	0,7	74,6				
Abr	74,9	114,3	1	1	114,3	1,2	0,8	109,7	0,9	0,6	61,7	0,8	0,7	64,0				4.639,3
Mai	40,0	102,6	1	1	102,6	0,7	0,8	57,5	0,9	0,6	55,4	0,8	0,7	57,5	0,5	0,8	41,0	6.910,1
Jun	24,0	88,7	1	1	88,2		0,8		0,9	0,6	47,6	0,8	0,7	49,4	0,9	0,8	63,5	11.599,6
Jul	10,8	99,5	1	1	99,5	0,5	0,8	39,8	0,9	0,6	53,7	0,8	0,7	55,7	0,5	0,8	39,8	15.732,4
Ago	11,8	130,5	1	1	130,5	0,9	0,8	94,0	0,9	0,6	70,5	0,8	0,7	73,1				19.040,1
Set	51,8	136,5	1	1	136,5	1,2	0,8	131,0	0,9	0,6	73,7	0,8	0,7	76,4				12.760,3
Out	104,1	143,5	1	1	143,5	0,7	0,8	80,4	0,9	0,6	77,5	0,8	0,7	80,4				2.464,4
Nov	137,1	145,8	1	1	145,8		0,8		0,9	0,6	78,7	0,8	0,7	81,6	0,5	0,8	58,3	543,8
Dez	150,4	142,9	1	1	142,9		0,8		0,9	0,6	77,2	0,8	0,7	80,0	1	0,8	114,3	
*Fonte dos dados:	Estação/Município/UF:		Estação Fruital-MG															
	Método de cálculo:		PE: Soil Conservation Service												Eto: Penman/ Montheit			

LEGENDA:
PE-Precipitação efetiva e/ou provável (mm)
Eto-Evapotranspiração de referência (mm)
Etc-Evaporação da cultura (mm)
Kc-Coefficiente de cultura (máximo)
Observações:

Observações:

Instruções:

- > Esta planilha deverá ser preenchida considerando-se a irrigação a ser feita a partir de um ponto de captação;
- > Deverão ser preenchidos apenas os campos de cor amarela. Os campos azuis serão automaticamente calculados pela planilha.
- > Nesta planilha a captação poderá ser destinada para atender até 5 diferentes sistemas/métodos de irrigação;
- > Esses sistemas, ao longo do ano, poderão atender a uma cultura perene, ou a uma sequência de culturas, por exemplo, milho/feijão;
- > Somente deverão ser preenchidos os campos correspondentes ao(s) sistema(s) existentes. Os outros deverão ser deixados totalmente em branco, para não interferirem nos cálculos;
- > Os campos Kc e Ks somente deverão ser preenchidos para os meses em que existe previsão de irrigação para a cultura;
- > A área a ser irrigada, a ser considerada nos cálculos, será a área possível de ser irrigada num determinado ciclo.
- > Portanto, caso forem utilizadas culturas em sucessão, as áreas não devem ser somadas ao longo da sucessão.
- > A eficiência, em porcentagem, deverá ser correspondente ao sistema de irrigação empregado.
- > A evapotranspiração de referência (Eto) é a água que é evapotranspirada em uma superfície de solo coberta por vegetação com características específicas, quais sejam, vegetação rasteira, uniformemente distribuída, em fase de crescimento ativo e mantido sempre com umidade próxima a capacidade de campo. O conceito de evapotranspiração de referência foi introduzido para estudar a demanda evaporativa da atmosfera independentemente do tipo de cultura, do estágio de desenvolvimento e das práticas de manejo. Os únicos parâmetros que afetam a Eto são os parâmetros climáticos, conseqüentemente a Eto é um parâmetro climático que pode ser calculado a partir de dados de clima. Ela expressa a demanda evaporativa da atmosfera de um local específico, numa época do ano e não considera as características da cultura e fatores do solo.
- > A partir da evapotranspiração de referência (Eto), será possível estimar a evapotranspiração da cultura a ser irrigada, por meio dos coeficientes de cultivo (Kc), conforme segue: Eto x Kc
- > A Eto considera a cultura sob condição padrão ou seja é a evapotranspiração de uma cultura livre de pragas, doenças e plantas daninhas, bem fertilizada, que se desenvolve numa área ampla, com ótimo suprimento hídrico de água no solo e que alcança plena produção sob determinadas condições climáticas (Albuquerque 2001, 2002).
- > Entretanto quando a cultura é conduzida no campo, pode ser que a evapotranspiração real seja diferente, já que ocorrem desvios da condição ótima, tais como pragas, doenças, salinidade do solo, baixa fertilidade, déficit ou excesso hídrico, que resultam em mau crescimento e baixa densidade das plantas. Assim, na tentativa de ajustar esses desvios em relação a condição padrão, podem ser usados outros coeficientes.
- > Sendo assim, para simplificação da planilha, se a irrigação for feita considerando-se uma das condições citadas acima, a correção poderá ser feita no Ks. Neste caso, deverá ser informado nas observações, como foi obtido o valor de Ks e o que ele engloba.

Requerente:	Exemplo			Propriedade:														
Município/UF:	Fruital/MG			Município:	Rio Grande													
Nome ou nº do ponto de captação:	1			Latitude:	° ' "		Longitude:	° ' "		Hemiférico:	() S () N							
Sistema/Método	Aspersão		Aspersão			Microaspersão			Gotejamento		Inundação		Volume anual (m³):					
Cultura(s)	Olerícolas		Milho Verde			Citrus			Uva		Arroz/Feijão		73.689,9					
Eficiência da irrigação (%)	80,0					90			95		40		EIP (%): 77					
Área irrigada (ha)	5,0		5			5			5		5		Área total: 25,0					
Mês	PE*	Eto*	Kc	Ks	Etc	Kc	Ks	Etc	Kc	Ks	Etc	Kc	Ks	Etc	Kc	Ks	Etc	Vol total (m³)
Jan	151,9	145,7	1	1	145,7	0,8			0,9	0,6	78,7	0,8	0,7	81,6	1,2	0,8	139,9	
Fev	147,4	122,9	1	1	122,9	0,5	0,8	49,2	0,9	0,6	66,4	0,8	0,7	68,8	0,8	0,8	78,7	
Mar	135,6	133,3	1	1	133,3	0,9	0,8	96,0	0,9	0,6	72,0	0,8	0,7	74,6				
Abr	74,9	114,3	1	1	114,3	1,2	0,8	109,7	0,9	0,6	61,7	0,8	0,7	64,0				4.639,3
Mai	40,0	102,6	1	1	102,6	0,7	0,8	57,5	0,9	0,6	55,4	0,8	0,7	57,5	0,5	0,8	41,0	6.910,1
Jun	24,0	88,7	1	1	88,2		0,8		0,9	0,6	47,6	0,8	0,7	49,4	0,9	0,8	63,5	11.599,6
Jul	10,8	99,5	1	1	99,5	0,5	0,8	39,8	0,9	0,6	53,7	0,8	0,7	55,7	0,5	0,8	39,8	15.732,4
Ago	11,8	130,5	1	1	130,5	0,9	0,8	94,0	0,9	0,6	70,5	0,8	0,7	73,1				19.040,1
Set	51,8	136,5	1	1	136,5	1,2	0,8	131,0	0,9	0,6	73,7	0,8	0,7	76,4				12.760,3
Out	104,1	143,5	1	1	143,5	0,7	0,8	80,4	0,9	0,6	77,5	0,8	0,7	80,4				2.464,4
Nov	137,1	145,8	1	1	145,8		0,8		0,9	0,6	78,7	0,8	0,7	81,6	0,5	0,8	58,3	543,8
Dez	150,4	142,9	1	1	142,9		0,8		0,9	0,6	77,2	0,8	0,7	80,0	1	0,8	114,3	
*Fonte dos dados:	Estação/Município/UF:		Estação Fruital-MG															
	Método de cálculo:		PE: Soil Conservation Service												Eto: Penman/ Montheit			

TABELA DAS DEMANDAS MENSIS PARA IRRIGAÇÃO

Mês	Vazio de captação		Operação		Volume (m³)		Vazio contínuo (L/s/ha)
	(m³/h)	(Horas/mês)	(Dias/mês)	(Horas/dia)	Diário	Mensal	
Jan	150,0	25					
Fev	150,0	25					
Mar	150,0	25					
Abr	150,0	30,9	25	1	150,0	3.750,0	0,06
Mai	150,0	46,1	25	2	300,0	7.500,0	0,11
Jun	150,0	77,3	25	3	450,0	11.250,0	0,17
Jul	150,0	104,9	25	4	600,0	15.000,0	0,22
Ago	150,0	126,9	25	5	750,0	18.750,0	0,28
Set	150,0	85,1	25	3	450,0	11.250,0	0,17
Out	150,0	16,4	25	1	150,0	3.750,0	0,06
Nov	150,0	3,6	25				
Dez	150,0	25					
Total		491,3	390,0	-	-	71.250,0	
Máximo	150,0	126,9	25,0	5	750,0	18.750,0	0,3
Média (ano todo)	150,0	40,9	-	-	237,5	5.937,5	0,09

Volume diário (m³) = Vazio (m³/h) x Tempo(dia);
Volume mensal (m³) = Vazio (m³/h) x Tempo(dia) x Período (dias/mês);
Vazio contínuo (L/s/ha) = Volume (m³/mês)/(nº dias do mês*24 h*3,6*Área Irrigada (ha)).

Observações:

BALIZADORES:

Vazio contínuo por método de irrigação (L/s/ha)	
Inundação	2,0 - 2,5
Sulcos	0,8 - 2,0
Aspersão	0,6 - 1,0
Localizada	0,3 - 0,7

Observação: Os dados acima não consideram a contribuição da precipitação pluviométrica. Portanto, quando for considerada a precipitação, os valores de vazão contínuo poderão ser bem menores.

Instruções:

- > Os formulários de outorga Anexos III e VI deverão ser preenchidos com as informações das duas tabelas desta planilha;
- > Na tabela acima as colunas **Mês, Vazio de captação, dias/mês, horas/dia, volume diário e volume mensal**, deverão ser transcritas para o formulário Anexo III;
- > Quando for utilizada apenas uma bomba, o valor da vazão de captação deverá ser constante ao longo dos meses;
- > Quando for utilizada mais de uma bomba, a vazão mensal deverá ser a soma da vazão das bombas com previsão de operação no mês;
- > Os valores da coluna **Dias/mês** deverão ser números inteiros entre 0 e 31;
- > Os valores de **horas/dia em vermelho**, significam que a **vazão de bombeamento ou os dias/mês de operação são insuficientes para atender as demandas**;
- > Os volumes totais mensais estão diferentes entre a primeira e segunda tabela, em decorrência do arredondamento das colunas **Dias/Mês e Horas/dia**;
- > Na coluna **Horas/dia, caso não aparecer nenhum valor**, significa não ser necessária a irrigação naquele mês;
- > **entretanto**, para o preenchimento dos formulários o requerente poderá estabelecer valores mínimos para **Horas/dia**, já que a base dos cálculos é mensal e as irrigações são feitas a intervalos bem menores de tempo.
- > Assim, podem ocorrer veranos em meses que, pelos cálculos mensais, não demandam irrigação.
- > Os valores da vazão contínuo servem para comparação com os valores normalmente encontrados para os métodos de irrigação (ver tabela ao lado com alguns balizadores);
- > No formulário Anexo VI, a área irrigada deverá ser **Área Total (célula AF14)**, ou seja a soma das áreas irrigadas com os diversos sistemas.