



Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Unidade Universitária de Dourados
Programa de Pós- Graduação em Recursos Naturais

**ANÁLISE DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E
MICROBIOLÓGICOS DE POÇOS DE
MONITORAMENTO EM ÁREA APLICADA COM
VINHAÇA**

Aluna: Ana Carolina Correia de Oliveira
Orientador: Laércio Alves de Carvalho
Co-orientador Dr. Yzel Rondón Suárez

Dourados – MS
Agosto/2013





ANÁLISE DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE POÇOS DE MONITORAMENTO EM ÁREA APLICADA COM VINHAÇA

Aluna: Ana Carolina Correia de Oliveira
Orientador: Laércio Alves de Carvalho
Co-orientador Dr. Yzel Rondón Suárez

“Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, área de concentração em Recursos Naturais, da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais”.

Dourados – MS
Agosto/2013

EPÍGRAFE

Vista de longe, a Terra é pura água. Mas não é água pura. Esta é rara e cada vez mais cara.

Ricardo Arnt, 1995.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, base inabalável que nos sustenta em todos os momentos de nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida e ensinamentos.

À meus pais, Djalma Jr. e Dirce, pela força, conselhos e base da minha educação.

À meus irmãos, Davi e Raquel, pelo acompanhamento, ensinamentos e amizade.

À meus avós, Djalma e Ivanice, pelas palavras, preces e carinho.

À meu namorado, Alidson, pela compreensão nos momentos de ausência e pela companhia nessa caminhada.

Ao Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho pela orientação, amizade e exemplo de amor pelo que faz.

Ao Prof. Dr. Yzel Rondón Suárez pelos ensinamentos e amizade.

À CAPES pela bolsa concedida.

À Coordenação do PGRN e à UEMS, pela oportunidade.

À usina na qual foi desenvolvido o trabalho pela confiança e auxílio.

Aos colegas Cristiano, Elaine e Ivan, pelo convívio, amizade e ensinamentos.

À BIOSUL, pelo apoio dado às pesquisas da UEMS.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Águas Subterrâneas	4
2.2. Índice de qualidade das águas superficiais e subterrâneas.....	9
2.3. Poços de monitoramento.....	13
3.3. Vinhaça	17
3.5. Legislação Ambiental	21
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO 2.	30
ANÁLISE DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE POÇOS DE MONITORAMENTO EM ÁREA APLICADA COM VINHAÇA.....	30
1. INTRODUÇÃO	31
1.1. Destinação da vinhaça	31
1.2. Contaminação da água subterrânea e parâmetros de qualidade	33
1.2.1 pH	34
1.2.2 Condutividade elétrica.....	35
1.2.3 Cor e turbidez.....	35
1.2.4 Fósforo (P) e nitrogênio (N)	35
1.2.5 Coliformes	37
1.2.6 Oxigênio dissolvido (OD)	37
2. OBJETIVOS.....	38
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
5. CONCLUSÕES	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção mundial de etanol	2
Figura 2- Fluxograma do processo produtivo do etanol.	2
Figura 3- Distribuição de água no mundo	5
Figura 4- Poros e fraturas de rocha.	6
Figura 5- Zonas de ocorrência da água no solo de um aquífero freático.	6
Figura 6- Tipos de aquíferos quanto a porosidade.....	8
Figura 7- Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos (amarelo)	8
Figura 8- Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas	11
Figura 9- Diagrama de Piper	12
Figura 10- Diagrama de Piper	12
Figura 11- Disposição dos poços de monitoramento.....	16
Figura 12- Perfil construtivo dos poços de monitoramento.	17
Figura 13- Grupos de opções tecnológicas para a destinação da vinhaça.....	19
Figura 14- Área de aplicação de vinhaça em 2011.....	39
Figura 15- Foto esquemática de um dos poços de monitoramento.	40
Figura 16- Coleta de água para análises.....	41
Figura 17- Coleta e armazenamento de água para análises.....	41
Figura 18- Diagrama de dispersão dos primeiros eixos da Análise de Componentes Principais (PCA) dos dados físicos, químicos e microbiológicos da água de poços de monitoramento em área de cana-de-açúcar irrigada por vinhaça.	42
Figura 19- Valores de nitrato em 16 pontos de coleta no período de 2009-2012	46
Figura 20- Valores de nitrito em 16 pontos de coleta no período de 2009-2012	47
Figura 21- Valores de sólidos totais dissolvidos em 16 pontos de coleta no período de 2009-2012.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação do recurso hídrico através do cálculo do IQA.....	10
Tabela 2- Composição química da vinhaça de diferentes tipos de mosto.....	18
Tabela 3- Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2011/2012. Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2011/2012.....	21
Tabela 4- Poços piezométricos para monitoramento do freático nas áreas do empreendimento e fertirrigadas com pontos georreferenciados.....	24
Tabela 5 - Estatística Descritiva.....	45
Tabela 6 - Valores máximos permitidos de alguns parâmetros em água subterrânea de acordo com o seu uso.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional das Águas
ART – Anotação de Responsabilidade Técnica
BIOSUL - Associação dos Produtores de Bionergia de Mato Grosso do Sul
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental
CREA - Conselho regional de engenharias e agronomia
CV – Coeficiente de variação
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
EUA – Estados Unidos da América
GEE – Gases de efeito estufa
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMASUL – Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul
IQA – Índice de Qualidade das Águas
IQNAS - Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas
LQP - Limite de Quantificação Praticáveis
MINTER - Ministério do Interior publicou a portaria
MMA – Ministério do Meio Ambiente
NBR (Norma Brasileira)
OD – Oxigênio Dissolvido
PCA – Análise de Componentes Principais
pH – Potencial hidrogeniônico
PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente
Proálcool – Programa Nacional do Alcool
RIMA – Relatório de Impacto Ambiental
UNICA – União da Indústria da Cana-de-açúcar
VMP – Valor Máximo Permitido

RESUMO

A vinhaça é um dos principais subprodutos gerados na produção de açúcar e etanol, não apenas pela quantidade gerada, em média 12 litros de vinhaça para um litro de etanol, mas também por suas características como grande quantidade de água, alta DBO, alto poder de corrosão, baixo pH e alta temperatura. Devido ao seu alto potencial poluidor a vinhaça foi durante muito tempo considerada como um problema ambiental, depositada inadequadamente gerando contaminação e passivos ambientais. Entretanto por ser rica em água e nutrientes quando introduzida em quantidade adequada, este efluente promove a melhoria da fertilidade do solo além da economia de água para irrigação (em torno de 70% da água utilizada no mundo é destinada a irrigação de culturas agrícolas). Para evitar a contaminação ambiental, a aplicação do resíduo deve levar em consideração as características do solo e suas necessidades nutricionais, clima, cultura da área, dentre outros, além disso, os órgãos ambientais trazem como exigência o monitoramento da água subterrânea em áreas de aplicação de vinhaça através de poços de monitoramento. É de extrema importância o estudo do comportamento da vinhaça nas águas subterrâneas no decorrer do tempo, tendo em vista que a aplicação de vinhaça apresenta os melhores resultados para destinação, tanto em termos ambientais quanto econômicos.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar; impacto ambiental; recursos hídricos; lençol freático; contaminação; hidrogeologia.

ABSTRACT

The vinasse is a major byproducts generated in the production of sugar and ethanol, not only by the amount generated, on average 12 liters of vinasse per liter of ethanol, but also for its features such as large amount of water, high BOD, high power corrosion, low pH and high temperature. Due to its high pollution potential, vinasse has long been regarded as an environmental problem, generating improperly deposited contamination and environmental pollution. However it is rich in nutrients and water when introduced in adequate quantity, this effluent promotes the improvement of soil fertility in addition to saving irrigation water, knowing that around 70% of the water used in the world is destined to irrigate crops agricultural. To avoid environmental contamination, residue application should take into account soil characteristics and nutritional needs also bring environmental agencies as a requirement to monitor groundwater in areas of vinasse application through monitoring wells. It is of utmost importance to study the behavior of vinasse in groundwater over time, given that fertigation is the best destination for vinasse, both environmentally and economically.

Key Words: Sugar cane; environmental impact; water resources; groundwater, contamination, hydrogeology.

CAPÍTULO 1

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

As principais fontes de energia utilizadas no mundo são as provenientes dos derivados do petróleo, porém fontes alternativas vêm sendo desenvolvidas a fim de substituí-las. Além de limitadas, as fontes de petróleo estão localizadas mais abundantemente em algumas regiões do planeta, sendo assim, ao utilizar outra fonte de energia é gerada independência energética em países que não possuem ou que possuem reservas muito pequenas deste combustível (SIMON, 2009; SILVA, 2010).

A queima destes combustíveis fósseis pode causar impactos sociais, pois além de doenças respiratórias desenvolvidas através dos gases gerados, alguns dos seus componentes são cancerígenos. A sua queima contribui ainda com o aumento das mudanças climáticas já que emitem gases de efeito estufa, denominados de GEE (CAVALCANTI, 2003; SIMON, 2009).

Uma das fontes que vem sendo estudada para a substituição do petróleo é a utilização da biomassa como fonte de energia e matéria prima para a elaboração de produtos químicos como plásticos, adubos, polímeros, dentre outros. Entende-se por biomassa qualquer matéria de origem orgânica e renovável a curto prazo, formada por carboidratos, lignina, proteínas, gorduras e numa menor extensão, por várias outras substâncias, tais como: vitaminas, terpenos, carotenoides, alcaloides, pigmentos e flavorizantes (SILVA, 2010; ZHANG e SMITH, 2007; RODRIGUES, 2011).

Uma das principais formas de energia de biomassa para transportes é o etanol, que utiliza plantas com alto teor de açúcar, amido ou celulósica, e o biodiesel, produzido através da utilização de ácidos graxos que estão contidos em óleos de frituras, borras de refinação, matéria graxa dos esgotos, óleos vegetais, algas, gorduras animais, dentre outros (SILVA, 2010). O Brasil é um dos maiores produtores de etanol do mundo, e devido aos avanços tecnológicos em que a produtividade aumenta com custos bem inferiores às produções internacionais o país alcançou a liderança em produção de etanol de cana-de-açúcar (Figura 1).

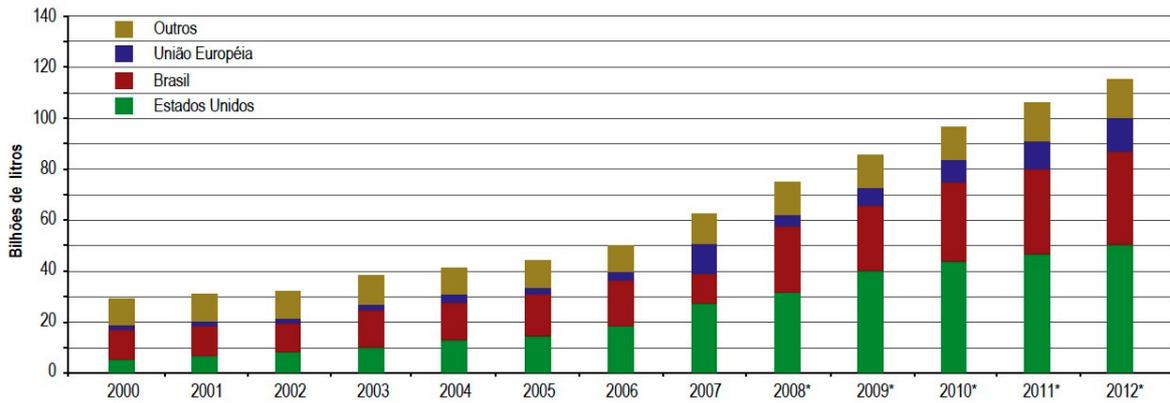


Figura 1 - Produção mundial de etanol. Fonte: UNICA, 2008

Existem três processos utilizados para a produção de etanol, que são: fermentação de carboidratos, hidratação do etileno e redução do acetaldeído (SILVA, 2010). O processo mais utilizado nos EUA é a hidratação do etileno, já no Brasil a técnica amplamente empregada é a fermentação de carboidratos, utilizando como fonte de biomassa a cana-de-açúcar, como mostra a Figura 2.

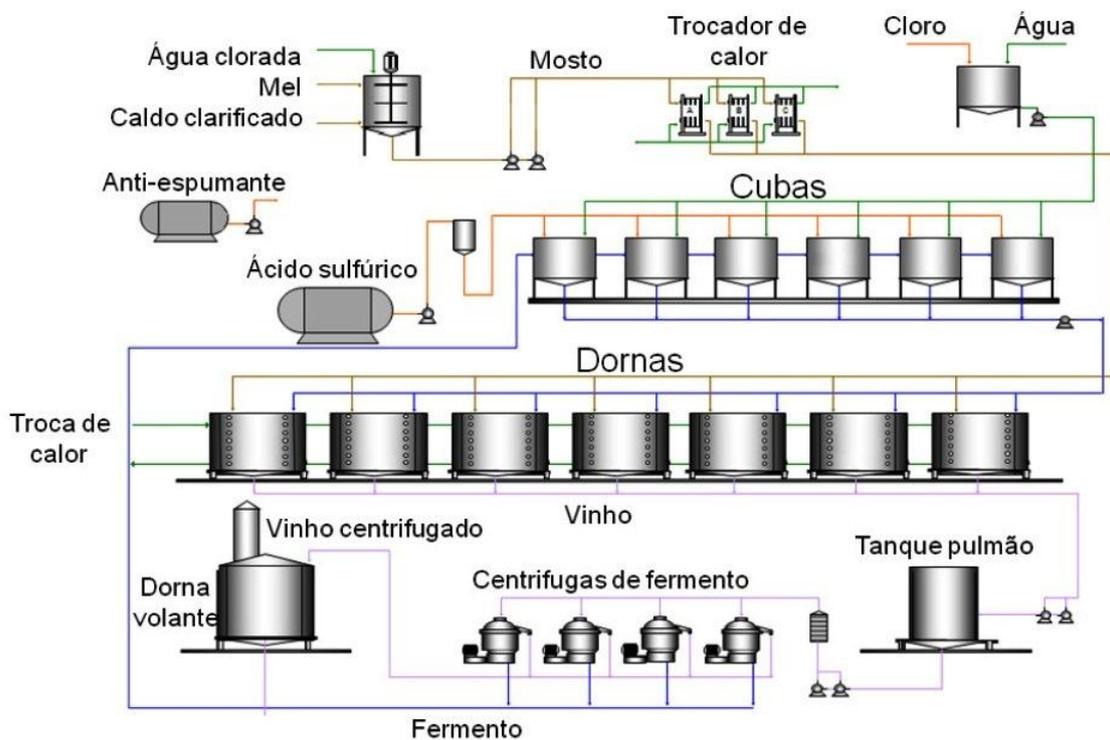


Figura 2- Fluxograma do processo produtivo do etanol. Fonte: Almança, 2010.

Um dos subprodutos gerados no processo produtivo, mais precisamente nas colunas de destilação é a vinhaça, que, de acordo com Almança (1994, p. 23) é “uma suspensão aquosa de sólidos orgânicos e minerais, contendo os componentes do vinho não arrastados na etapa de destilação, além de quantidades residuais de açúcar, álcool e componentes voláteis mais pesados”. Este resíduo possui alto poder de corrosão, baixo pH, alta DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), alta temperatura e grande quantidade de matéria orgânica, por ser rica em nutrientes (principalmente o potássio) e água. A vinhaça pode ser utilizada como fertilizante em áreas de plantio de cana-de-açúcar. Apesar disso, quando utilizada de maneira indevida, ou seja, em quantidades maiores do que o solo consegue adsorver e a planta absorver por diferença de potencial, este resíduo pode percolar no solo, atingir e contaminar as águas subterrâneas. Para evitar alta contaminação do lençol freático, o órgão ambiental exige poços de monitoramento em áreas de aplicação de vinhaça (MELLISSA, 2000; REGO, 2006).

O monitoramento ambiental permite avaliar, quali e quantitativamente, as condições dos recursos naturais em um determinado momento assim como as tendências ao longo do tempo. Esta ferramenta pode ser realizada isoladamente, quando se faz determinado estudo em uma área, mas também é um instrumento de gestão ambiental de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) essencial, que garante a melhoria e eficiência das medidas mitigadoras, definidas a partir do EIA, assegurando o efetivo funcionamento dos processos estabelecidos para proteger o ambiente e atingir os resultados esperados (SANCHEZ, 2006; CONAMA, 1986).

Sendo assim, ao realizar o monitoramento ambiental dos poços de monitoramento em áreas com aplicação de vinhaça é possível verificar e dimensionar a magnitude dos impactos ambientais que estão ocorrendo; auxiliar nas tomadas de decisões quanto às correções que se fizeram necessárias durante o processo de implantação e operação, uma vez que este permite a detecção de falhas durante a operação das atividades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A exploração da cultura da cana-de-açúcar em terras brasileiras teve início no final do século XVI pouco depois da chegada dos portugueses para colonização do território, mas o cultivo era destinado apenas à produção do açúcar. No final do século XVII ocorreu a primeira crise da atividade, pois não conseguiram concorrer com o preço da cana-de-açúcar produzida pelos holandeses nas Antilhas (BARROS, 2007; RODRIGUES, 2011).

Em 1.975 o Brasil retomou a agricultura da cana-de-açúcar e se tornou um dos países pioneiros na criação de combustíveis renováveis devido a implantação do Proálcool. O programa tinha como intuito fornecer subsídios para incentivar o cultivo da cana-de-açúcar e a modernização das usinas e seus equipamentos. A priori o foco era a produção de álcool anidro para ser misturado na gasolina, a fim de diminuir custos do combustível, e posteriormente, com a implantação dos veículos movidos a álcool, o objetivo passou a ser a produção do etanol hidratado (BARROS, 2007).

O álcool etílico, conhecido como etanol, pode ser produzido a partir da biomassa de algumas matérias-primas como a cana-de-açúcar. É uma fonte de energia renovável, sustentável e limpa quando comparada aos combustíveis fósseis como a gasolina, por exemplo (ETANOL, 2012).

2.1. Águas Subterrâneas

O planeta Terra possui aproximadamente 1.385.984 km³ de água e apenas 0,6% deste montante está disponível para consumo humano, os outros 99,4% são constituídos de água salgada ou de água doce não disponível por se encontrar em calotas polares ou aquíferos profundos (REBOUÇAS et. al., 2002). Do volume apresentado de água doce, 29,9% se encontram na forma de água subterrânea.

As águas subterrâneas vêm ganhando uma importância cada vez maior, pois além de possuírem maior volume da água doce explorável do Planeta, a qualidade das águas superficiais está diminuindo devido a ações antrópicas que causam a sua poluição, como lançamento de efluentes domésticos e industriais, uso inadequado, ausência de matas ciliares, dentre outros (CETESB, 2004; REBOUÇAS et. al., 1999 *apud* MINDRISZ, 2006).

Praticamente todos os países do mundo utilizam águas subterrâneas para suprir sua demanda de abastecimento doméstico, agrícola ou industrial; alguns países como Arábia Saudita e Malta, utilizam 100% de água subterrânea. No Brasil, aproximadamente 61% do uso doméstico é proveniente de água subterrânea, isto porque o país detém a rede hidrográfica mais extensa do globo e possui alguns dos maiores rios do Planeta, além de cerca de 12% das reservas de água doce do mundo, como pode ser visualizado na Figura 3 (REBOUÇAS et. al.,2002; MINDRISZ, 2006).



Figura 3- Distribuição de água no mundo. Fonte: ANA, 2012.

Entende-se por água subterrânea toda água que se localiza abaixo da superfície da Terra nos vazios intergranulares, poros, fissuras ou fraturas das rochas (Figura 4). Ela tem um papel importante na manutenção da umidade do solo, fluxo de rios, lagos e brejos, ao recarregar o lençol freático. No mesmo período em que as águas superficiais podem ser transportadas a uma velocidade de quilômetros por dia a água subterrânea percorre apenas alguns centímetros, isto porque está submetida à força gravitacional e de adesão, dependendo da composição química, física e biológica do solo ou rocha em que se encontra. Contudo, toda rocha que possui porosidade e permeabilidade é denominada de rocha aquífera, independentemente se está saturada ou não (BORGHETTI et. al., 2004; MINDRISZ, 2006).

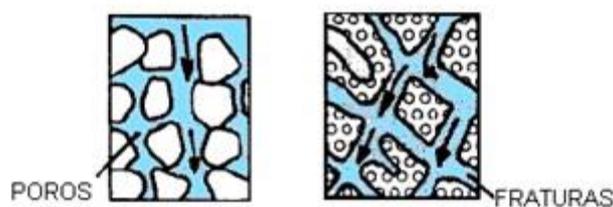


Figura 4- Poros e fraturas de rocha. Fonte: Zimbres, 2012.

As águas subterrâneas se comportam de maneira diferente no subsolo e podem estar contidas no solo ou nas rochas. O solo é um mineral não consolidado, constituído de sólidos, água e vapor e dividido em zona saturada e zona não saturada ou zona de aeração (FERNANDES, 1997).

Na zona de aeração os vazios do solo estão parcialmente preenchidos de água que fica aderida nas partículas do solo. Quanto menor a granulometria dos grãos, maior a força de adsorção dos mesmos. Esta zona é subdividida em três: zona de umidade do solo; franja capilar que possui umidade maior, pois está próxima à zona saturada e zona intermediária que é uma fase de transição entre a zona de umidade do solo e a franja capilar, como evidencia a Figura 5. Em alguns casos, quando a zona saturada está muito próxima à superfície as zonas intermediária e de umidade do solo não existem (ZIMBRES, 2012).

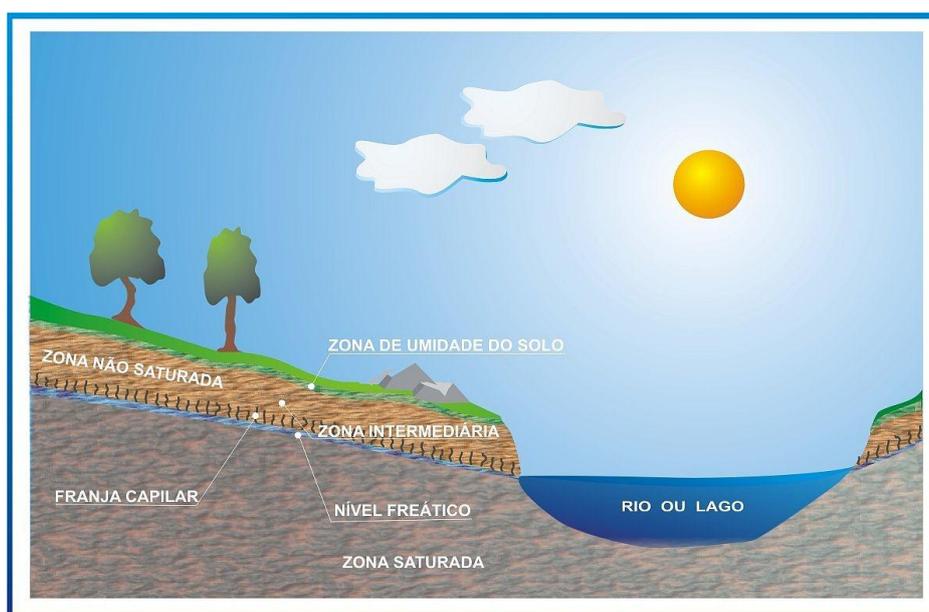


Figura 5- Zonas de ocorrência da água no solo de um aquífero freático. Fonte: Borghetti et al., 2004.

Durante o percurso da água que infiltra na superfície do solo até alcançar a zona saturada, o líquido passa por modificações das suas características devido a ações químicas, físicas e biológicas, tornando-se mais adequada para o consumo humano. Além de serem filtradas e purificadas no processo de percolação do solo, as águas subterrâneas têm outras vantagens, como extração próxima ao local de consumo, são menos suscetíveis a influências climáticas, apresentam grande proteção contra agentes poluidores, dentre outras (BORGHETTI et al., 2004; EPA, 1990 *apud* MINDRISZ, 2006; REBOUÇAS et. al., 2002).

A Resolução 396/08 do CONAMA define aquífera como um corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos. “Etimologicamente, aquífero significa: aqui = água; fero = transfere; ou do grego, suporte de água” (MINDRISZ, 2006).

De acordo com Zimbres (2012), o aquífero pode ser classificado quanto à pressão da água ou segundo o material saturado. Quando classificados quanto à pressão podem ser livres ou freáticos, os quais apresentam pressão interna do aquífero igual à pressão atmosférica. Estes poços são os mais comuns e apresentam maiores problemas de contaminação.

Podem também ser classificados como aquíferos artesianos, nos quais a zona saturada está entre camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão no topo da camada saturada é maior que a pressão atmosférica daquele ponto, sendo assim, quando perfurado um poço neste tipo de aquífero a água, devido à diferença de pressão, tende a subir, podendo até mesmo jorrar, caracterizando um poço jorrante (BORGHETTI et. al., 2004).

Quando classificado quanto à geologia do material saturado, o aquífero pode ser definido como: porosos, fraturados ou fissurados ou cársticos. Os aquíferos porosos ocorrem em rochas sedimentares e solos arenosos nos quais a água é armazenada no espaço entre os grãos da rocha. Estes aquíferos são hidraulicamente isotrópicos, ou seja, possuem a porosidade homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua em qualquer direção com a mesma velocidade de percolação (ZIMBRES, 2012).

Nos aquíferos fraturados ou fissurados a água está presente nas falhas ou fraturas das rochas ígneas e metamórficas, como as falhas não são homogêneas, nestes aquíferos a água tende a ter orientações preferenciais e por isso são meios aquíferos anisotrópicos. Os aquíferos cársticos são formados em rochas carbonáticas, a água se localiza nas

fraturas destas rochas e, através de reações químicas, dissolvem alguns minerais solúveis nas rochas calcárias (Figura 6). Desta forma podem atingir aberturas muito grandes, formando rios subterrâneos (ANA, 2007; ZIMBRES, 2012; MINDRISZ, 2006).

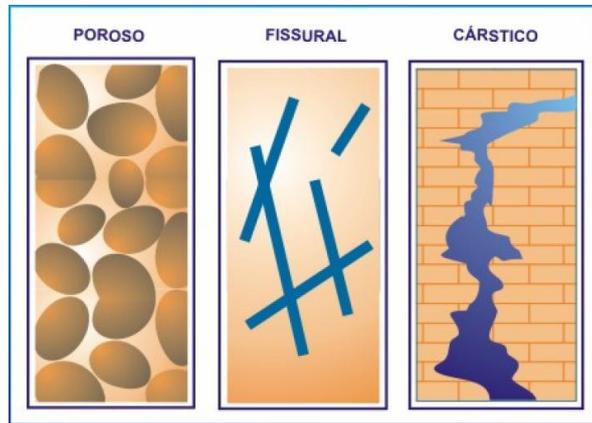


Figura 6- Tipos de aquíferos quanto a porosidade. Fonte: Borghetti et al., 2004; Zimbres, 2000 *apud* Mindrisz, 2006.

No Brasil cerca de 48% dos aquíferos existentes estão situados em terrenos sedimentares que ocupam em torno de 4.130.000 km²; já os terrenos cristalinos constituem os aquíferos cárstico-fraturados e fraturados, que ocupam cerca de 4.380.000 km², como visualizado na Figura 7 (ANA, 2007).

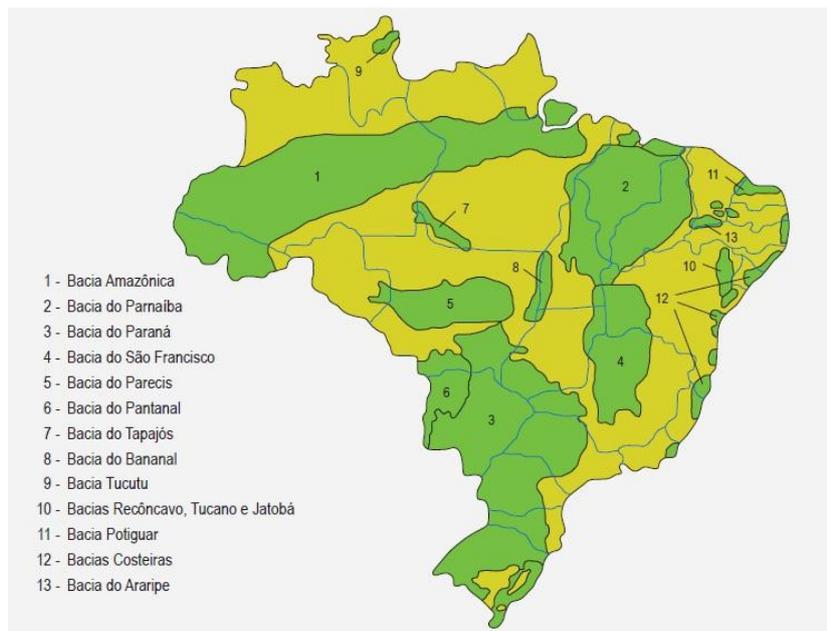


Figura 7- Principais domínios sedimentares (em verde) e cristalinos (amarelo). (Fonte: PETROBRÁS *apud* ANA, 2007).

2.2. Índice de qualidade das águas superficiais e subterrâneas

A água pura é incolor, insípida, transparente e inodora, porém, como é um ótimo solvente e uma substância extremamente ativa quimicamente, pode incorporar várias substâncias (FEITOSA et al., 2008). Por causa dessas substâncias dissolvidas na água para avaliar sua qualidade são necessários indicadores físicos, como cor, turbidez, sabor e odor; indicadores biológicos, que são a presença de algas e micro-organismos; e indicadores químicos, que são: pH, salinidade, dureza, corrosividade, metais pesados, compostos tóxicos, fenois, agrotóxicos, radioatividade, dentre outros (BRAGA et. al., 2005).

A Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005 estabelece valores máximos permitidos para cada parâmetro de acordo com a classificação do corpo d'água superficial e o seu respectivo uso.

As águas subterrâneas são enquadradas, pela Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008, em classes segundo os usos preponderantes. A resolução também estabelece valores máximos permitidos para parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas de acordo com seu uso. Esta classificação tem o intuito de prevenir e controlar a poluição das águas subterrâneas, pois quando contaminadas exigem processos lentos e custosos para sua recuperação.

Os valores dos parâmetros de qualidade da água têm pouco significado para a população de uma forma geral, sendo assim, a qualidade das águas pode ser retratada em um índice global, facilitando a interpretação do público (VON SPERLING, 2005).

Existem diferentes fórmulas para determinar o índice de qualidade da água - IQA, que levam em consideração diferentes parâmetros. No Brasil o índice mais utilizado é o IQA da CETESB, que se baseou em um estudo realizado pela "National Sanitation Foundation" dos Estados Unidos no ano de 1970 (CETESB, 2012).

O IQA_{CETESB} é o produtório ponderado da qualidade da água correspondente a nove parâmetros: temperatura da amostra, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez. Este índice mede a qualidade das águas superficiais e deve ser considerar todos os parâmetros, pois se não dispor algum dos parâmetros, o cálculo é inviabilizado (Fórmula 1).

$$IQA_{CETESB} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$$

Fórmula 1 – Produto ponderado da qualidade da água. Fonte: CETESB, 2012.

Em que:

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

n= número das variáveis que entram no cálculo;

qi = qualidade do i-ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise) e,

wi = peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Fórmula 2 – Somatória peso específico. Fonte: CETESB, 2012.

Foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de cada parâmetro para o cálculo do IQA. Estes gráficos representam a qualidade em função de sua concentração ou medida, bem como o seu peso relativo correspondente (Figura 8).

Depois de calculado o IQA, é determinada a qualidade das águas através do enquadramento do valor encontrado e os valores, que vão de 0 a 100, como mostra a tabela 1.

Categoria	Ponderação
Ótima	79 < IQA ≤ 100
Boa	51 < IQA ≤ 79
Regular	36 < IQA ≤ 51
Ruim	19 < IQA ≤ 36
Péssima	IQA ≤ 19

Tabela 1- Classificação do recurso hídrico através do cálculo do IQA. Fonte: CETESB, 2012.

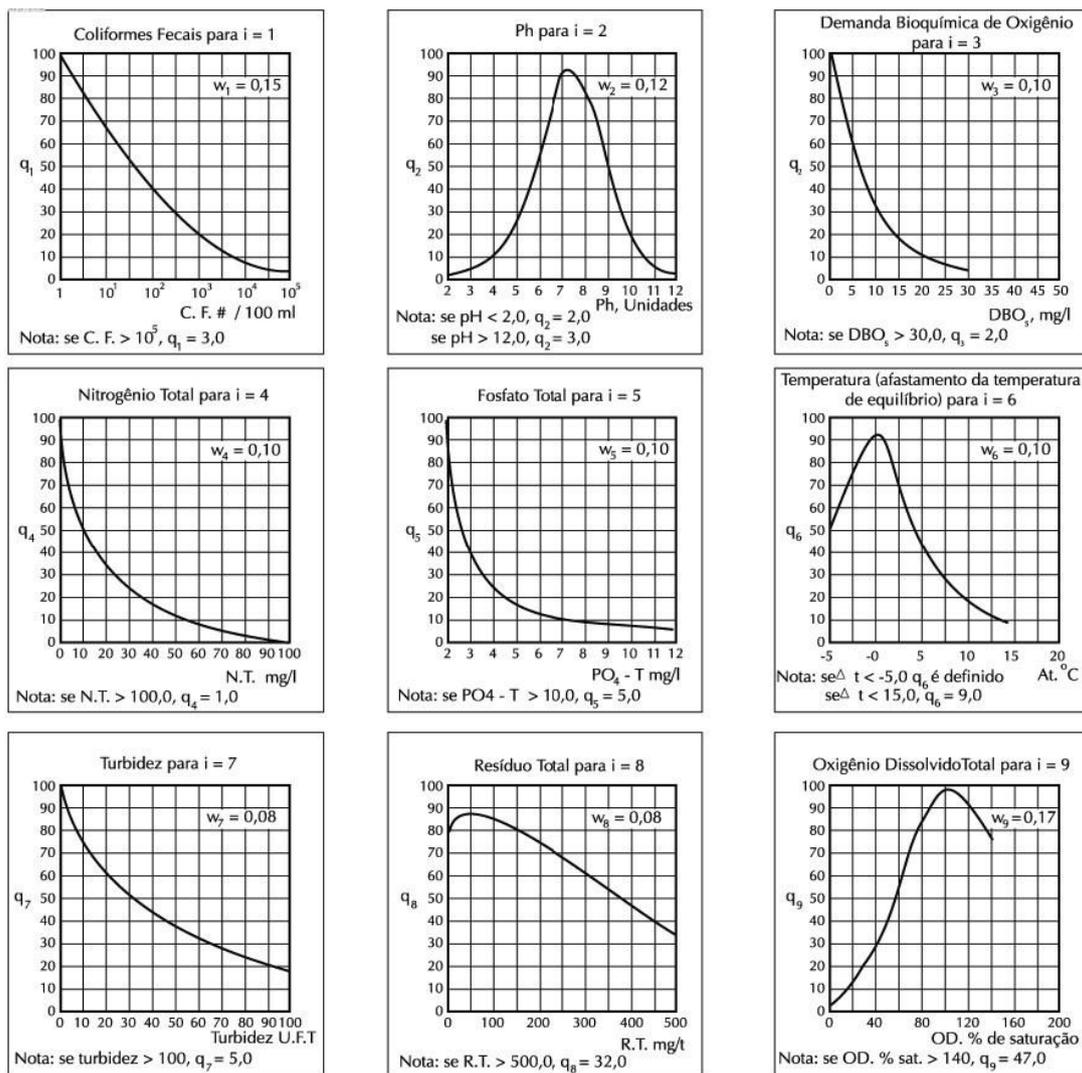


Figura 8- Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas. (CETESB, 2012).

Da mesma forma que existem diversas maneiras de avaliar a qualidade das águas superficiais, também existem meios variados para obtenção do Índice da Qualidade das Águas Subterrâneas.

A classificação da qualidade da água subterrânea pode ser obtida através de um conjunto de dados referentes a uma área ou determinado aquífero. Para a interpretação temporal e espacial de um conjunto de dados são utilizados métodos gráficos, como os diagramas. Os principais diagramas são: colunares, radial de Tickel, circulares, triangular simples, triangular de Piper, de Stiff, semi-logarítmico de Schoeller e histogramas (FEITOSA et. al., 2008).

Em classificação de água subterrânea, o diagrama triangular mais utilizado é o de Piper. O tipo hidroquímico é classificado de acordo com o íon ou grupo de íons

logarítmico de Schoeller é flexível e pode ser acrescido ou diminuído o número de elementos a serem representados de acordo com a necessidade. Neste tipo de representação os dados são plotados em papel semi-logarítmico e são mais utilizados para classificação de águas subterrâneas (OLIVEIRA; NEGRÃO e SILVA, 2007, p. 6).

Foram desenvolvidas metodologias de interpretação de qualidade das águas subterrâneas, pois a representação de suas características em diagramas é de difícil interpretação para o público. Estas metodologias não são tão difundidas quanto os índices de qualidade da água superficial e ainda estão em fase de desenvolvimento.

Oliveira, Negão e Silva (2007), desenvolveram o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS – baseando-se no IQA_{CETESB}. Os parâmetros necessários para a determinação deste índice são: pH, cloreto, nitrato, flúor, dureza e resíduos totais. O cálculo do IQNAS é similar ao IQA_{CETESB}, no qual o resultado é obtido através do produtório dos valores de qualidade (qi) de cada variável elevada ao seu peso (wi), como pode ser visto na Fórmula 3.

$$\text{IQNAS} = \text{Produto } (q_i^{w_i}) = q_1^{w_1} \times q_2^{w_2} \times q_3^{w_3} \times \dots \times q_n^{w_n}$$

Fórmula 3 – Cálculo do IQNAS.

Após realização do cálculo são atribuídas notas de qualidade, fixadas com base nos limites de potabilidade estabelecidos na Portaria nº518/2004, nos quais as águas são enquadradas como: ótima (nota de 80 a 100), boa (de 52 a 79), aceitável (de 37 a 51) e imprópria (de 0 a 36).

2.3. Poços de monitoramento

Poço é qualquer perfuração da qual se obtém água de um aquífero. Existem vários tipos de poços e de classificações para os mesmos, uma delas é a divisão dos poços em rasos e profundos. Os poços rasos são subdivididos em: poço escavado; ponteiros cravadas; poço trado; poço radial e galeria. Os poços profundos são caracterizados por possuírem profundidades que variam de 40 a 1.000m; são perfurados

com máquinas, e os métodos mais utilizados são os de percussão e rotativo (ZIMBRES, 2012).

O Brasil explora intensamente as águas subterrâneas, que são utilizadas para diversos fins, como o abastecimento humano, a irrigação, indústria e o lazer. A água subterrânea é utilizada exclusivamente por cerca de 15,6 % dos domicílios, 77,8 % usam rede de abastecimento de água e apenas 6,6 % usam outras formas de abastecimento. É importante ressaltar que as redes de abastecimento de água também se utilizam de água subterrânea. Em algumas regiões do país a utilização das águas subterrâneas são complementares às superficiais, mas em outras áreas do Brasil a água subterrânea representa o principal manancial hídrico, desempenhando importante papel no desenvolvimento socioeconômico nacional (ANA, 2007).

O poço possui altura da lâmina de água, a qual pode ser denominada de nível estático quando está em seu nível original, ou nível dinâmico, quando é bombeada (quando o poço é jorrante o nível estático é zero). Quando a água do poço é bombeada, conseqüentemente é gerado um gradiente hidráulico, desta forma, a água do aquífero tende a se locomover para um local de menor pressão, fazendo com que o nível estático seja recuperado após certo tempo em que a água do poço parou de ser bombeada (ZIMBRES, 2012).

Em áreas que possuam possíveis fontes de contaminação, como postos de combustíveis, aterros sanitários, tratamento de efluentes, manejo inadequado do solo etc., o órgão ambiental exige a instalação de poços de monitoramento. O objetivo da instalação destes poços é obter amostras de água subterrânea para analisar suas características físicas, químicas e microbiológicas no decorrer do tempo, obtendo-se o nível de qualidade hidrogeológica e o índice de contaminação.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008, monitoramento é a “medição ou verificação de parâmetros de qualidade ou quantidade das águas subterrâneas, em frequência definida”.

O projeto de construção de poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares está descrito na NBR (Norma Brasileira) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) nº 15495-1:2007, que substituiu a NBR 13859:1997, a qual dispunha sobre procedimentos para a construção de poços de monitoramento e amostragem (ABNT, 2012).

A resolução nº 15 do CNRH (Conselho Nacional de Recursos Hídricos) considera que todas as empresas perfuradoras de poços devem estar cadastradas junto ao

CREA (Conselho regional de engenharias e agronomia) e órgãos estaduais de gestão de recursos hídricos, isto porque a instalação inadequada dos poços de monitoramento pode acarretar na contaminação do aquífero (ANA, 2007). Os principais fatores construtivos de poços tubulares que podem causar a contaminação dos aquíferos são:

- *Não isolamento das camadas indesejáveis durante a perfuração, como, por exemplo, a parte de rochas alteradas mais superficiais, que são mais vulneráveis à contaminação.*
- *Ausência de laje de proteção sanitária e altura inadequada da boca do poço.*
- *Proximidade com pontos potencialmente contaminantes da água, como fossas, postos de gasolina e lixões.*
- *Não desinfecção do poço após a construção.*
- *Não cimentação do espaço anelar entre o furo e o poço, que facilita a entrada de águas superficiais. (ANA, 2007, p.95).*

De acordo com a norma técnica nº06.010 de abril de 1988 da CETESB deve haver, pelo menos, um poço de monitoramento a montante e três a jusante de uma pluma de contaminação ou local de possível potencial poluidor, e cada poço deve conter: revestimento interno, filtro, pré-filtro, proteção sanitária, tampão, sistema de proteção, selo, preenchimento e guias centralizadoras (Figuras 11 e 12).

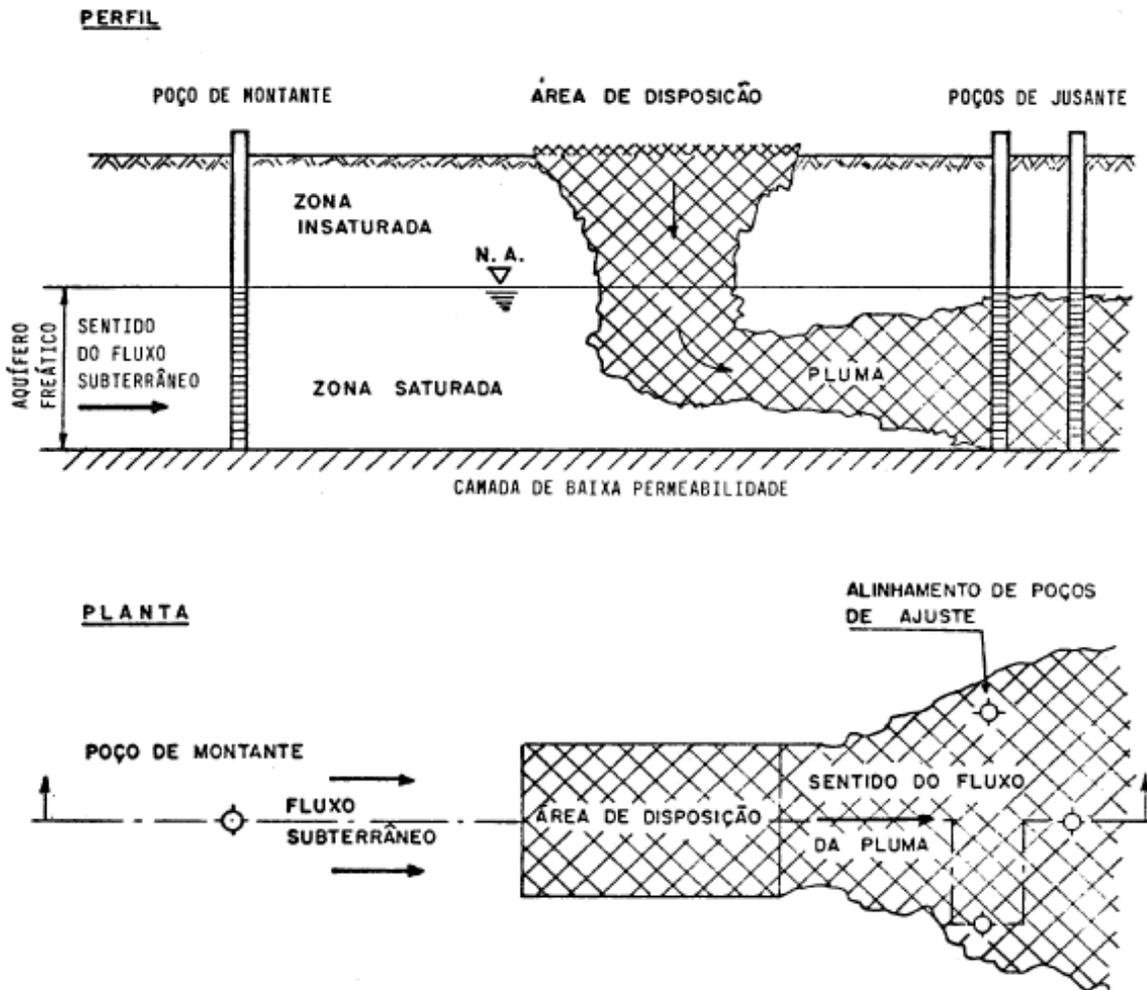


Figura 11- Disposição dos poços de monitoramento. Fonte: CETESB, 1988.

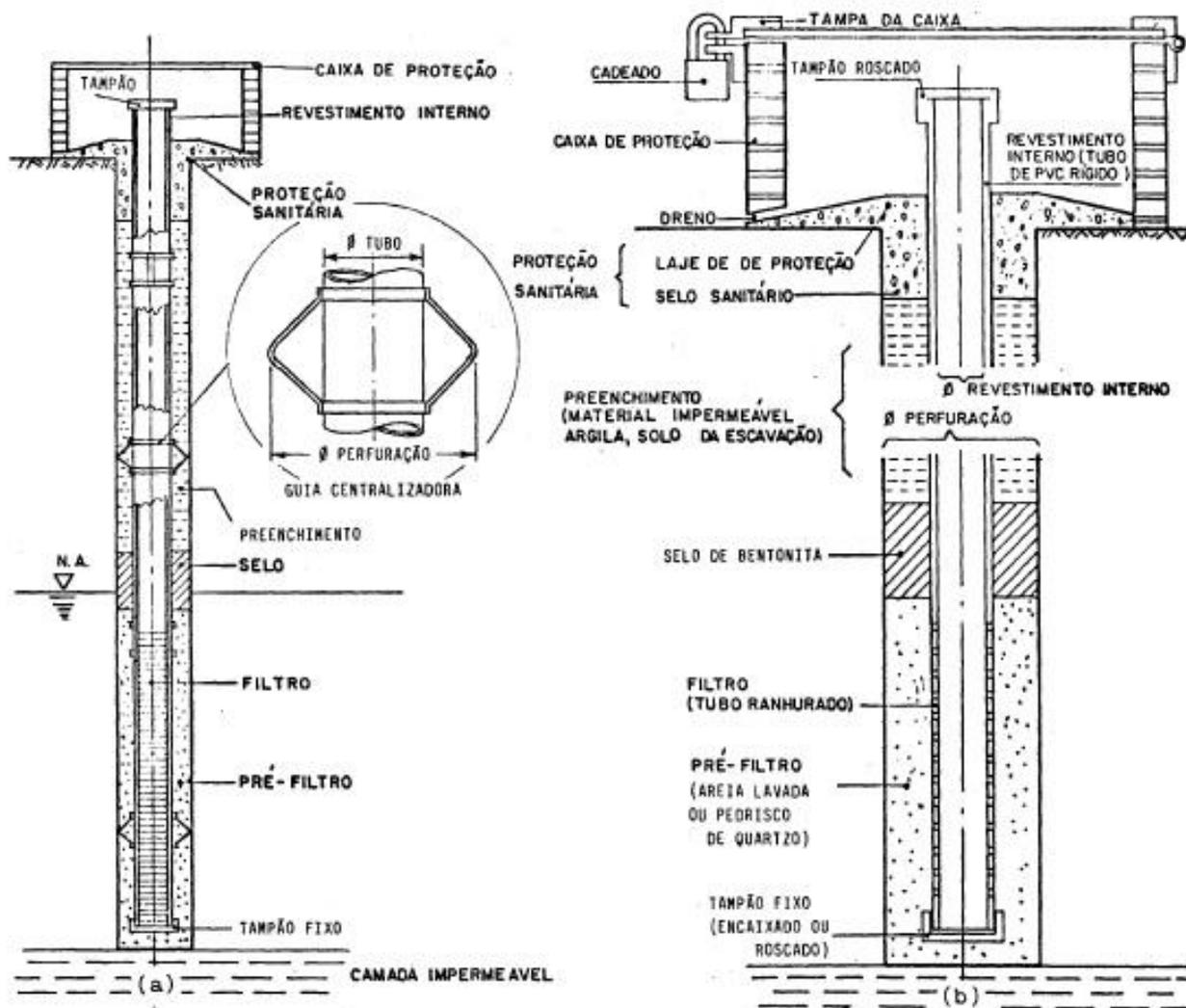


Figura 12- Perfil construtivo dos poços de monitoramento. Fonte: CETESB, 1988.

3.3. Vinhaça

A vinhaça é o principal subproduto da agroindústria canieira, pois além de ser produzida em grande quantidade, possui alto potencial poluidor. Na produção de álcool este efluente é resultante da destilação do álcool e fermentação da cana-de-açúcar, a vinhaça também pode ser gerada no processo de cristalização do caldo de cana na fabricação de açúcar. A constituição da vinhaça varia conforme a cana processada, mas em geral é rica em matéria orgânica e em nutrientes minerais como o potássio (K), o cálcio (Ca), magnésio, enxofre (S) e micronutrientes, possui elevada DBO e sua concentração hidrogeniônica é baixa (pH), variando entre 3,7 e 4,5. Estima-se que para

cada litro de álcool produzido são gerados em torno de 13 litros de vinhaça (LUDOVICE, 1996; ANA, 2007).

A composição química da vinhaça também varia conforme o processo de geração (Tabela 2). A vinhaça de melação é aquela gerada no processo de cristalização para fabricação do açúcar. O mosto de caldo é a mistura do caldo extraído nas moendas com ácido sulfúrico e nutriente, que serão utilizados no processo de fermentação. Por fim, a vinhaça de mosto misto é gerada da mistura do mosto de caldo e de melação (LUDOVICE, 1996).

Parâmetro	Mosto		
	Melação	Caldo	Misto
pH	4,2 – 5,0	3,7 – 4,6	4,4 – 4,6
Temperatura (°C)	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg*L ⁻¹ O ₂)	25.000	6.000 – 16.500	19.800
DQO (mg*L ⁻¹ O ₂)	65.000	15.000 – 33.000	45.000
Sólidos totais (mg/L)	81.500	23.700	52.700
Sólidos voláteis (mg/L)	60.000	20.000	40.000
Sólidos Fixos (mg/L)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg*L ⁻¹ N)	450 – 1.610	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg*L ⁻¹ P ₂ O ₅)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg*L ⁻¹ K ₂ O)	3.740 – 7.830	1.200 – 2.100	3.340 – 4.600
Cálcio (mg*L ⁻¹ CaO)	450 – 5.180	130 – 1.540	1.330 – 4.570
Magnésio (mg*L ⁻¹ MgO)	420 – 1.520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg*L ⁻¹ SO ₄)	6.400	600 - 760	3.700 – 3.730
Carbono (mg*L ⁻¹ C)	11.200 – 22.900	5.700 – 13.400	8.700 – 12.100
Relação C/N	16 – 16,27	19,7 – 21,7	16,4 – 16,43
Matéria Orgânica (mg/L)	63.400	19.500	3.800
Substâncias redutoras (mg/L)	9.500	7.900	8.300

Tabela 2- Composição química da vinhaça de diferentes tipos de mosto. Fonte: CETESB *apud* Ludovice, 1996, p.07, adaptado.

A princípio a vinhaça era lançada nos cursos hídricos, mas devido à degradação ambiental ocasionada, no ano de 1978 o Ministério do Interior publicou a portaria MINTER nº 323, de 29.11.78, que proibia o lançamento direto ou indireto da vinhaça e em qualquer corpo hídrico. Com a proibição do lançamento deste resíduo nos cursos d'água, a solução técnica encontrada foi a destinação da vinhaça em áreas de sacrifício, procedimento que possuía respaldo dos órgãos ambientais (ANA, 2009).

Atualmente a vinhaça é utilizada para introduzir água e nutrientes em áreas de plantio da cana-de-açúcar. A utilização para aplicação de vinhaça foi regulamentada no estado de São Paulo pela CETESB através da Norma P4.231 em 2005, revisada no ano de 2006. Apesar da aplicação mais usual da vinhaça ser no solo, existem algumas outras soluções para sua destinação como: concentração, tratamento químico e biológico, produção de biomassa, produção de energia e combustão (Figura 13).

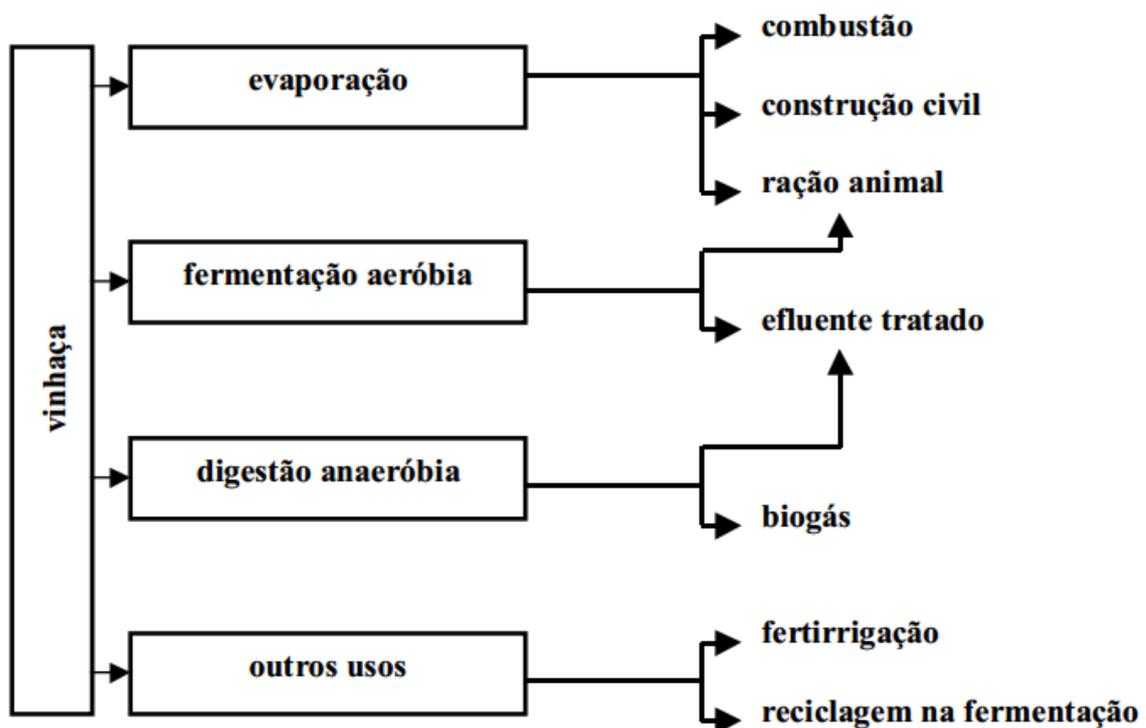


Figura 13- Grupos de opções tecnológicas para a destinação da vinhaça. Fonte: Corazza, 2001.

De acordo com Braga et al. (2005) cerca de 70% do consumo de água doce do mundo é utilizado para irrigação. Desta forma, a aplicação de vinhaça pode acarretar a redução do uso da água para esta finalidade.

Apesar de fornecer água e nutrientes para o solo, a introdução da vinhaça não pode ser feita dissolutamente, pois o seu uso indiscriminado pode comprometer o

ambiente e a rentabilidade do setor sucroalcooleiro. Embora possua consistência líquida, a vinhaça é considerada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) como um resíduo sólido, pois devido ao seu alto potencial poluidor, não existe tratamento eficiente e economicamente viável que permita o seu lançamento em corpos d'água.

O poder poluente da vinhaça decorre de altos níveis de DBO, riqueza em matéria orgânica, baixo pH e conseqüentemente alto poder de corrosão, elevada temperatura, e presença de elementos que em altas concentrações podem contaminar águas superficiais e subterrâneas, como fosfato e nitrato (SILVA; GRIEBELER; BORGES, 2007; ROSSETTO, 2007; DINIZ, 2010).

De acordo com a deliberação normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 164, de 30 de março de 2011, que estabelece normas complementares para usinas de açúcar e destilarias de álcool, referentes ao armazenamento e aplicação de vinhaça e águas residuárias no solo agrícola, a aplicação de vinhaça que é realizada “...sem critérios adequados e em altas taxas, pode levar à alteração das condições naturais da fertilidade do solo e problemas de salinização, e ainda criando condições de anaerobiose e risco de contaminação das águas superficiais e subterrâneas”.

Além de ocorrer a contaminação tanto do solo quanto do lençol freático quando introduzida alta concentração de vinhaça, pode acarretar em uma alta concentração de matéria orgânica e de metais, como amônia, magnésio, alumínio, ferro e cloreto (PIACENTE, 2005).

A aplicação de vinhaça em área de plantio visa atender três finalidades: destinação ambientalmente correta; melhoria na fertilidade do solo e ganhos econômicos pela substituição da adubação mineral (ANA, 2009). Apesar de ganhos nutricionais, a aplicação da vinhaça no solo deve considerar o tipo de solo e sua fertilidade, as características da vinhaça, as necessidades nutricionais da cultura, a topografia do terreno, o método de aplicação, dentre outros (GASI; SANTOS, 1984 apud DINIZ, 2010).

Atualmente, a produção nacional de cana-de-açúcar no Brasil é de 559,215 milhões de toneladas, sendo que deste montante é gerado 22.682.000 m³ de etanol (anidro e hidratado) (UNICA, 2013). Para cada litro de etanol produzido são gerados em torno de 13L de vinhaça, e admitindo-se a geração de 12L de efluente para cada litro de etanol produzido, são gerados em torno de 272,184 bilhões de litros de vinhaça no país.

No estado do Mato Grosso do Sul, a produção de etanol foi de 1.631.000 m³. Se consideradas as mesmas condições anteriores, o estado gerou e lançou no solo aproximadamente 19,572 bilhões de litros de vinhaça (Tabela 3).

Estados	Cana-de-açúcar (mil toneladas)	Açúcar (mil toneladas)	Etanol Anidro (mil m ³)	Etanol Hidratado (mil m ³)	Etanol Total (mil m ³)
Acre	53	0	0	3	3
Alagoas	27.705	2.348	348	325	673
Amazonas	287	15	0	6	6
Bahia	2.557	124	67	51	118
Ceará	120	0	0	8	8
Espírito Santo	4.180	122	143	81	224
Goiás	45.220	1.752	668	2.009	2.677
Maranhão	2.266	9	148	30	177
Mato Grosso	13.154	398	321	523	844
Mato Grosso do Sul	33.860	1.588	431	1.200	1.631
Minas Gerais	49.741	3.238	781	1.303	2.084
Pará	666	15	17	22	39
Paraíba	6.723	270	150	208	357
Paraná	40.506	3.008	368	1.034	1.402
Pernambuco	17.642	1.482	188	170	358
Piauí	992	60	36	2	37
Rio de Janeiro	2.174	130	0	76	76
Rio Grande do Norte	2.973	201	58	48	106
Rio Grande do Sul	95	0	0	7	7
Rondônia	157	0	0	12	12
Santa Catarina	0	0	0	0	0
São Paulo	304.230	21.068	4.755	6.842	11.598
Sergipe	2.548	96	40	93	133
Tocantins	1.366	0	77	34	111
Região Centro-Sul	493.159	31.304	7.466	13.076	20.542
Região Norte-Nordeste	66.056	4.621	1.127	1.012	2.139
Brasil	559.215	35.925	8.593	14.088	22.682

Tabela 3- Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2011/2012. Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2011/2012. Fonte: ÚNICA, ALCOPAR, BIOSUL, SIAMIG, SINDALCOOL, SIFAEG, SINDAAF, SUDES e MAPA, 2013.

3.5. Legislação Ambiental

A lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, comumente conhecida como Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, possuindo como uns dos princípios a racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar e o planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais, que são: a atmosfera, as águas interiores, superficiais e subterrâneas, os estuários, o mar territorial, o solo, o subsolo, os elementos da biosfera, a fauna e a flora.

Em 08 de janeiro de 1997 foi instituída a lei nº9.433 que estabeleceu a Política Nacional de Recursos Hídricos, baseada nos seguintes fundamentos: a água é um bem de domínio público, é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico, a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas.

A política de recursos hídricos do estado do Mato Grosso do Sul foi criada através da lei nº 2.406, de 29 de janeiro de 2002, que instituiu o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e deu outras providências. De acordo com esta lei algumas ações constituem infração das normas de utilização dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, dentre as quais estão inclusos “utilizar-se dos recursos hídricos ou executar obras ou serviços relacionados com os mesmos, em desacordo com as condições estabelecidas na outorga” e implantação de empreendimentos que utilizem águas superficiais ou subterrâneas, alterando o regime, a quantidade ou a qualidade dos mesmos, sem ter realizado outorga ou licenciamento ambiental. Atualmente, o estado de Mato Grosso do Sul realiza apenas o licenciamento ambiental dos poços, e não faz a outorga dos mesmos.

A classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas está disponível na resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº396 de 03 de abril de 2008. As águas dos aquíferos são classificadas quanto à sua qualidade e uso, sendo divididas em seis classes: classe especial e classes 1, 2, 3, 4 ou 5. O enquadramento do aquífero, conjunto de aquíferos ou porções destes deve ser realizado considerando sua caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica; sua vulnerabilidade e riscos de poluição; uso e ocupação do solo e histórico da área; cadastramento de poços existentes e em operação; localização de fontes potencialmente poluidoras; viabilidade técnica e econômica do enquadramento e sua qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.

A resolução CONAMA nº396 de 03 de abril de 2008 versa ainda sobre as condições e os padrões de qualidade das águas estabelecendo Valores Máximos Permitidos – VMP, para o respectivo uso das águas com ou sem tratamento, independentemente da classe de enquadramento. Seus anexos indicam valores máximos permitidos para alguns parâmetros de acordo com o enquadramento do aquífero.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, que é o órgão ambiental do estado de São Paulo, possui a norma técnica P4.231, que estabelece critérios e procedimentos para a aplicação da vinhaça no solo agrícola. Dentre as suas especificações, a norma estabelece que a profundidade do nível d'água do aquífero

livre, no momento de aplicação de vinhaça deve ser, no mínimo, de 1,50m (um metro e cinquenta centímetros).

De acordo com a norma técnica P4.231 da CETESB, devem ser instalados no mínimo quatro poços de monitoramento nas áreas dos tanques, sendo um a montante e três a jusante. Os poços de monitoramento também devem ser instalados nas áreas de fertirrigação, sendo dois poços a cada 10.000m². As construções dos poços devem atender às especificações definidas na norma NBR 13.895: 1997.

Ainda, segundo a norma técnica P4.231 da CETESB, a coleta das amostras de água dos poços de monitoramento devem ser realizadas semestralmente e devem determinar os seguintes parâmetros: pH, dureza, sulfato, manganês, alumínio, ferro, nitrogênio nitrato, nitrogênio nitrito, nitrogênio amoniacal, nitrogênio Kjeldhal, potássio, cálcio, cloreto, sólidos dissolvidos totais, condutividade elétrica e fenóis totais. Os resultados analíticos deverão ser comparados com os valores orientadores e com os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04, de 25/03/2004. Os poços de monitoramento são dispensados quando há a implantação de drenos testemunha.

A CETESB possui a norma nº 6.410 de 1988 que versa sobre amostragem e monitoramento das águas subterrâneas. “Essa norma fixa as condições exigíveis para construção de poços de monitoramento de aquífero freático e dados mínimos para apresentação de projeto de redes de monitoramento”.

Mato Grosso do Sul não dispõe de nenhuma legislação a respeito da exigência de poços de monitoramento em áreas de fertirrigação, porém lançou no ano de 2012 um Termo de Referência para elaboração de estudo de impacto ambiental (EIA), relatório de impacto ambiental (RIMA) e análise de risco de usina sucroalcooleira. Constam neste termo referências, orientações e informações gerais sobre os procedimentos administrativos necessários à regularização do empreendimento.

O referido termo de referência não dispõe especificamente sobre monitoramento de águas superficiais e subterrâneas, porém exige a caracterização dos recursos hídricos. Para os recursos hídricos superficiais deve ser apresentada a tipologia morfológica, a vazão, o enquadramento da respectiva classe de uso e os aspectos físicos, químicos e bacteriológicos dos mesmos, acompanhado da respectiva Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do profissional responsável.

Os resultados dos parâmetros devem ser analisados com base na Resolução CONAMA nº 357/05 e nele devem ser considerados no mínimo os seguintes

parâmetros: transparência da água; temperatura; condutividade elétrica; sólidos totais (suspensos e dissolvidos, fixos e voláteis); pH; oxigênio dissolvido; DBO; DQO; formas de nitrogênio (total, amoniacal, nitrito e nitrato) e de fósforo (total e fosfato); turbidez; cloretos; surfactantes; alumínio dissolvido; cádmio total; chumbo total; cobre dissolvido; cromo total; ferro dissolvido; manganês total; mercúrio total; níquel total; zinco total; fenóis totais; óleos e graxas; coliformes totais e termo tolerantes; densidade de cianobactérias; clorofila A; endossulfan; glifosato; trifluralina.

Quanto às águas subterrâneas o termo exige a apresentação da profundidade do nível do lençol freático; as características do fluxo subterrâneo (velocidade e direção preferencial); a proximidade de pontos de exploração de águas subterrâneas e superficiais e identificação de seus usos e poços piezométricos para monitoramento do freático nas áreas do empreendimento e fertirrigadas com pontos georreferenciados. A caracterização limnológica deve considerar no mínimo os parâmetros encontrados na tabela 4.

Densidade de cianobactérias	Óleos e graxas	Transparência da água	K (total e fosfato)	Cu dissolvido	N (total, amoniacal, nitrito e nitrato)
condutividade elétrica	DBO	Turbidez	Pb total	Fe dissolvido	Clorofila “a”
Sólidos totais	DQO	Cloreto	Cr total	Fenóis totais	Trifluralina
Manganês total	pH	Surfactantes	Ni total	Temperatura	Glifosato
Mercúrio total	OD	Al dissolvido	Zn total	Cd total	Endossulfan
Coliformes totais e termo tolerantes					

Tabela 4- Poços piezométricos para monitoramento do freático nas áreas do empreendimento e fertirrigadas com pontos georreferenciados. Fonte: IMASUL, 2012 adaptado.

Atualmente está em trâmite no estado um projeto de lei que visa a normatização do uso agrícola da vinhaça. O projeto dispõe sobre o armazenamento, distribuição e aplicação em solo agrícola da vinhaça e águas residuárias geradas pelas atividades sucroalcooleiras, e dá outras providências.

Diante de tudo o que foi exposto é de extrema importância o estudo do comportamento da vinhaça nas águas subterrâneas no decorrer do tempo, tendo em vista que a fertirrigação é a melhor destinação para a vinhaça, tanto em termos ambientais quanto econômicos. Este trabalho também deve servir de suporte para nortear a legislação ambiental do uso da vinhaça no estado do Mato Grosso do Sul.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. “**Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção**”. NBR 15495-1:2007. Rio de Janeiro, 2007.

ALMANÇA, Reinaldo. “**Avaliação do uso da vinhaça da cana-de-açúcar na geração de energia Elétrica (Estudo de caso)**”. Dissertação de Mestrado PIPGE USP. 1994

ANA – Agência Nacional de Águas. Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética / Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira – Brasília, 2009.

ANA – Agência Nacional das Águas. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 12. jun. 2012.

ANA – Agência Nacional das Águas. Caderno de Recursos Hídricos 5. Superintendência de planejamento de Recursos Hídricos. Brasília – DF. 2007. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 30 de jun de 2012.

BARROS, R. **Energia para um novo mundo**. Rio de Janeiro: CREA. s/d. 145 p.

BIOSUL – Associação dos Produtores de Bioenergia do Mato Grosso do Sul. Disponível em: <http://www.biosulms.com.br/arqv/serie_etanol.pdf>. Acesso em> 12. Jun. 2012.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; FILHO, E. F. R. **O Aquífero Guarani**. 2004. Curitiba.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente**, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=313>>. Acesso em: 26 de jun de 2012.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 26 de jun de 2012.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 20 de jan de 2013.

BRASIL. Resolução Conama nº01, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre definições, responsabilidades, critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 18 de jan de 2013.

BRASIL. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 53, 18 de mar. de 2005, seção I, p. 58-63.

BRASIL. Resolução Conama nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 66, 7 de abr. de 2008, seção I, p. 64-68.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://portalsnirh.ana.gov.br/>>. Acesso em: 03 de mai de 2012.

CAVALCANTI, P. M. S. **Avaliação dos Impactos Causados na Qualidade do Ar pela Geração Termelétrica**, Dissertação M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 15 de mai de 2012.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas**: 6.410. São Paulo. 1988.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Vinhaça**: critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola: P4.231. São Paulo. 2006.

CORAZZA, R. I. (2001). **Políticas públicas para tecnologias mais limpas: uma análise das contribuições da economia do meio ambiente**. Campinas: DPCT-IG/Unicamp (Tese de Doutorado).

DINIZ, K. M. **Subsídios para a Gestão dos Planos de Aplicação de Vinhaça (PAV): um estudo de caso da região de Piracicaba**. 2010. 102 p. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getulio Vargas, São Paulo.

ETANOL: uma atitude inteligente. **Cartilha Produzida pela União da Indústria de Cana-de-Açúcar**. Editora Globo S.A. Disponível em: <www.etanolverde.com.br>. Acesso em: 12 jun. 2012.

FERNANDES, M. **Influência do Etanol na Solubilidade de Hidrocarbonetos Monoaromáticos em Aquíferos Contaminados com Gasolina**, Dissertação M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 1997.

GOLDEMBERG, J. **Biomassa e energia**. Química Nova. São Paulo: USP, v. 32, n. 3, p. 582-587, 2009.

HASSUDA, S. **Impactos da infiltração da vinhaça de cana no aquífero Bauru**. 1989. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1989.

IMASUL – Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul. Disponível em: <<http://www.imasul.ms.gov.br/>>. Acesso em: 12. jun. 2012.

IMASUL – Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul. **Termo de Referência para Elaboração de Estudo de Impacto Ambiental, Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) e Análise de Risco de Usina Sucroalcooleira**. Disponível em: <<http://www.unisite.ms.gov.br/unisite/sites/imasul/>>. Acesso em: 05 de maio de 2012

LUDOVICE, M.T.F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. 1997. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –UNICAMP, Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000124559>>. Acesso em: 26/12/2012.

MATO GROSSO DO SUL. Lei n° 2.406, de 29 de janeiro de 2002. **Institui a Política Estadual dos Recursos Hídricos**, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e dá outras providências. Publicada no Diário Oficial n° 5.907, de 30 de dezembro de 2002.

MELLISSA, A. S. da Silva et al. citando FREIRE e CORTEZ, 2000, **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a14.pdf>> . Acesso em 10 jun 2012.

MINDRISZ, A. C. **Avaliação da Contaminação da Água Subterrânea de Poços Tubulares, por Combustíveis Fósseis, no Município de Santo André, São Paulo:**

Uma Contribuição à Gestão Ambiental, Tese Dr., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Águas Subterrâneas**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas>>. Acesso em 15 dez 2012.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **The current biodiversity extinction event: scenarios for mitigation and recovery**. *Proceedings*... 98, 2001, p. 5466-5470.

PIACENTE, F.J. **Agroindústria Canavieira e o Sistema de Gestão Ambiental**: o caso das usinas localizadas nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. 2005. 181p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – UNICAMP, Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000386200>>. Acesso em: 26/12/2012.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil, Capital Ecológico, Uso e Conservação**, 2.ed. ver. eamp. São Paulo, Escritura Editora, 2002, 702p.

REGO, E.E.; HERNANDÉZ, F.M. **Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar**. Contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. Encontro de Energia no Meio Rural, na. 06, 2.006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100053&script=sci_arttext>. Acesso em: 04/06/2.012.

RODRIGUES, José Augusto R. Do engenho à biorrefinaria: a usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 34, n. 7, 2011 .Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422011000700024&lng=en&nrm=iso>.access on 21 July 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422011000700024>.

SARCAZONA. 2001. Disponível em: <<http://sarcozona.org/2011/06/13/throwing-a-wrench-in-biogeochemical-cycles/>>. Acesso em: 12 jun. 2012.

SILVA, N. L. C. **Produção de Bioetanol de Segunda Geração a Partir de Biomassa Residual da Indústria de Celulose**, Dissertação M.Sc., Escola de Química/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2010.

SILVA, M. A. da, GRIEBELER, N. P., BORGES, C. **Uso de Vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v. 11, n. 1 p. 108-114, 2007.

SIMON, J. **Culturas Bioenergéticas**: Produção de Biomassa, Decomposição e Liberação de Nitrogênio dos Resíduos Culturais, Dissertação M.Sc, Centro de Ciências Rurais/UFSM, Santa Maria, RS, Brasil, 2009.

SANCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. Produção mundial de Etanol. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/>>. Acesso em: 06 de maio de 2012.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar. Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol – safra 2011/2012. Disponível em: < <http://www.unica.com.br/unicadata>>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2013.

VICHI, F.M.; MANSOR, M.T.C. **Energia, Meio Ambiente e Economia**: o Brasil no Contexto Mundial. Química Nova, vol. 32, 2009. 757-767 p. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a19v32n3.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2012.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos** (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; vol. 1). Belo Horizonte: DESA-UFMG, 452p. 2005.

ZHANG, J. & SMITH, K.R. (2007). **Household air pollution from coal and biomass fuels in China**: Measurements, health impacts, and interventions. Environ Health Perspect, v. 115, n. 6, p. 848–855.

ZIMBRES, E. **Guia Avançado Sobre Água Subterrânea**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br>>. Acesso em: 09 jun de 2012.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DE ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E MICROBIOLÓGICOS DE POÇOS DE MONITORAMENTO EM ÁREA APLICADA COM VINHAÇA

RESUMO

A vinhaça é um subproduto no processo de produção de açúcar e álcool. É comumente utilizada para a aplicação de vinhaça nas áreas de cana-de-açúcar, contudo apresenta alto potencial poluidor que pode contaminar o solo, a água superficial e subterrânea. Este trabalho visa avaliar a qualidade da água através do monitoramento de alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos em poços de monitoramento existentes em áreas de cana-de-açúcar irrigadas com vinhaça. Para isto foram analisados 14 parâmetros de qualidade da água em 17 poços de monitoramento distribuídos em área de 10.1380,23ha de aplicação de vinhaça de uma usina de açúcar e álcool no estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. As análises ocorreram semestralmente no período de 2009 a 2012. Através da Análise de Componentes Principais, aplicada separadamente às amostragens nos períodos seco e chuvoso, foi constatado que os poços se diferenciam pelo tempo de aplicação de vinhaça em sua área de entorno, sugerindo que os parâmetros avaliados de qualidade da água estão sendo influenciados pela aplicação de vinhaça. Os poços de monitoramento podem ser fontes de contaminação de água subterrânea, porém no presente estudo não foi observado valores que alterassem a qualidade da água subterrânea possivelmente pela capacidade de depuração do solo, pela aplicação de vinhaça adequadamente e correta construção dos poços seguindo a NBR n° 15495-1:2007.

PALAVRAS-CHAVE: Impacto ambiental; recursos hídricos; lençol freático; contaminação; hidrogeologia.

ABSTRACT

The vinasse is a spinoff of sugar and alcohol production. Due to this higher concentration of organic matter and water amount is usually used in fertigation in sugar cane production, however by having higher BOD, has a high pollution potential to the soil, surface water and groundwater. This work aimed to evaluate the water quality monitoring some physical, chemical and microbiological parameters in monitoring wells in sugar cane growing areas fertigated with vinasse. We analyzed 14 water quality parameters in 17 monitoring well in fertigation area from 2009 to 2012 in a sugar and alcohol plant in the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. Using a Principal Components Analysis, applied separately to rainy and dry period samples we observed that wells differentiate by the time of vinasse application in your influence area, suggesting that analyzed water parameters are being influenced by fertigation. The monitoring wells may be sources of contamination of groundwater, but in the present study was not observed values to alter the quality of groundwater possibly the ability to debug the soil, the properly application of vinasse and proper construction of wells following the NBR n° 15495-1:2007.

KEY-WORDS: Fertigation; sugar cane; environmental impact; water resources; groundwater, contamination, hydrogeology

1. INTRODUÇÃO

Desde a colonização do Brasil, o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) tem um papel importante no país, mas foi nos últimos tempos que a cultura aumentou continuamente devido à implementação, em 1975, do Programa Nacional do Álcool (Proálcool) aliado ao segundo choque do petróleo na década de 1980. Neste programa, o governo federal estimula a produção do álcool como combustível (RESENDE et. al., 2006; SILVA et. al., 2007).

Concomitantemente à fabricação do álcool, houve um aumento na geração de seus subprodutos, como o bagaço, que é utilizado para a cogeração de energia, a torta de filtro, o melaço, o óleo de fúsel, o álcool bruto e a vinhaça (PIACENTE, 2005). Estima-se que para cada litro de álcool fabricado são produzidos em torno de dez a dezoito litros de vinhaça, que é constituída por, aproximadamente, 90% de água, carga orgânica e minerais como: potássio, sódio, cálcio e magnésio, e caracteriza-se pelo alto poder de corrosão, baixo pH, alta Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e alta temperatura (PLAZA-PINTO, 1999; SOUZA, 2010).

1.1. Destinação da vinhaça

Durante muito tempo a vinhaça era lançada em corpos d'água. Quando lançada nos recursos hídricos causa uma depleção do oxigênio dissolvido, pois enquanto encontram-se valores máximos de 9mg/L de oxigênio dissolvido na água pura a 20°C (BRAGA et al., 2005), a vinhaça caracteriza-se por possuir DBO de, aproximadamente, 20.000mg/L a 35.000mg/L, ou seja, a demanda de oxigênio é muito maior que a oferta (ROSSETTO, 1987).

Em recursos hídricos superficiais o despejo da vinhaça pode deixar o meio hipereutrófico, pois é constituída de fósforo e nitrogênio que geralmente funcionam como nutrientes limitantes para a proliferação de algas. Algumas destas plantas aquáticas eliminam toxinas na água e sua alta quantidade aumenta a turbidez do meio, impedindo que os raios solares penetrem mais profundamente, diminuindo a introdução de oxigênio através da fotossíntese (VON SPERLING, 2005).

Além da diminuição da concentração de oxigênio dissolvido no corpo hídrico e da conseqüente diminuição da biodiversidade aquática existe o impacto causado pelo aumento brusco da temperatura, pois sai do processo produtivo com temperatura entre

85°C e 90°C. A temperatura é diretamente proporcional à velocidade das reações químicas, à solubilidade das substâncias e ao metabolismo dos organismos presentes no meio aquático (LIBÂNIO, 2005; ROSSETTO, 1987).

Os efeitos da alteração hídrica pela vinhaça prejudicam o abastecimento de água para uso doméstico, industrial e econômico, sendo assim, em 1978 o Ministério do Interior publicou a portaria MINTER nº 323, de 29.11.78, proibindo o lançamento direto ou indireto da vinhaça em qualquer corpo hídrico. De acordo com Corazza (2001), a solução encontrada foi depositar o resíduo em áreas de sacrifício, que acabaram se tornando um enorme passivo ambiental.

Por ser rica em água e nutrientes quando introduzida na quantidade adequada, a vinhaça promove a melhoria da fertilidade do solo, sendo assim, vem sendo utilizada como fertilizante em áreas de plantio de cana-de-açúcar.

Quando utilizado sem critérios adequados e em alta taxa, este subproduto pode ocasionar a salinização do solo, alterar suas condições naturais da fertilidade, atingir e contaminar as águas subterrâneas e acarretar uma alta concentração de matéria orgânica e de metais, como amônia, magnésio, alumínio, ferro e cloreto (COPAM, 2011; PIACENTE, 2005). Para evitar a contaminação, a aplicação de vinhaça deve levar em consideração as características do solo e suas necessidades nutricionais.

No estado de São Paulo, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), através da norma P4.231 de 2006, estabelece a dosagem máxima de vinhaça a ser aplicada no tratamento de solos agrícolas, determinada pela equação abaixo:

$$\text{m}^3 \text{ de vinhaça/ha} = [(0,05 \times \text{CTC} - \text{ks}) \times 3744 + 185]/\text{kvi} \quad (1)$$

em que:

0,05 = 5% da CTC

CTC = Capacidade de Troca Catiônica, expressa em cmolc/dm³, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo e utilizando metodologia de análise do solo do Instituto Agrônômico - IAC, devidamente assinado por responsável técnico.

ks= concentração de potássio no solo, expresso em cmolc/dm³, à profundidade de 0 a 0,80

metros, dada pela análise de fertilidade do solo realizada por laboratório de análise de solo utilizando metodologia de análise de solo do Instituto Agrônomo – IAC , devidamente assinado por responsável técnico.

3744 = constante para transformar os resultados da análise de fertilidade, expressos em cmolc/dm^3 ou meq/100cm^3 , para kg de potássio em um volume de 1 (um) hectare por 0,80 metros de profundidade.

185 = massa, em kg, de K_2O extraído pela cultura por hectare, por corte.

kvi= concentração de potássio na vinhaça, expressa em kg de K_2O / m^3 , apresentada em boletim de resultado analítico, assinado por responsável técnico.

1.2. Contaminação da água subterrânea e parâmetros de qualidade

Devido à capacidade do solo em atenuar e depurar grande parte dos resíduos, ele é utilizado para a disposição dos mesmos. Entretanto, a capacidade de retenção do solo pode ser ultrapassada e ocasionar a contaminação do aquífero (CETESB, 2012).

A contaminação da água subterrânea ocorre quando os poluentes superam a sua proteção natural. Esta vulnerabilidade dependerá das características litológicas e hidrogeológicas dos estratos que separam o aquífero do contaminante, e dependerá também dos gradientes hidráulicos que determinam os fluxos e o transporte das substâncias contaminantes (ZIMBRES, 2012; MINDRISZ, 2006). Tais características estão relacionadas ao tipo de solo e à profundidade do aquífero.

Existem duas formas de contaminação do aquífero, as de fontes difusas que são de baixa concentração e atingem grandes áreas, como a percolação de nitratos e pesticidas utilizados na agricultura, por exemplo, ou pontuais, nos quais a contaminação ocorre em uma pequena área específica como é o caso da poluição por matéria orgânica a partir de fossas sépticas, postos de combustíveis, aterros sanitários, dentre outros (BRAGA et al., 2005).

As principais fontes de contaminação das águas subterrâneas podem ser pela disposição inadequada de resíduos sólidos, falta de saneamento, indústria, postos de combustíveis, cemitérios, mineração e agricultura. A contaminação mais perigosa é a ocasionada por produtos químicos, que pode acarretar danos irreversíveis (ANA, 2007; MINDRISZ, 2006).

Nas últimas décadas o aumento da produtividade da agricultura no Brasil está diretamente associado ao uso de fertilizantes e agrotóxicos, pois a quantidade de fertilizantes utilizados no país cresceu duas vezes e meia entre os anos de 1992 e 2002 (IBGE, 2004 *apud* ANA, 2007).

O uso intensivo de compostos químicos na agricultura propicia o aparecimento destes compostos nas águas subterrâneas. O nitrogênio é o elemento que apresenta maior impacto na água, pois aparece na forma de nitrato, substância que possui alta mobilidade na água, podendo contaminar extensas áreas. Em áreas de produção de cana-de-açúcar, a utilização da vinhaça como fertilizante é amplamente difundida. Por esta ser um subproduto gerado no processo de destilação do álcool e fabricação do açúcar, é rica em potássio, cálcio, magnésio, enxofre e micronutrientes. Estima-se que para cada litro de álcool produzido são gerados em torno de 13 litros de vinhaça com diferentes teores de potássio de acordo com a origem (ANA, 2007).

A área fertirrigada muitas vezes recebe maior dose de vinhaça que o recomendado, pois a quantidade gerada no processo produtivo da usina é muito alta e deve haver uma destinação para ele. Sendo assim, aumenta-se o risco de contaminação do aquífero pela vinhaça.

A qualidade da água de determinado local é consequência de fatores naturais e antrópicos, mas de acordo com o tipo de uso, pode-se admitir uma qualidade diferente do que o recurso hídrico apresenta (VON SPERLING, 2005). De acordo com Molozzi *al.* (2006), parâmetros de qualidade da água são fundamentais para avaliação da interferência antrópica no meio.

Existem vários parâmetros de qualidade da água que traduzem as características do ambiente, alguns deles possuem valores padrão estabelecidos para que se possa comparar e, com isto, avaliar as condições de qualidade da água. Os parâmetros mais usuais são: temperatura, turbidez, condutividade específica, pH (potencial hidrogeniônico), nitrogênio, fósforo, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD), sólidos, resíduos, coliformes fecais e termotolerantes (VON SPERLING, 2005).

1.2.1. pH

O potencial hidrogeniônico (pH) consiste na concentração de íons H⁺ na água, representando a intensidade das condições ácidas e básicas no meio. A amplitude do pH

é de 0 a 14, sendo 7 o pH neutro; para valores superiores a 7 o meio é alcalino (básico), e valores menores que a neutralidade caracterizam um pH ácido. O valor do pH afeta as reações químicas, o grau de solubilidade de diversas substâncias e a distribuição de compostos químicos (LIBÂNIO, 2005).

1.2.2. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é um parâmetro físico relacionado à capacidade da água em conduzir corrente elétrica, que está diretamente ligada à concentração de sais dissolvidos sob a forma de íons. À medida que a temperatura aumenta, o valor de condutividade elétrica também sobe (FEITOSA et al., 2008).

1.2.3. Cor e turbidez

A água pura é virtualmente ausente de cor, o que gera cor na água é a presença de substâncias dissolvidas e em suspensão. Devido à presença destes sólidos ocorre a diminuição na intensidade da luz ao atravessá-la (por causa da absorção da radiação eletromagnética) provocando cor na água. Diferencia-se cor aparente da cor verdadeira. No valor encontrado para a cor aparente são considerados os sólidos dissolvidos e parte dos sólidos em suspensão, já a cor verdadeira representa apenas os sólidos dissolvidos na água (BRAGA et al., 2005).

Um parâmetro que está associado à cor é a turbidez, medida pela dificuldade de transmissão da luz na água provocada pelos sólidos em suspensão. A presença destas partículas causa dispersão e absorção da luz dando à água uma aparência escura. Os sólidos totais correspondem à carga sólida presente na água, tanto os sólidos que estão em suspensão (sedimentáveis e não sedimentáveis) quanto os dissolvidos (voláteis e fixos) (BRAGA et al., 2005; FEITOSA et al., 2008).

1.2.4. Fósforo (P) e nitrogênio (N)

A grande quantidade de nutrientes na água pode levar ao crescimento excessivo de alguns organismos aquáticos afetando a qualidade dos recursos hídricos

tanto superficiais quanto subterrâneos. A proliferação exacerbada de algas é causada pela grande quantidade de nutrientes no meio, em especial os sais de nitrogênio e fósforo que geralmente são nutrientes limitantes para o seu crescimento (BRAGA et al., 2005; VON SPERLING, 2005).

O fósforo (P) é encontrado em mais de 250 minerais. Sua concentração na água pode ser causada pelas reações biogeoquímicas do meio ou por ação antropogênica, como lançamento de efluentes, fertilizantes, inseticidas, dentre outros (FEITOSA et al., 2008). As concentrações de fósforo em águas naturais geralmente são baixas. Valores superiores a 1,0mg/L de P na água geralmente é um indicativo de poluição (MATHESS e HARVEY, 1982 *apud* FEITOSA, 2008).

O aumento de nutrientes favorecem também alguns micro-organismos, sendo assim, a fertirrigação poderá provocar o aumento da atividade metabólica da microfauna tanto do solo quanto da água subterrânea. Um nutriente que é encontrado na vinhaça, por exemplo, é o nitrogênio, elemento essencial à vida dos micro-organismos. Além disso, ao percolar pelo solo, a vinhaça carrega vários organismos presentes no solo para os recursos hídricos subterrâneos.

Segundo Feitosa et. al. (2008), o nitrogênio ocorre em várias formas e estados de oxidação resultantes de diversos processos biogeoquímicos. Um destes processos é a nitrificação que ocorre em duas etapas. Na primeira etapa, as bactérias do gênero nitrosomonas oxidam a amônia (NH_3) e produzem o nitrito (NO_2^-), posteriormente as bactérias do gênero nitrobacter transformam o nitrito em nitrato (NO_3^-).

Nitrogênio total é a somatória do nitrato com nitrogênio total Kjeldahl, este, por sua vez, é a somatória de nitrogênio na forma orgânica com amônia (LUDOVICE, 1997).

O nitrato é um indicador de poluição difusa da água subterrânea. Este nutriente pode ser considerado persistente e sua retirada é onerosa e tecnicamente inviável (CETESB, 2012). De acordo com Feitosa et al. (2008), a concentração de nitrato nas águas subterrâneas varia entre 0,1 a 10mg/L; então, valores superiores indicam possível contaminação.

1.2.5. Coliformes

As características biológicas da água são determinadas pela presença de vegetais e animais que é mensurada através de exames bacteriológicos e hidrológicos. Alguns organismos podem provocar doenças e levar até a morte. Em análises de água é muito comum a avaliação da quantidade de coliformes existentes expresso em NMP (número mais provável) em 100ml de água. Essas bactérias são encontradas nos intestinos de animais superiores e sua presença pode indicar a contaminação por efluente doméstico (LIBÂNIO, 2005).

1.2.6. Oxigênio dissolvido (OD)

O parâmetro mais importante para expressar a qualidade de um ambiente aquático é o Oxigênio Dissolvido (OD), que está associado a processos físicos, químicos e biológicos. Refere-se à concentração de oxigênio dissolvido como percentual da concentração de saturação, e seu valor na água pura a 20°C é de 9mg/L. A existência da vida aquática depende do oxigênio dissolvido, cada organismo possui uma exigência de sua concentração (BRAGA et al., 2005).

O oxigênio é um gás pouco solúvel em água e sua solubilidade está relacionada com a temperatura, a pressão e os sais dissolvidos. Além disso, a maior parte do oxigênio dissolvido que infiltra no solo é consumido na oxidação da matéria orgânica, então a maior parte das águas subterrâneas tem concentração de oxigênio não muito altas, variando entre 0 e 5mg/L (FEITOSA et al., 2008).

Outros parâmetros químicos de extrema importância na avaliação de qualidade da água são a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) (LIBÂNIO, 2005).

A DQO serve para mensurar a quantidade de matéria orgânica presente no meio, biodegradável ou não, baseada na quantidade de oxigênio consumido para oxidá-la em meio a um agente químico oxidante forte. Em águas subterrâneas valores de DQO acima de 10 mg/L de O₂ podem indicar contaminação. A vantagem é a rapidez no teste de DQO, variando de 2h a 3h de duração (FEITOSA, 2008).

A DBO expressa a quantidade de oxigênio necessária para a estabilização biológica da matéria orgânica realizada por micro-organismos aeróbicos em um

determinado tempo. O tempo de referência mais usual é de 5 dias e a temperatura padrão é de 20°C. A amostra de água fica encubada durante este período à temperatura constante, analisa-se a concentração de OD inicial e final e obtém-se o valor de DBO_{5,20}. Geralmente nas águas subterrâneas as medidas de DBO não ultrapassam 5mg/L de O₂, sendo assim, valores mais elevados podem indicar contaminação (VON SPERLING, 2005; FEITOSA, 2008).

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi avaliar a influência da aplicação de vinhaça na qualidade de água do lençol freático em uma área cultivada com cana-de-açúcar através do estudo sistemático de alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos em poços de monitoramento. Os objetivos secundários foram: comparar e analisar os parâmetros hidrobiológicos dos dezessete poços de monitoramento em área de fertirrigação com vinhaça no decorrer de três anos e meio; analisar a qualidade da água subterrânea através do comparativo dos parâmetros hidrobiológicos dos poços de monitoramento com os seus valores máximos permitidos de acordo com a resolução CONAMA nº 396, de 03 de Abril de 2008.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo é delimitada pelas coordenadas 21°44'05.1977" de latitude sul e 54°29'55.7710" de longitude oeste. Toda extensão contém 16 poços de monitoramento, construídos de acordo com a NBR (Norma Brasileira) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nº 15495-1:2007. Os poços fazem parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, Sub bacia do Rio Ivinhema (IMASUL, 2012).

A quantidade e localização dos poços foram definidas através de exigência técnica no licenciamento ambiental do empreendimento pelo IMASUL – Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul, que é o órgão ambiental estadual responsável pela fiscalização e controle ambiental.

A área de estudo recebe aplicação de vinhaça através da aspersão por canhões que a captam em canais secundários e correspondeu a um total de 10.138,23ha no ano de 2011. Os poços estão distribuídos na área conforme evidencia a Figura 14.

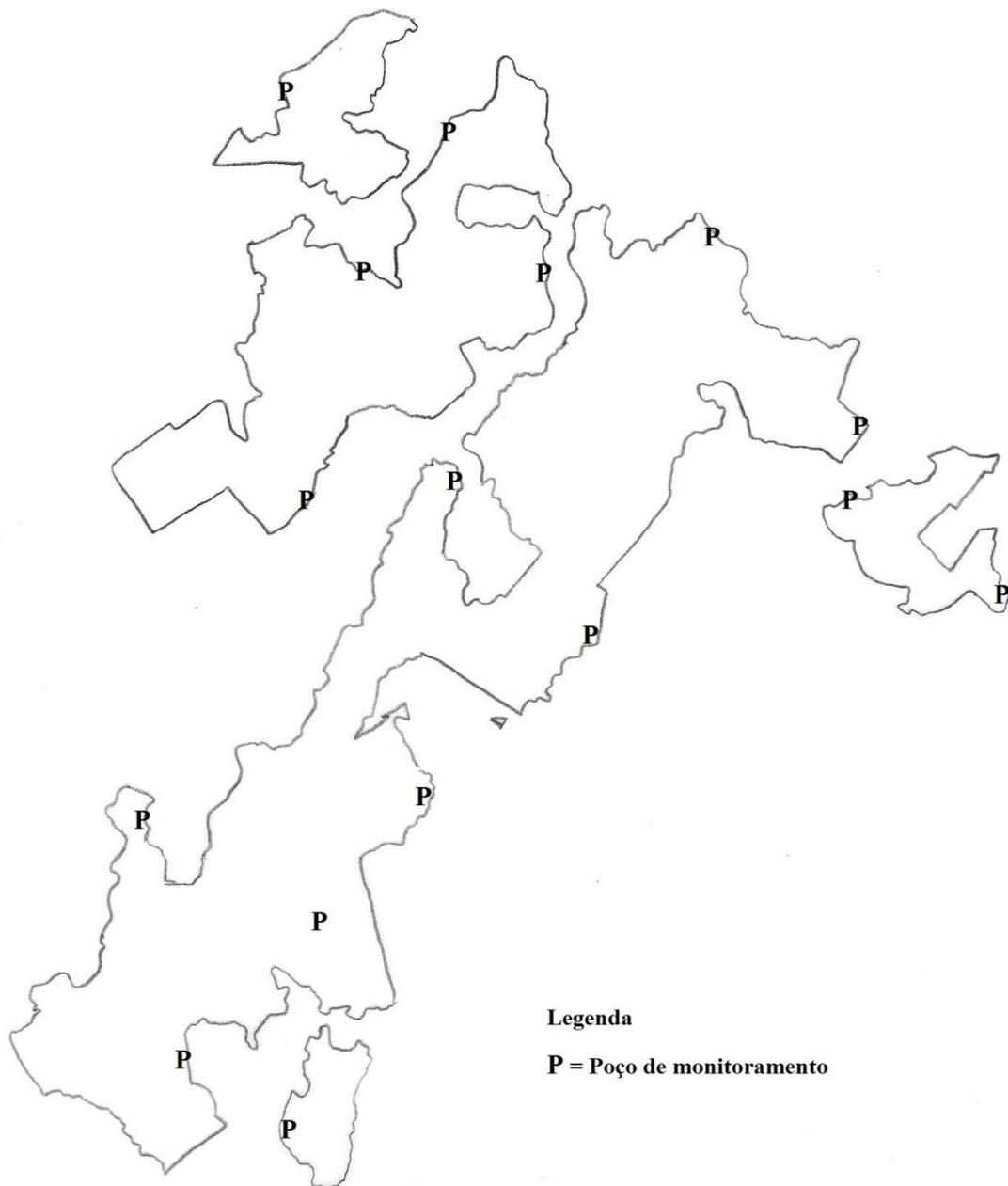


Figura 14 – Área de aplicação de vinhaça em 2011. Fonte: Autor, 2013.

O projeto e construção de poços de monitoramento de águas subterrâneas seguem a NBR (Norma Brasileira) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) n° 15495-1:2007 (Figura 15).

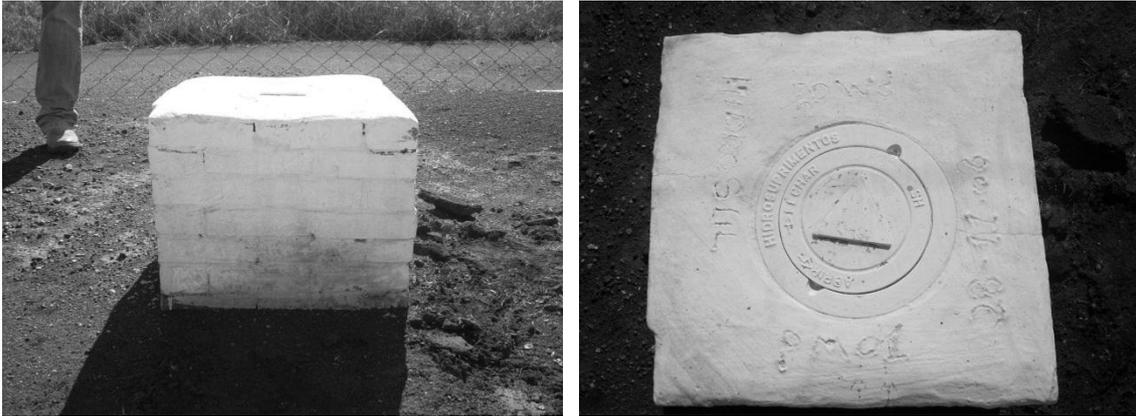


Figura 15- Foto esquemática de um dos poços de monitoramento. Fonte: Autor, 2013.

As análises das águas subterrâneas foram realizadas semestralmente, através de amostragem simples no período de 2009 à 2012. A água de cada poço foi retirada utilizando um amostrador descartável de água subterrânea, o bailer. Foram utilizados bailers para captação da água dos poços de monitoramento, sendo que, para cada poço foi utilizado um bailer que depois era descartado para evitar contaminação e possíveis erros amostrais.

Para realizar a captação de água, o bailer é imergido no poço até ser cheio de água, posteriormente esta água é despejada, com ajuda de um bico, em um recipiente de alumínio, este procedimento é feito até que se consiga o volume de água necessário para realizar as análises. A água então é transferida para frascos esterilizados e identificados que são armazenados em recipiente térmico com gelo (Figuras 16 e 17).



Figura 16 - Coleta de água para análises. Fonte: Autor, 2013.



Figura 17 - Coleta e armazenamento de água para análises. Fonte: Autor, 2013.

Os parâmetros analisados foram: condutividade, cor aparente, DBO 5,20 (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), fosfato total, nitrato, nitrito, nitrogênio amoniacal total, nitrogênio total Kjeldahl, OD (Oxigênio Dissolvido), pH, sólidos totais, turbidez, coliformes totais e fecais. Além disso, é medido o nível estático e profundidade de cada poço tubular profundo.

A metodologia utilizada nos testes laboratoriais foi realizada de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), 21st Edition.

- Amônia: SMEWW 4500-NH3 F- Phenate Method
- Condutividade: SMEWW 2510 - Laboratory Method
- DBO: SMEWW 5210 B - 5 Days BOD Test
- DQO: SMEWW 5220 C - Closed Reflux, Titrimetric
- Fosfato total: SMEWW 4500-P E - Ascorbic Acid Method
- Nitrato: SMEWW 4500 NO3 E - Cadmium Reduction Method.
- Nitrito: SMEWW 4500 NO2 B - Colorimetric Method
- Nitrogênio total Kjeldahl: SMEWW 4500-Norg B - Macro-Kjeldahl Method
- Oxigênio dissolvido: SMEWW 4500-O C - AzideModification
- pH: SMEWW 4500-H+ - EletrometricMethod
- Sólidos dissolvidos totais: SMEWW 2540 C - Total DissolvedSolidsDriedat 180°C
- Coliformes: SMEWW 9223 B - EnzymeSubstrateColiform Test

Os dados de todos os parâmetros foram analisados separadamente para cada estação (seca e chuvosa) através de uma Análise de Componentes Principais – PCA, utilizando o software vegan, plataforma R.

Foram realizadas análises descritivas para os parâmetros nitrato, nitrito e sólidos totais dissolvidos através do programa estatístico Bioestat para visualizar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes. Além disso, cada um destes três parâmetros foi comparado no decorrer de três anos de meio com o seu respectivo valor máximo permitido de acordo com a resolução CONAMA nº 396, de 03 de abril de 2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos dois primeiros eixos da PCA, para os dados do período chuvoso, foi possível explicar 56,1% da variação nos dados, sendo que o primeiro eixo foi influenciado principalmente por cor, nitrogênio amoniacal, nitrato e DBO enquanto o segundo eixo está associado principalmente a coliformes totais, nitrogênio total e pH. Para o período seco os dois primeiros eixos da PCA permitiram explicar 51,4% da variação nos dados, sendo o primeiro eixo influenciado principalmente pela concentração de nitrogênio total e cor enquanto o segundo eixo foi influenciado principalmente pela turbidez e sólidos totais dissolvidos (Figura 18).

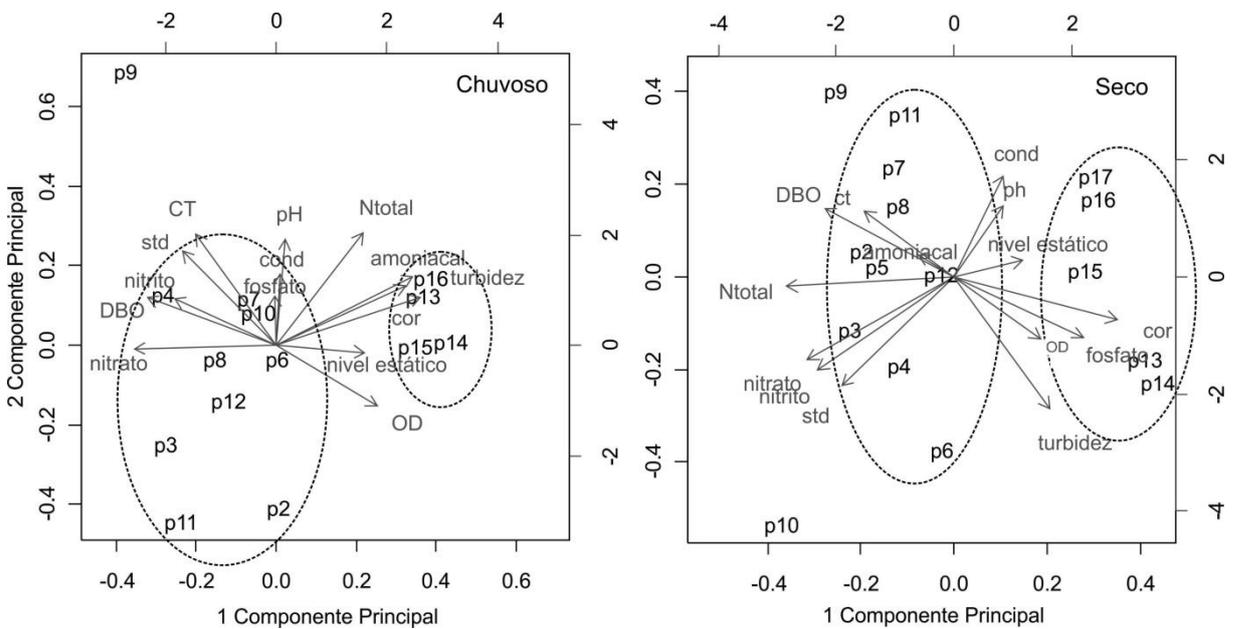


Figura 18 - Diagrama de dispersão dos primeiros eixos da Análise de Componentes Principais (PCA) dos dados físicos, químicos e microbiológicos da água de poços de monitoramento em área de cana-de-açúcar irrigada por vinhaça. Fonte: Autor, 2013

Em ambas as estações se constata uma clara separação dos poços de monitoramento de acordo com o tempo de aplicação de vinhaça, poços que receberam menor quantidade de aplicação de vinhaça diferenciaram de poços com maior tempo de aplicação corroborando com o trabalho de Ludovice (1997) que observou que o tempo interfere no processo de contaminação. O pesquisador concluiu que em decorrência de longos períodos de condução de vinhaça, o solo tem o seu poder de depuração comprometido aumentando assim, as chances da vinhaça atingir e contaminar lençóis de água subterrâneos.

Pereira et al. (2012) constataram que lixiviados de vinhaça estão presentes em solo areno silto-argiloso, mesmo anos após a interrupção da aplicação de vinhaça. Estudaram o subsolo de um tanque de aplicação de vinhaça sem impermeabilização que funcionou por 14 anos (do ano de 1980 a 2004). “Os ensaios de lixiviação visaram identificar quais elementos são prontamente solúveis e geoquimicamente reativos com a água, que percola e modifica a composição físico-química das águas subterrâneas”. Puderam concluir que o aumento da concentração de potássio em profundidade é um indicativo do alcance da vinhaça no subsolo e em água subterrânea.

Ao estudar dez poços de monitoramento em uma área de cultivo de cana-de-açúcar circunvizinha à lagoa de distribuição de vinhaça, Rolim et al (2013), concluíram que o armazenamento da vinhaça na lagoa de distribuição alterou a maioria dos parâmetros estudados.

Gloeden (1994) também notou que a vinhaça atingiu a água subterrânea evidenciada pela alteração nos valores dos parâmetros avaliados através de análises químicas. Em seu trabalho, Gloeden (1994) instalou poços de monitoramento na zona saturada do solo para determinação das variações do nível e sentidos de fluxo da água subterrânea para determinação das áreas de aplicação de vinhaça a serem monitoradas através de poços. Foram aplicadas concentrações de 150 e 300m³/ha de vinhaça na área de estudo e analisados 7 parâmetros, dentre eles: nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal e nitrato. Estes parâmetros foram avaliados antes da aplicação de vinhaça, através de três coletas e posteriormente a ela. As concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrato encontradas foram baixas, pois a vinhaça possui pouca concentração destes nutrientes.

Os locais que receberam menor quantidade de vinhaça (monitorados pelos poços de 13 à 16) apresentaram maior grau de similaridade entre si. Este conjunto de poços é caracterizado por maiores valores de nitrogênio total, nitrogênio amoniacal,

turbidez, cor, OD, níveis estáticos e menores valores de nitrato, nitrito, DBO, sólidos totais dissolvidos e coliformes totais. Os demais pontos de coleta apresentaram menores valores das variáveis mencionadas. O poço 9 se diferenciou dos demais em ambas as estações do ano, se comportando como um outlier, resultado da condutividade elétrica, DBO e concentração de coliformes totais com valores muito superiores aos demais poços analisados (Figura 17).

Na Tabela 5 são apresentados os valores obtidos das medidas estatísticas descritivas para os parâmetros, nitrato, nitrito e sólidos totais dissolvidos a fim de visualizar o comportamento geral dos dados e identificar possíveis valores discrepantes. Os valores de média e mediana para os três parâmetros não foram semelhantes, o que indica uma variação não normal dos dados, que pôde ser confirmada através do teste estatístico de Kruskal-Wallis ($p > 0,05$).

Tabela 5 - Estatística descritiva

Período	2009 SECO	2009 CHUVOSO	2010 CHUVOSO	2010 SECO	2011 SECO	2012 CHUVOSO
Nitrato						
Média	668.9091	152	51.1	111.0909	59.8	83.8929
Mediana	366	136.5	52	56	48	71
Mínimo	90	64	5	12	16	4.5
Máximo	2931	296	144	354	137.5	280
Desvio Padrão	871.5098	76.6043	44.608	105.2326	37.7046	66.5664
CV (%)	130.29%	50.40%	87.30%	94.73%	63.05%	79.35%
Nitrito						
Média	0.0814	0.051	0.047	0.0818	0.0383	0.0264
Mediana	0.075	0.04	0.04	0.07	0.02	0.02
Mínimo	0.05	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01
Máximo	0.165	0.14	0.11	0.21	0.18	0.09
Desvio Padrão	0.0326	0.0328	0.0254	0.0613	0.0458	0.0213
CV (%)	40.12%	64.34%	54.06%	74.91%	119.41%	80.75%
Sólidos totais dissolvidos						
Média	668.9091	152	51.1	111.0909	59.8	83.8929
Mediana	366	136.5	52	56	48	71
Mínimo	90	64	5	12	16	4.5
Máximo	2931	296	144	354	137.5	280
Desvio Padrão	871.5098	76.6043	44.608	105.2326	37.7046	66.5664
CV (%)	130.29%	50.40%	87.30%	94.73%	63.05%	79.35%

Fonte: Autor, 2013

O coeficiente de variação (CV) é a relação entre o desvio padrão e a média e expressa o grau de variabilidade do atributo, ou seja, o CV dá ideia da magnitude de variabilidade de determinado parâmetro analisado. De acordo com Warrick & Nielsen (1980), os valores do coeficiente de variação entre 12% e 60% são considerados de média variabilidade e os valores abaixo e acima deste intervalo como de baixa e alta variabilidade, respectivamente.

Os valores de nitrato apresentaram alta variabilidade, excetuando-se o período chuvoso do ano de 2009 que apresentou médio coeficiente de variação. O parâmetro nitrito também apresentou coeficientes de variação alto e baixo, sendo para este os períodos de 2009 seco e 2010 chuvoso e para aquele os demais períodos de análises. O coeficiente de variação para os sólidos totais dissolvidos foi de média variabilidade no ano de 2009 em período seco, e de alta variabilidade para os demais períodos de coleta.

O Mato Grosso do Sul não dispõe de nenhuma legislação a respeito da exigência de poços de monitoramento em áreas de fertirrigação, mas lançou no ano de 2012 um Termo de Referência para elaboração de estudo de impacto ambiental (EIA), relatório de impacto ambiental (RIMA) e análise de risco de usina sucroenergética. Constam, neste termo, referências, orientações e informações gerais sobre os procedimentos administrativos necessários à regularização do empreendimento.

O referido termo de referência não dispõe especificamente sobre monitoramento de águas superficiais e subterrâneas, porém exige a caracterização dos recursos hídricos. Apesar dos parâmetros solicitados pelo órgão ambiental, muitos deles não possuem valores de referência para comparação na legislação ambiental vigente.

Na resolução CONAMA nº 396 de 2008, é possível encontrar valores máximos permitidos que levam em consideração o uso da água e o LQP (Limite de Quantificação Praticáveis) que é o valor da menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão pelo método utilizado. Dentre estes parâmetros encontram-se o nitrato, nitrito e sólidos totais dissolvidos.

Os valores máximos permitidos para o nitrato são definidos para consumo humano, dessedentação de animais e recreação, tendo valores de 10 mgN/L, 90 mgN/L e 10 mgN/L, respectivamente. Já os VMP de nitrito são 10mgN/L para dessedentação de 1mgN/L para os demais usos. Para os sólidos totais dissolvidos é encontrado apenas o valor de referência de 1000mgN/L para consumo humano, como pode ser constatado na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores máximos permitidos de alguns parâmetros em água subterrânea de acordo com o seu uso.

Parâmetros	Usos Preponderantes da Água			
	Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação
	mg/L			
Nitrato (expresso em N)	10	90	-	10
Nitrito (expresso em N)	1	10	1	1
Sólidos totais dissolvidos (STD)	1000	-	-	-

Fonte: Anexo I da Resolução CONAMA nº 396/08, adaptado.

Os dados de nitrato obtidos em todos os poços de monitoramento ao longo do tempo de coletas ficaram bem abaixo dos valores máximos permitidos estabelecidos pela resolução CONAMA nº 369/08 (Figura 18) corroborando com os valores encontrados por Rolim et al. (2013) com média de 0,17 mg/L de nitrato.

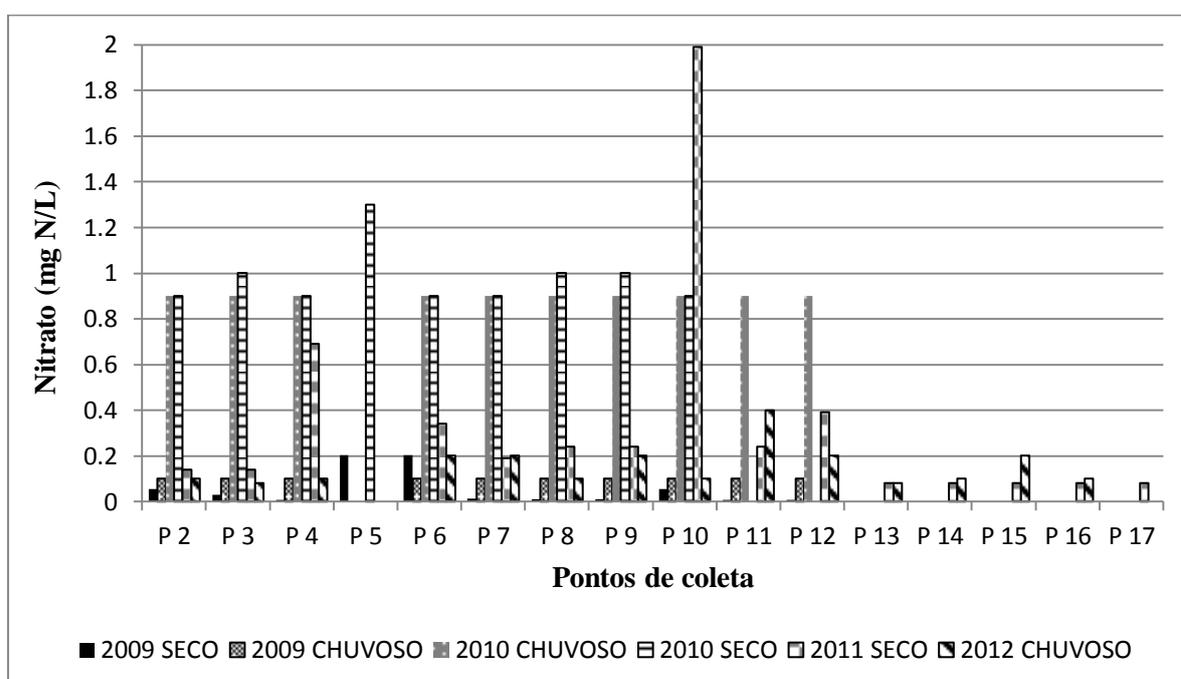


Figura 19 - Valores de nitrato em 16 pontos de coleta no período de 2009-2012. Fonte: Autor, 2013.

Por possuírem valores extremamente baixos, menores ou iguais a 0,01 mgN/L, os valores de nitrato no período de 2009 seco dos poços 4, 8, 9, 11 e 12 não aparecem no gráfico.

Ao analisar as figuras 19 e 20 é possível perceber que os poços 13 à 17 possuem apenas valores dos anos de 2011 e 2012. Isto ocorre porque as áreas em que estão inseridos começaram a receber aplicação de vinhaça somente em 2011. Nota-se também que o poço 05 não possui os valores dos parâmetros para os períodos 2011 seco, 2009, 2010 e 2012 chuvosos, pois nestes períodos houve impedimentos de acesso ao coletor (bailer).

O menor valor máximo permitido para nitrito estabelecido pela resolução mencionada é de 1 mgN/L referente aos usos para consumo humano, irrigação e recreação. É possível afirmar que nenhum dos poços ultrapassou os valores de referência em nenhum dos anos de aplicação.

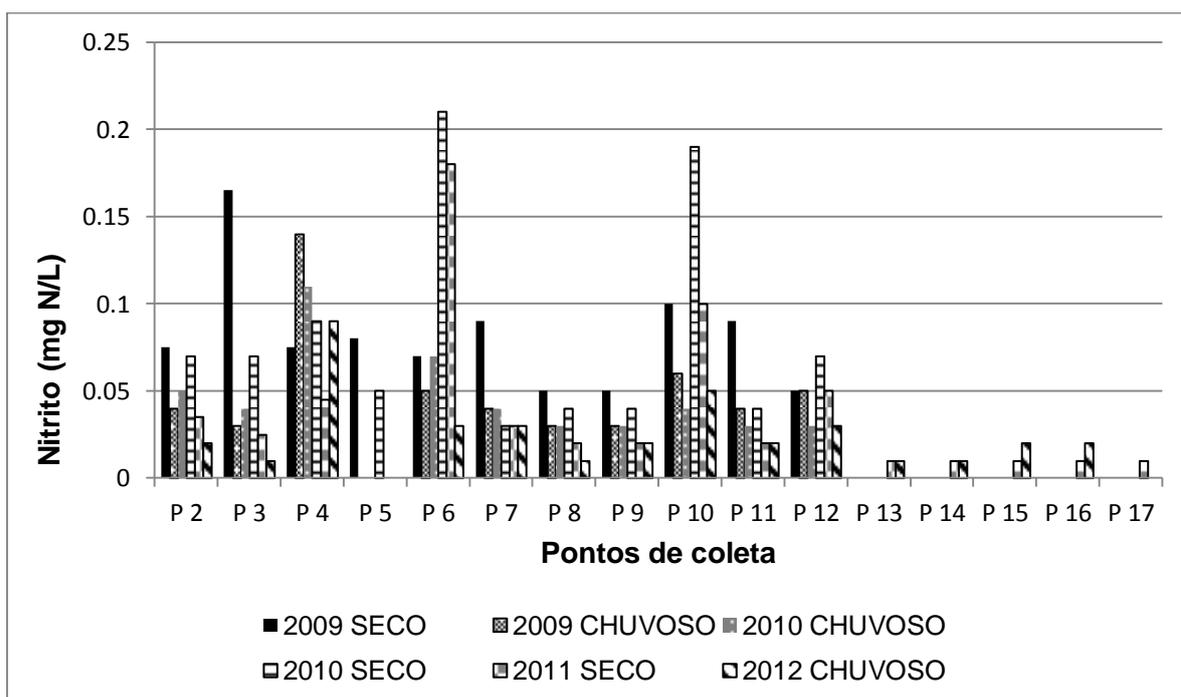


Figura 20 - Valores de nitrito em 16 pontos de coleta no período de 2009-2012. Fonte: Autor, 2013.

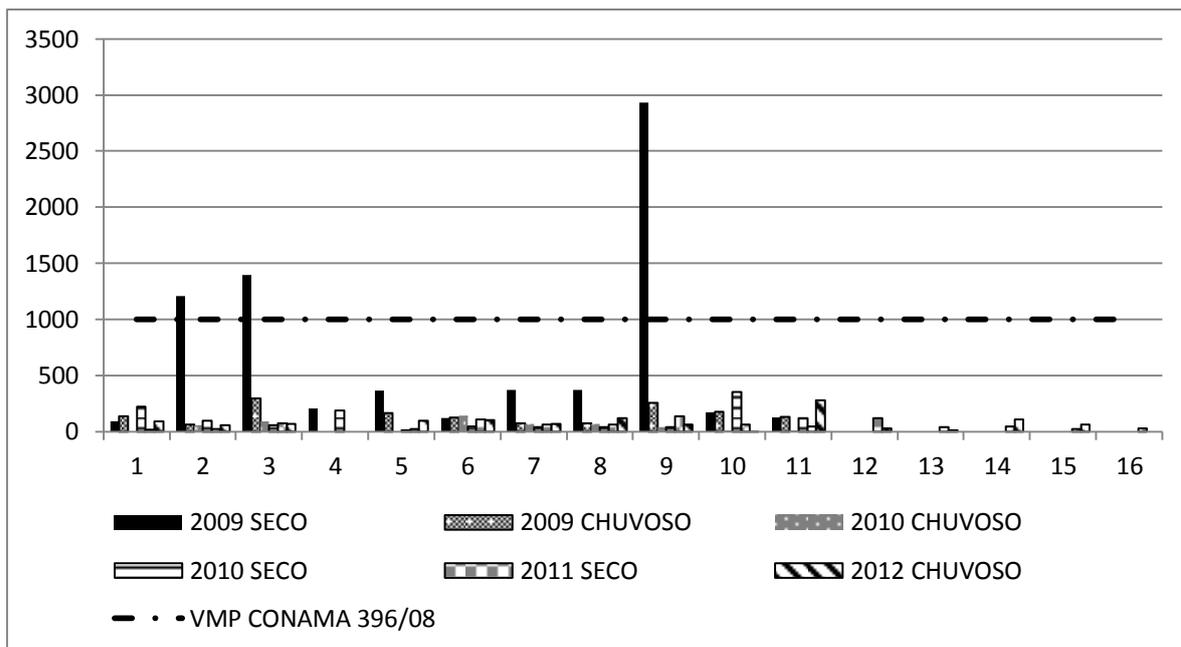


Figura 21 - Valores de sólidos totais dissolvidos em 16 pontos de coleta no período de 2009-2012. Fonte: Autor, 2013.

Os maiores valores obtidos nas coletas foi encontrado nos poços 06 e 10 no período seco do ano de 2010, cujos valores são de 0,21 mgN/L e 0,19 mgN/L, respectivamente.

Além de terem sido encontrados valores baixos para os parâmetros nitrato e nitrito é importante salientar que a vinhaça não é a única fonte deste elemento na água subterrânea, efluentes domésticos e industriais também podem contaminar a água subterrânea por nitrato (Wakida e Lerner, 2005).

Ao analisar os valores de sólidos totais dissolvidos obtidos e o valor máximo permitido de acordo com a resolução CONAMA nº 369/08 é possível constatar que no período seco do ano de 2009 os poços 4, 5 e 10 ficaram acima do valor de referência, destacando-se o poço 10 com concentração de 2931 mg/L, quase o triplo do permitido. Rolim et al. (2013), obtiveram elevadas concentrações de sólidos totais dissolvidos e relacionaram tais valores a longos períodos de disposição de vinhaça no solo e pelo fato dos sólidos totais dissolvidos serem altamente dissolutos, lixiviando mais facilmente e atingindo o lençol de água.

Entretanto, não se pode atribuir esta concentração pela aplicação de vinhaça, pois esta coleta foi realizada no período em que se iniciou a fertirrigação, além disso, nos anos posteriores a aplicação continuou e os valores de sólidos totais dissolvidos

para os mesmos poços apresentaram uma queda considerável. Os valores encontrados provavelmente estão relacionados a atividades anteriores que eram exercidas nos locais e em seu entorno. Além disso, o valor máximo permitido da resolução está relacionado ao consumo humano, sendo este uso o mais restritivo de todos.

De acordo com os parâmetros estudados que possuem valores de referência, é possível afirmar que a aplicação de vinhaça pode alterar a composição do solo e da água subterrânea, mas não alterar a qualidade dos mesmos, corroborando com Brito et al. (2007) que ao estudar três tipos de solo, classificados como Nitossolo Háplico, Argissolo Amarelo e Espodossolo Cárbico, tratados com vinhaça em diferentes concentrações a 0 (Testemunha), 350 e 700 m³/ha submetidos aos tempos de incubação de 30 e 60 dias, puderam constatar que apesar das diferentes características de cada classe de solo estudado, todos possuem elevado poder de retenção da vinhaça diminuindo a possibilidade de contaminação do lençol freático.

Lyra et al. (2003) relataram a diminuição nas concentrações de DBO e DQO em água subterrânea de área de cana-de-açúcar com aplicação de vinhaça. Associaram a esta redução a capacidade do solo em reter matéria orgânica.

Nota-se que não há uma tendência dos dados em nenhum dos parâmetros isto pode ser explicado pela alteração da composição da vinhaça, que muda de acordo com as características da cana que é processada.

Apesar de o potássio ser o elemento de maior concentração na vinhaça, não foi avaliado neste estudo por falta de repetições de análises. Ressaltando que todos os parâmetros foram analisados conforme orientação do órgão ambiental, alguns parâmetros poderiam ser adicionados às análises e outros suprimidos, como o parâmetro de coliformes que não tem relação direta com a aplicação de vinhaça.

5. CONCLUSÕES

Foi possível observar que, tanto no período chuvoso quanto no período seco, a maior variação dos parâmetros está relacionada com a quantidade de aplicações de vinhaça. Os poços que receberam menor quantidade de aplicações de vinhaça apresentaram maior grau de similaridade entre si e dissimilaridade com os demais, contendo maiores valores de OD um dos principais parâmetros de qualidade de água.

No estado do Mato Grosso do Sul não há legislação ambiental específica que norteie a aplicação de vinhaça e a forma de monitoramento em área de cana-de-açúcar, por outro lado a resolução CONAMA nº 396/08 não é adequada para avaliação de efeitos da vinhaça nesses ambientes, pois não está subdividida em classes de qualidade, ou seja, águas subterrâneas naturais podem apresentar valores maiores do que os valores máximos permitidos de acordo com o uso.

Os poços de monitoramento podem ser fontes de contaminação de água subterrânea, porém no presente estudo não foi observado valores que alterassem a qualidade da água subterrânea possivelmente pela capacidade de depuração do solo, pela aplicação de vinhaça adequadamente e correta construção dos poços seguindo a NBR nº 15495-1:2007.

Qualquer atividade realizada irá causar alteração no meio ambiente em que está inserida como é o caso da aplicação de vinhaça, porém foi possível constatar através deste trabalho que o plano de aplicação de vinhaça está suprimindo a necessidade da cultura, sem contaminação da água subterrânea.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional das Águas. Caderno de Recursos Hídricos 5. Superintendência de planejamento de Recursos Hídricos. Brasília – DF. 2007. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 30 de jun de 2012.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRITO, Fabio L. et al. Qualidade do percolado de solos que receberam vinhaça em diferentes doses e tempo de incubação. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande, v. 11, n. 3, jun. 2007. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000300012&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 02 jul. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000300012>.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>>. Acesso em: 15 jan. 2013.

CORAZZA, R. I. **Políticas públicas para tecnologias mais limpas: uma análise das contribuições da economia do meio ambiente**. 2001. Tese (Pós-graduação em Política Científica e Tecnológica) – Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas.

FEITOSA, Fernando A.C et al. **Hidrogeologia conceitos e aplicações**. 3 ed. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID-UFPE, 2008. 812 p.

GLOEDEN, E. **Monitoramento da qualidade da água das zonas não saturada e saturada em área de fertirrigação com vinhaça**. São Paulo: USP, 1994. 115 p. Dissertação Mestrado.

IMASUL – Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul. **Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental**. Disponível em: <<http://www.imasul.ms.gov.br/>>. Acesso em: 10/11/2012.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento da água**. 1. ed. Campinas: Átomo, 2005.

LUDOVICE, M. T. F. **Estudo do efeito poluente da vinhaça infiltrada em canal condutor de terra sobre o lençol freático**. Campinas: UNICAMP, 1997. 117p. Dissertação Mestrado

LYRA, M. R. C. C.; Rolim, M. M.; Silva, J. A. A. **Toposseqüência de solos fertigados com vinhaça**: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.3, p.523-532, 2003.

MINDRISZ, A. C. **Avaliação da Contaminação da Água Subterrânea de Poços Tubulares, por Combustíveis Fósseis, no Município de Santo André, São Paulo**: Uma Contribuição à Gestão Ambiental, Tese Dr., Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares/USP, São Paulo, SP, Brasil, 2006.

MOLOZZI, Joseline; PINHEIRO, Adilson; SILVA, Marcos Rivail da. Qualidade da água em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz irrigado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 41, n. 9, Sept. 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2006000900007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 Dec. 2012.

PEREIRA, S.Y.; ARCARO, N. P.; MORTATTI, B.C.; MIGUEL, M.G. **Distribuição em profundidade dos elementos químicos em lixiviados de manto de alteração areno silto-argiloso contaminado por vinhaça**. Revista Águas Subterrâneas, v. 26, n.1, p. 113-130, 2012.

PIACENTE, F.J. **Agroindústria Canavieira e o Sistema de Gestão Ambiental**: o caso das usinas localizadas nas Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. 2005. 181p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – UNICAMP, Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000386200>>. Acesso em: 26/12/2012.

PLAZA PINTO, C. **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável**. 1999. Dissertação – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Campinas.

RESENDE, A. S. et al. **Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura.** Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-6832006000600003.

Acesso em: 12 dez. 2012.

ROLIM, M. M.; LYRA, M. R. C. C.; DUARTE, A. S.; MEDEIROS, P. R. F.; SILVA, E. F. F.; PEDROSA, E. M. R. Influência de uma lagoa de distribuição de vinhaça na qualidade da água. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 155-171, 2013.

ROSSETTO, A. J. Utilização agrônômica dos subprodutos e resíduos da indústria açucareira e alcooleira. In: PARANHOS, S.B. (ed.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização.** Campinas: Fundação Cargill, v. 2, p. 435-504, 1987.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande-PB, v.11, n.1, p. 108-114, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a14.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

SOUZA, P. H. T. O. **Rede neural artificial para monitoramento em tempo real da concentração de potássio na vinhaça in natura.** São Paulo, USP, 2010. 73 p. Dissertação Mestrado.

TABOR, J. A. et. al. Spatial variability of nitrate in irrigated cotton. v. I. Petioles. **Soil Science Society of America Journal**, v. 48, p. 602-607, 1984.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** v. 1. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005, 452 p.

ZIMBRES, E. **Guia Avançado Sobre Água Subterrânea.** Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br>>. Acesso em: 09 jun de 2012.

WAKIDA, F. T.; LERNER, D. N. Non-agricultural sources of groundwater nitrate: a review and case study. **Water Research**, v. 39, p. 3–16, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004313540400452X>>. Acesso em: 02 jul. 2013.