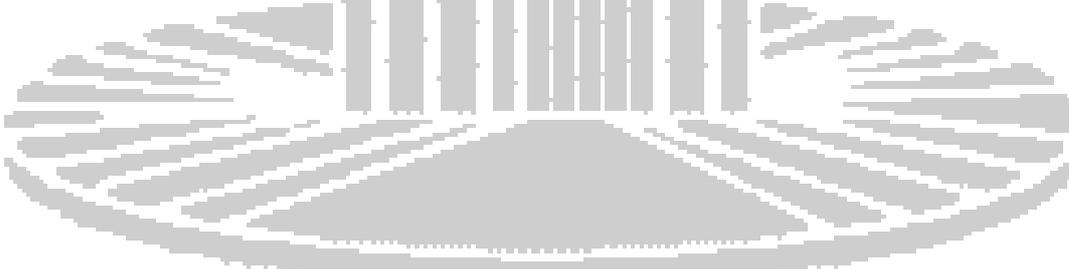


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATOGROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**



ALINE VILAS BOAS DE SOUZA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
PARA FINS DE IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO
SALOBRA EM TERENOS - MS**



Campo Grande, MS
2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATOGROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

ALINE VILAS BOAS DE SOUZA

**ANÁLISE DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
PARA FINS DE IRRIGAÇÃO NA BACIA DO RIBEIRÃO
SALOBRA EM TERENOS - MS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Giancarlo Lastória

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Giancarlo Lastória
UFMS

Prof. Dr. Robert Schiaveto de Souza
UFMS – Campus Campo Grande

Prof. Dr. Valter Guimarães
UFMS – Campus Aquidauana

Campo Grande, MS
2007

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão a todos que possibilitaram a realização deste trabalho, em especial:

à Deus;

aos meus pais e ao meu irmão;

ao Professor Doutor Giancarlo Lastória, pelo apoio e pelas valiosas contribuições para a realização deste estudo;

à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela bolsa de estudo concedida;

às empresas Eletrobombas Ltda e Hidrossomat Ltda pelas valiosas informações;

a todos os colegas, professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Transportes da UFMS, pela boa convivência que tivemos.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO.....	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 Área de estudo	4
3.2 Geologia	5
3.2.1 Formação Serra Geral.....	6
3.2.2 Formação Botucatu.....	7
3.2.3 Aluviões Fluviais.....	8
3.3 Geomorfologia.....	8
3.3.1 Declividade.....	9
3.4 Solo	11
3.4.1 Latossolo vermelho-escuro álico e distrófico.....	11
3.4.2 Areias quartzosas álicas.....	13
3.4.3 Latossolos roxo álico, distrófico e eutrófico	13
3.4.4 Condutividade hidráulica.....	14
3.5 Clima	14
3.6 Vegetação	17
3.7 Agricultura.....	18
3.8 Qualidade da água para irrigação	19
3.8.1 Características que determinam a qualidade da água para irrigação.....	20
3.8.1.1 Concentração total de sais solúveis ou salinidade.....	20
3.8.1.2 Proporção relativa de sódio, em relação a outros cátions ou capacidade de infiltração do solo	21
3.8.1.3 Concentração de bicarbonatos	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Coleta.....	25
4.2 Análise.....	25
4.2.1 Determinação das coordenadas	26
4.2.2 Determinação da condutividade elétrica.....	26
4.2.3 Determinação do pH.....	26
4.2.4 Determinação dos cátions e ânions.....	27
4.3 Classificação.....	27
4.3.1 Perigo de salinização	27
4.3.2 Perigo de alcalinização ou sodificação.....	28
4.3.3 Classificação da água para irrigação levando em conta os perigos de salinização e sodificação	29

4.3.4	Classificação quanto à concentração de bicarbonatos	29
4.3.5	Diagramas de Piper e Stiff.....	30
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1	Perigo de salinização	31
5.2	Perigo de sodificação.....	35
5.3	Classificação da água para irrigação levando em conta os perigos de salinização e sodificação	35
5.4	Classificação quanto à concentração de bicarbonatos.....	36
5.5	Diagrama de Piper	37
5.6	Diagrama de Stiff.....	38
5.7	Gráfico pHe x pH	39
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	41
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
8.	APÊNDICES.....	47

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Foto da foz do ribeirão Salobra com o rio Aquidauana.....	4
FIGURA 3.2 - Localização da bacia do ribeirão Salobra.....	5
FIGURA 3.3 - Mapa geológico da bacia do ribeirão Salobra.....	6
FIGURA 3.4 - Mapa geomorfológico da bacia do ribeirão Salobra.....	9
FIGURA 3.5 - Carta de declividade da bacia do ribeirão Salobra.....	10
FIGURA 3.6 - Modelo digital de elevação da bacia do ribeirão Salobra.....	10
FIGURA 3.7 - Carta de solos da bacia do ribeirão Salobra.....	12
FIGURA 3.8 - Valores de Evaporação e Precipitação em Campo Grande (INMET, 2000)..	15
FIGURA 3.9 - Carta de variação mesoclimática do Estado de Mato Grosso do Sul.....	16
FIGURA 3.10 - Uso atual do solo, ano de referência 2001.....	17
FIGURA 3.11 – Composição percentual da cobertura do solo em 2001.....	18
FIGURA 4.1 - Distribuição dos pontos de coleta das amostras na Bacia do Ribeirão Salobra.....	23
FIGURA 4.2 – Local de coleta da amostra de água superficial do ribeirão Salobra.....	24
FIGURA 4.3 - Coleta de água em poço tubular na Bacia do Ribeirão Salobra.....	25
FIGURA 4.4 - Determinação da temperatura de água subterrânea na Bacia do Ribeirão Salobra.....	26
FIGURA 5.1 - Classificação quanto ao perigo de salinização.....	35
FIGURA 5.2 – Diagrama de Piper.....	37
FIGURA 5.3 – Diagrama de Stiff da amostra P1.....	38
FIGURA 5.4 – Diagrama de Stiff da amostra P3.....	38
FIGURA 5.5 – Diagrama de Stiff da amostra P6.....	38
FIGURA 5.6 – Diagrama de Stiff da amostra P9.....	39
FIGURA 5.7 – Diagrama de Stiff da amostra P11.....	39
FIGURA 5.8 – Diagrama de Stiff da amostra P12.....	39
FIGURA 5.9 – Gráfico pHe x Ph.....	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Evolução das áreas irrigadas na Região Centro-Oeste.....	18
TABELA 4.1 - Dados cadastrais dos poços analisados.....	24
TABELA 5.1 - Resultados das análises físico-químicas	32
TABELA 5.2 - Percentagens relativas das diferentes classes de água.....	35
TABELA 5.3 - Qualidade da água em relação aos problemas provocados por bicarbonato.....	36

RESUMO

SOUZA, A. V. B. (2007). *Análise da qualidade das águas subterrâneas para fins de irrigação na bacia do Ribeirão Salobra em Terenos-MS, 2007. 50 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

Este estudo visou a análise da qualidade das águas subterrâneas e a sua classificação para fins de irrigação. Ele foi desenvolvido na bacia do ribeirão Salobra no município de Terenos - MS, com área de aproximadamente 528 km², inserida na sub-bacia do rio Miranda, pertencente à Bacia Hidrográfica do rio Paraguai. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram coletadas amostras de água em poços tubulares locados na bacia e, para sua classificação, foram utilizadas as recomendações técnicas do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, que são utilizadas inclusive nas instituições brasileiras como Embrapa, como indicador dos parâmetros recomendados. A bacia hidrográfica do ribeirão Salobra está inserida em duas unidades hidrogeológicas- Aquífero Serra Geral e Aquífero Guarani, sendo a grande maioria das águas são de boa qualidade, considerando os perigos de salinização e sodificação. E a minoria das amostras foram consideradas não recomendadas para irrigação devido à concentração de bicarbonato.

Palavras-chave: ribeirão Salobra, qualidade da água subterrânea, irrigação.

ABSTRACT

SOUZA, A. V. B. (2007). *Analysis of the quality of underground waters for ends of irrigation in the basin of the Salobra Brook in Terenos, 2007. 50 p. Master Dissertation – Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).*

This study aimed to examine the quality of groundwater and its classification for purposes of irrigation. It was developed in the basin of ribeirão Salobra in the municipality of Terenos-MS, with an area of approximately 528 km², inserted in the sub-basin of the river Miranda, belonging to the River Basin of the river Paraguay. For the development of this work, samples of water were collected in tubular wells located in the basin, and its classification, were used as technical recommendations of the Salinity Laboratory of the United States, they are also used in Brazilian institutions as Embrapa, as an indicator of the parameters recommended. The watershed of ribeirão Salobra is inserted into two units hydrogeological - Aquífero Serra Geral and Aquífero Guarani, and the large majority of water are good quality, considering the dangers of salinisation and sodificação. And the minority of the samples were considered not recommended for irrigation due to the concentration of bicarbonate.

Keywords: ribeirão Salobra, quality of groundwater, irrigation.

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura, sabe-se que a maior produção é atingida quando se têm as quantidades ideais de água, calor e fertilidade do solo, variando de acordo a cada cultura. O fator água é um dos mais importantes, pois é ele que determina a escolha da melhor época do ano para o plantio (Daker, 1988). Porém, a agricultura irrigada tem se tornado uma alternativa viável para elevar a produtividade das culturas, além de propiciar a estabilidade da produção ao longo do tempo.

Como em qualquer forma do uso da água, e também na agricultura irrigada, depende-se tanto da quantidade como da qualidade da água. No entanto, o aspecto qualidade, em geral, tende a ser negligenciado, devido ao fato de que no passado as fontes de água, no geral, eram abundantes, de boa qualidade e de fácil utilização. Esta situação, todavia, está se alterando em muitas localidades. O uso intensivo de praticamente todas as águas superficiais de boa qualidade implica em ter que recorrer às águas de qualidade inferior ou à captação de águas subterrâneas. Para se evitar problemas conseqüentes, deve existir planejamento efetivo que assegure o melhor uso possível das águas de acordo com sua qualidade (Ayers & Westcot, 1991).

O conceito qualidade de água refere-se as suas características que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico, sendo importante para agricultura diversos requisitos: pH da água, concentração total de sais (salinidade), proporção relativa de sódio (sodificação), em relação aos outros cátions (permeabilidade do solo) e outros problemas, como, concentração de bicarbonatos, concentração de elementos tóxicos (Boro é o elemento que se encontra freqüentemente nas águas naturais, ainda não poluídas pelo homem) e aspecto sanitário (considerando neste caso a contaminação do irrigante e dos usuários dos produtos irrigados).

Há vários modelos de classificação de água para irrigação, sendo o mais utilizado, inclusive pelas instituições brasileiras (Prado, 1995), o modelo de classificação proposto pelo Laboratório de Salinidade dos EUA (U.S.D.A.), que será empregado nesse estudo; ele é baseado na condutividade elétrica (CE) e na relação de adsorção de sódio (RAS), como indicadores dos perigos de salinização e de sodificação do solo, respectivamente.

A bacia do ribeirão Salobra no município de Terenos – MS é de grande relevância já que está inserida na sub-bacia do rio Miranda, pertencente à Bacia Hidrográfica do rio

Paraguai, inserida em duas unidades hidrogeológicas- Aquífero Serra Geral e Aquífero Guarani e está localizada próxima à capital do estado de Mato Grosso do Sul.

O objetivo dessa dissertação é o de analisar a qualidade das águas subterrâneas na bacia do ribeirão Salobra, através de parâmetros físico-químicos, e de classificá-las para fins de irrigação, utilizando as recomendações técnicas elaboradas pelo Laboratório de Salinidade dos EUA.

2. OBJETIVO

Analisar a qualidade das águas subterrâneas na região da bacia do ribeirão Salobra, através de parâmetros físico-químicos e classificá-las quanto ao perigo de salinização, sodificação do solo, e concentração de bicarbonato, para fins de irrigação, utilizando as propostas técnicas recomendadas pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (U.S.D.A., *Agriculture Handbook No. 60*).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Área de estudo

A área de estudo que faz parte da bacia do Rio Miranda (sub-bacia do rio Paraguai), é a sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Salobra localiza-se no município de Terenos - MS, Região Centro-Oeste do Brasil, entre as latitudes 20°10' e 20°25'S e longitudes 54°50' e 55°15' W (Polizer, 2002), e que totaliza 527,79 km². Essa bacia está localizada nas cartas Campo Grande (DSG, 1979) e Palmeira (DSG, 1988), representada neste estudo na Figura 3.2. A figura 3.1, a seguir, mostra a foz do ribeirão Salobra quando este deságua no rio Aquidauana.



FIGURA 3.1 – Foto da foz do ribeirão Salobra com o rio Aquidauana (Polizer, 2002)

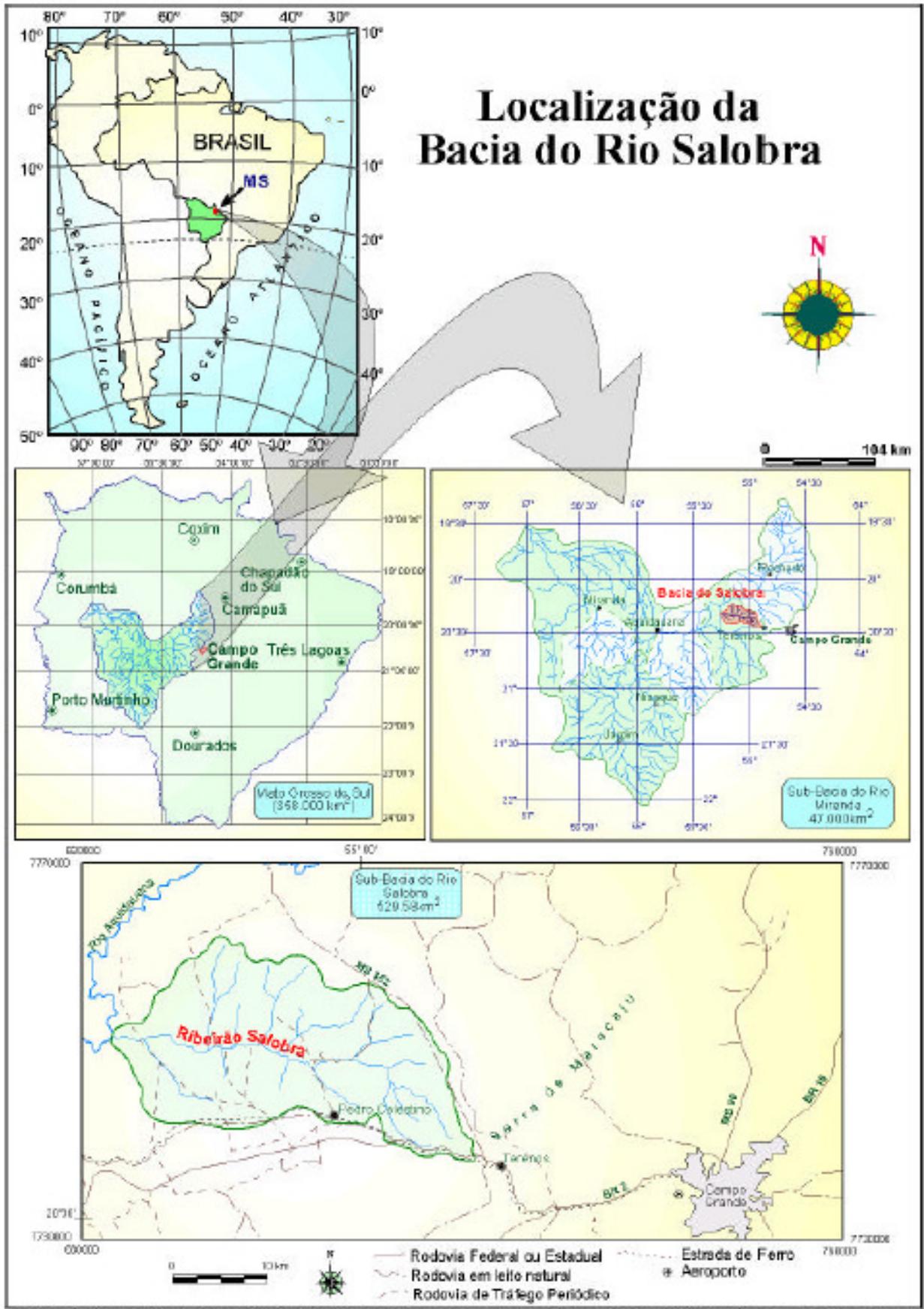


FIGURA 3.2 – Localização da bacia do ribeirão Salobra (Polizer, 2002)

3.2 Geologia

A área está localizada no contexto da Serra de Maracaju e possui rochas pertencentes ao Grupo São Bento da Bacia Sedimentar do Paraná. Do ponto de vista da evolução geológica, no final do Jurássico e início do Cretáceo, a região de Campo Grande se transformou em um ambiente com características aquosas e eólicas, onde se depositaram as Formações Pirambóia e Botucatu (RadamBrasil, 1982), sobre as quais ocorreram os derrames basálticos da Formação Serra Geral (Figura 3.3).

As principais unidades geológicas aflorantes na área de estudo são o Grupo São Bento (dividido em Formação Botucatu e Serra Geral) e Aluviões Fluviais, que se formaram recentemente, provavelmente durante o quartenário segundo Polizer (2002). A seguir, descrevem-se as unidades geológicas aflorantes na área.

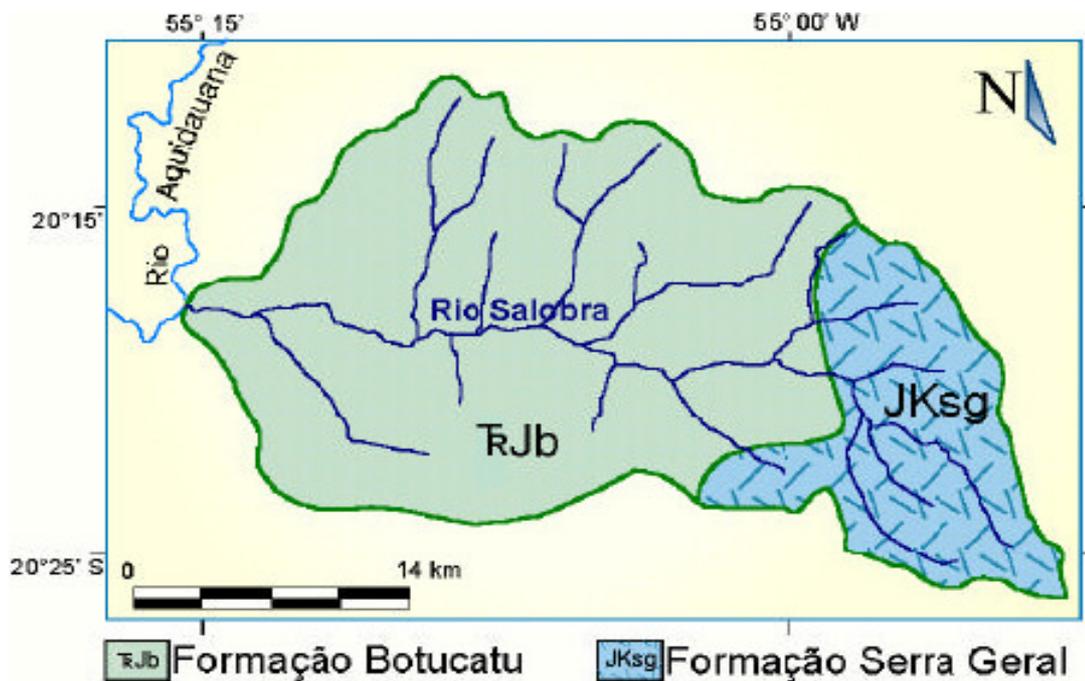


FIGURA 3.3 - Mapa geológico da bacia do ribeirão Salobra (Polizer, 2002)

3.2.1 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral (JKsg) foi produto de derrames basálticos causados por um tectonismo de distensão que deu origem a grandes fendas pelas quais fluiu o magma. Os furos de sonda realizados pela Petrobrás registraram, para os basaltos Serra Geral, 1.529m em

Presidente Prudente-SP (Scheneider et al., 1974 apud RadamBrasil, 1982). A idade dessas rochas foi alvo de pesquisa realizada por diversos autores, prevalecendo atualmente a realizada por Texeira (1980) apud RadamBrasil (1982), que por meio de datações obtidas pelo método Rb/Sr, que comparadas com as obtidas pelo método K/Ar preexistentes, definiu uma época em torno de 130 MA, admitindo uma Idade Jurocretácica para a Formação Serra Geral. Para Lastória (2002), o vulcanismo fissural basáltico deu-se no início do final do Jurássico e a idade de Formação Serra Geral é Juro-Cretácea, período mais aceito entre os pesquisadores da Bacia Sedimentar do Paraná.

O litótipo principal é o basalto, preto a cinza escuro, fino a afanítico, maciço e com raras amígdalas (geralmente preenchidas por argilo-minerais, quartzo ou calcita). Os afloramentos são em forma de estruturas colunares, geralmente desagregadas em blocos e matações arredondados, exibindo estrutura do tipo esfoliação esferoidal e superfície amarelo-esverdeada (Lacerda, 2006).

A Formação Serra Geral aflora no extremo leste da área, recobrando os arenitos Botucatu. O contato entre ambos é perfeitamente definido na imagem de satélite, marcado pela ocorrência de leve quebra de relevo (característica conhecida como *cuesta*).

3.2.2 Formação Botucatu

A Formação Botucatu (Kb), tendo como base as correlações feitas com a Formação Serra Geral, é colocada no Triássico Superior, podendo se estender para o Jurássico, tendo em vista o intertrapeamento com o magmatismo basáltico Serra Geral. Furos de sonda realizados pela Petrobrás registraram 464m para o arenito Botucatu na região de Taquari (Gonçalves, 1970 apud Leme, 2003).

Seus litotipos são arenitos finos a médios, avermelhados e friáveis, de grãos arredondados e alta esfericidade, dispostos em *sets* e/ou *cosets* de estratificações cruzadas de grande porte, interpretados como de deposição de dunas. Segundo Scherer (1998) apud Lacerda (2006), a ausência de depósitos de interdunas, úmidos, permite interpretar sua deposição em um sistema desértico (Lacerda, 2006).

Ocupa ampla faixa NE-SW da região central do Estado, com cerca de 18.807 km². A faixa tem 18 km de largura entre as cidades de Bela Vista e Antônio João, na região sudoeste, mas passa gradualmente para cerca de 90 km no município de Alcinópolis, limite norte do

Estado. Áreas de ocorrência menor situam-se na região nordeste, entre as cidades de Chapadão do Sul e Cassilândia (Lacerda, 2006).

A Formação Botucatu é a predominante em área na Bacia do ribeirão Salobra e apresenta-se distribuída no centro e no oeste desta.

3.2.3 Aluviões Fluviais

Por problemas de escala, os Aluviões Fluviais (Ra) não estão mapeados na carta geológica elaborada por Polizer (2002). Esses depósitos estão presentes ao longo da drenagem principal do ribeirão Salobra. São sedimentos inconsolidados oriundos da decomposição química, física e biológica das rochas preexistentes na bacia.

3.3 Geomorfologia

O mapa geomorfológico da área (Figura 3.4), foi atualizado por Polizer (2002) da base cartográfica produzida pelo Projeto RadamBrasil (1982). Além desse, ele utilizou-se dos dados geomorfológicos levantados pelo Projeto PCBAP (1997).

De acordo com o Projeto RadamBrasil (1982), a área faz parte da Unidade Geomorfológica do "Planalto de Maracaju - Campo Grande", que corresponde à terminação dos planaltos localizados na borda oeste da Bacia Sedimentar do Paraná. Os elementos de geomorfologia foram ainda considerados por Polizer (2002) durante a criação do DEM (*digital elevation model* - modelo digital de elevação) da área que é apresentada no item 3.3.1., que trata da declividade da área em estudo, Figura 3.5.

Especificamente a área de estudo localiza-se no contraforte da Serra de Maracaju e apresenta as seguintes unidades geomorfológicas: Ep - Superfície pediplanada sobre os arenitos, no sudoeste da área, formado sobre os arenitos da Formação Botucatu. t41 - Formas tabulares, com ordem de grandeza das formas de dissecação muito fraca. Relevo plano, predominante na área, formado sobre os arenitos da Formação Botucatu. c21 - Formas de relevos convexas, com ordem de grandeza das formas de dissecação muito fracas. Relevo de topo convexo, formado sobre os basaltos da Formação Serra Geral, no leste da área (RadamBrasil, 1982).

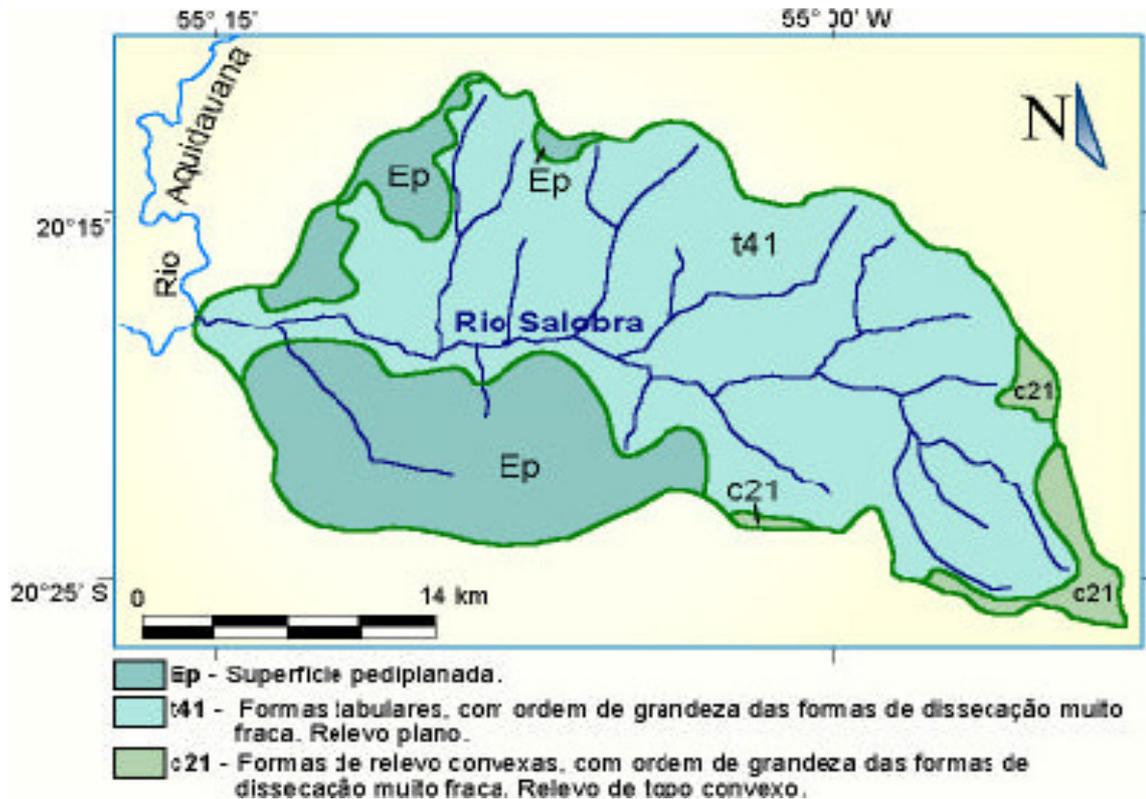


FIGURA 3.4 - Mapa geomorfológico da bacia do ribeirão Salobra (Polizer, 2002)

3.3.1 Declividade

A bacia hidrográfica do Ribeirão Salobra caracteriza-se por ser uma área de declividades baixas (Figura 3.5). As vertentes com declividades inferiores a 3% predominam na área e são geralmente extensas. Junto aos cursos d'água e das áreas úmidas o terreno assume declividades ainda menores, na sua maioria abaixo de 3%, com 90% da área tem declividade de até 3% e mais de 95% de até 5%.

A altitude da região está compreendida entre as cotas 199 e 411 metros, representando um desnível de 212 metros em 35 Km sendo o relevo classificado como suave. Em média, são 6 m de desnível por km. Na Figura 3.6, observa-se ainda duas pequenas áreas mais elevadas, situadas no divisor de águas da bacia, uma ao Norte e outra a Leste (Polizer, 2002).

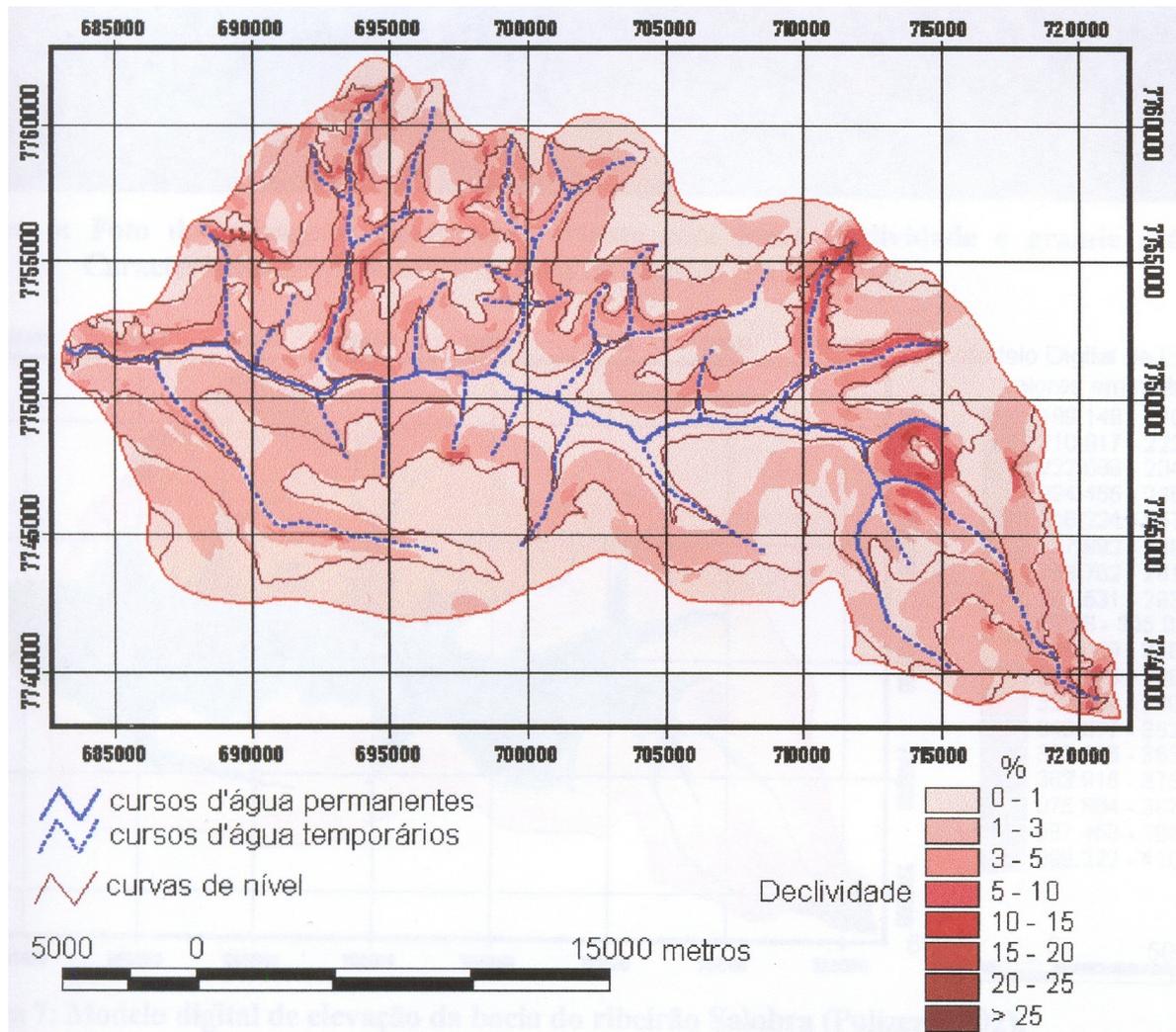


FIGURA 3.5 - Carta de declividade da bacia do ribeirão Salobra (Polizer, 2002)

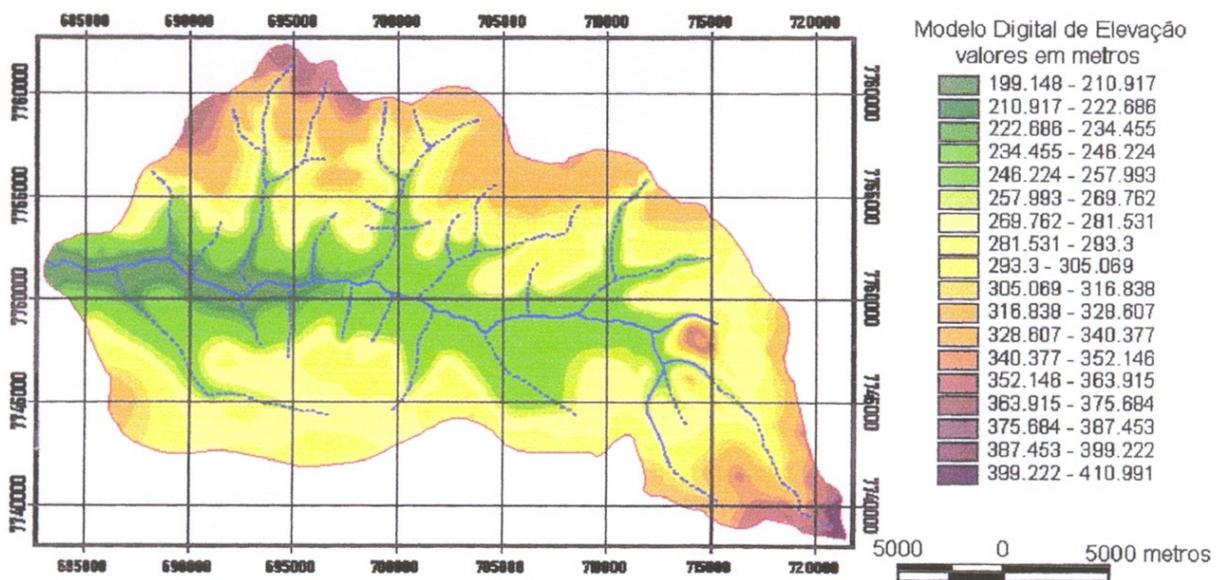


FIGURA 3.6 - Modelo digital de elevação na bacia do ribeirão Salobra (Polizer, 2002)

3.4 Solo

Levando-se em conta as informações da carta geológica da área, obtida em campo, e da carta geomorfológica, das informações das imagens e dos levantamentos de campo, Polizer (2002) atualizou a carta de solos (Figura 3.7).

É importante salientar que as associações de solos encontradas na atualização feita por Polizer (2002), correspondem exatamente às aquelas do RadamBrasil (1982), tendo sido apenas ajustados os contatos entre estas associações. Os dados de solos do RadamBrasil (1982) foram elaborados na escala de 1:250.000.

Polizer (2002) constatou que na bacia hidrográfica do ribeirão Salobra as principais classes de solo são: latossolo vermelho-escuro álico e distrófico (LEa9), areias quartzosas álica (AQa2, AQa4, AQa6) e latossolo roxo álico, distrófico e eutrófico (LRd3, LRde4).

3.4.1 Latossolo vermelho-escuro álico e distrófico

São provenientes da decomposição de arenitos da Formação Botucatu e compreendem solos minerais, não hidromórficos, identificados pela presença de horizonte B latossólico, com teores de Fe_2O_3 entre 9 e 18% para textura argilosa e relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ inferior a 3,14 para textura média (RadamBrasil, 1982).

São solos muito profundos, acentuadamente ou fortemente drenados, muito porosos e permeáveis, com avançado estágio de intemperização e processo intensivo de lixiviação, estando praticamente ausentes minerais de argila do tipo 1:1 e sesquióxidos na composição da fração coloidal, capacidade de troca de cátions muito baixa, inferior a 13 mEq/100 g de argila após correção para carbono e baixa reserva de elementos nutritivos para as plantas (RadamBrasil, 1982).

Têm seqüência de horizontes A, B e C, com pouca diferenciação entre os sub-horizontes, com transições difusas, ocasionalmente graduais. Possuem coloração nos matizes 2.5YR e 10F1, ocorrendo menos freqüentemente 5YR. O incremento de argila do horizonte A



FIGURA 3.7 - Carta de solos da bacia do ribeirão Salobra (Polizer, 2002)

para o B é pouco expressivo, dando uma relação textural baixa (RadamBrasil, 1982).

Apresentam excelentes propriedades físicas e topografia favoráveis à mecanização por se posicionarem em relevo plano e suave ondulado. Entretanto, por possuírem fertilidade natural baixa (distróficos) e elevado teor de alumínio trocável (quando álicos) requerem, respectivamente, adubação e calagem para suprir a deficiência mineral e para anular o efeito nocivo causado pela presença do alumínio. Na área de estudo a pecuária de corte é a atividade econômica mais expressiva, observando-se pastagens exóticas de colônia (*panicum maximum*) e Tanzânia (*panicum maximum*), em solo corrigido.

3.4.2 Areias quartzosas álicas

Formados sobre os arenitos da Formação Botucatu, são solos pouco desenvolvidos, profundos e muito profundos, excessivamente drenados, com seqüência de horizontes A moderado e C textural nas classes areia e areia franca (RadamBrasil, 1982).

Os baixos valores de soma de bases, aliados à saturação com alumínio trocável elevada e agravados pela intensa lixiviação, baixa capacidade de retenção de umidade e suscetibilidade a erosão, os tomam desaconselháveis à utilização agrícola, já que, para tal, requerem grande investimento de capital (RadamBrasil, 1982).

Como alternativa destaca-se o aproveitamento das espécies nativas da vegetação de Savana para pastagem natural. A implantação de pastagem com *Brachiaria sp.* tem demonstrado bons rendimentos nos três primeiros anos, em média, decaindo consideravelmente após esse período (RadamBrasil, 1982).

Como solos subdominantes, podem estar associados ao latossolo vermelho-escuro álico, podzólico vermelho-amarelo álico, glei pouco húmico álico e solos litólicos álicos (RadamBrasil, 1982).

3.4.3 Latossolos roxo álico, distrófico e eutrófico

Definidos como solos minerais não hidromórficos, tendo seqüência de horizontes A, B latossólico e C, com todas as propriedades físicas, químicas e morfológicas características dos latossolos (RadamBrasil, 1982).

Como parâmetros para separação entre esta classe e a anterior, têm-se os teores de Fe₂O₃, normalmente superiores a 18% e a coloração dominante no matiz 1 OR, com valores iguais ou inferiores a 4, nos quais as partículas do solo são fortemente atraídas pelo ímã, constituindo-se numa característica marcante na identificação de campo (RadamBrasil, 1982).

Apresentam grandes variações quanto à saturação com bases e com alumínio, destacando-se que, embora originários do mesmo material, e localizados em regiões onde as variações climáticas são insignificantes como limitação ao desenvolvimento florestal (RadamBrasil, 1982). Esta classe de solo requer práticas conservacionistas mais intensivas e, segundo Resende et al. (1999), respondem melhor (do que Latossolo Vermelho-Escuro, por exemplo) a adubações relativamente simples.

Tendo como material originário o basalto da Formação Serra Geral, esses solos ocorrem sempre em relevo favorável à mecanização e são explorados pela atividade agrícola (RadamBrasil, 1982), sendo os solos de maior e melhor aproveitamento neste sentido da área em estudo (Polizer, 2002).

Conforme estudos de Polizer (2002), dentre as espécies vegetais cultivadas, destacam-se o milho e a soja. Constata-se ainda a presença, em uma mínima parte da área, de algodão e pomares de cítricos. A pecuária, em pastagens implantadas, é praticada em sistema de manejo intensivo.

3.4.4 Condutividade hidráulica

Polizer (2002) escolheu três pontos para a realização dos testes de condutividade hidráulica, para representar as classes de solos presentes na bacia do Ribeirão Salobra.

O primeiro ponto foi escolhido na parte leste da área, que possui substrato formado da decomposição do basalto e é constituído por Latossolo. O segundo ponto foi escolhido na área mais central, de solos arenosos avermelhados e, o terceiro, na parte oeste da bacia, de solos arenosos avermelhados mais claros, com pouca argila.

A condutividade muito rápida foi observada dos três pontos. No ponto 1 a condutividade foi de 9,54 m/dia, no ponto 2 de 14,80 m/dia e no ponto 3 de 14,53 m/dia. Daí, inferiu-se que um sistema de drenagem seria desnecessário devido à alta permeabilidade dos solos na região.

3.5 Clima

Segundo Carter (2002), o clima exerce influência significativa na aptidão das terras para irrigação, já que são fatores relacionados ao clima, às características dos solos, condições de drenagem, distribuição de vegetação nativa e adaptação das culturas. E, apesar do clima ter efeitos definidos nas características das terras, a sua mais importante influência na aptidão destas para irrigação está na variabilidade das culturas permitidas pelos fatores climáticos num certo projeto, a qual, por seu turno, influencia bastante o retorno econômico da terra sob o regime de irrigação.

A água é um dos fatores que mais tem limitado a produtividade das culturas no Estado de Mato Grosso do Sul, evidenciado pela instabilidade da precipitação pluvial verificada na região (Urchei, 1997). Neste caso, se a irrigação for racionalmente manejada, suplementará o déficit de água para a cultura proveniente das chuvas (Leme, 2003).

Sentelhas (2001) define a evapotranspiração como o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas. E que a diferença entre a evapotranspiração em relação à precipitação efetiva é que indica a necessidade de irrigação para as culturas.

O Estado de Mato Grosso do Sul está numa área de transição climática, sofrendo a atuação de diversas massas de ar, o que implica em contrastes térmicos acentuados, tanto espacial quanto temporalmente. Na verdade, a região está numa zona de encontro de diversas massas que atuam no território brasileiro. Zavatini (1992) efetuou estudos do clima regional, onde verificou que o Estado é cortado pela Faixa Zonal Divisória, que corresponde a um virtual limite de atuação das massas de ar e dos resultantes regimes pluviométricos.

De acordo com o Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul (1990) a Variação Mesoclimática no Estado pode ser classificada nos seguintes tipos: úmido, úmido a semi-úmido, sub-úmido e sub-úmido a semi-árido, essa classificação está representada na carta de variação mesoclimática (Dias, 2000), figura 3.9.

Assim, entende-se que o clima da área em estudo varia de úmido a sub-úmido, ou seja, apresenta índice efetivo de umidade com valores anuais variando de 20 a 40. A precipitação pluviométrica anua varia entre 1500 e 1750 mm, com excedente hídrico anual de 800 a 1200 mm durante 5 a 6 meses e deficiência hídrica de 350 a 500 mm durante 4 meses.

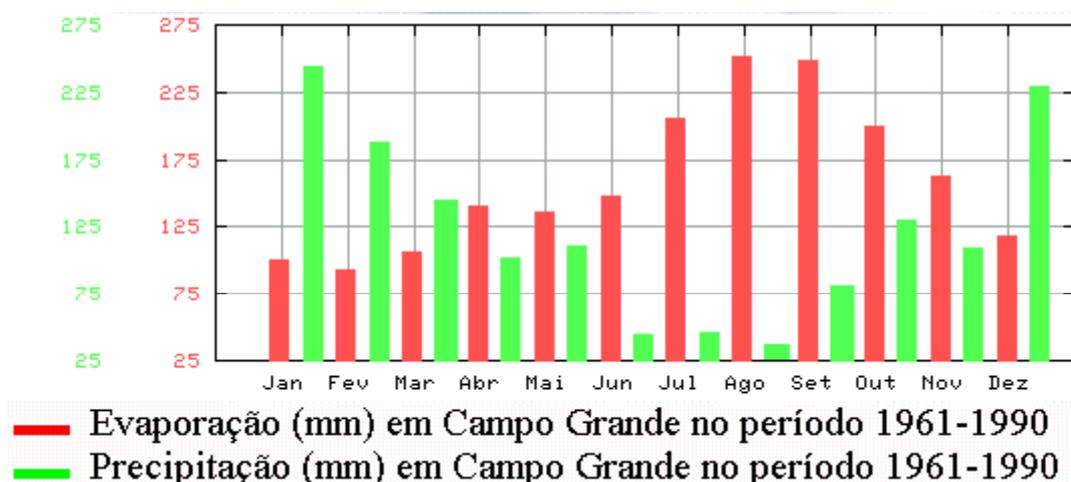


FIGURA 3.8 - Valores de Evaporação e Precipitação em Campo Grande (INMET, 2000).

Já o gráfico climatológico fornecido pelo INMET (2000) para a região de Campo Grande no período de 1961 – 1990, mostra uma predominância da evaporação sobre a precipitação, nos meses de maio a dezembro, para a região de Campo Grande (Figura 3.8). O que chama a atenção com relação aos dados climatológicos fornecidos pelo INMET (2000), para esse período, é o parâmetro evaporação. Observa-se nitidamente valores mais elevados para o mês de agosto 225-275mm..

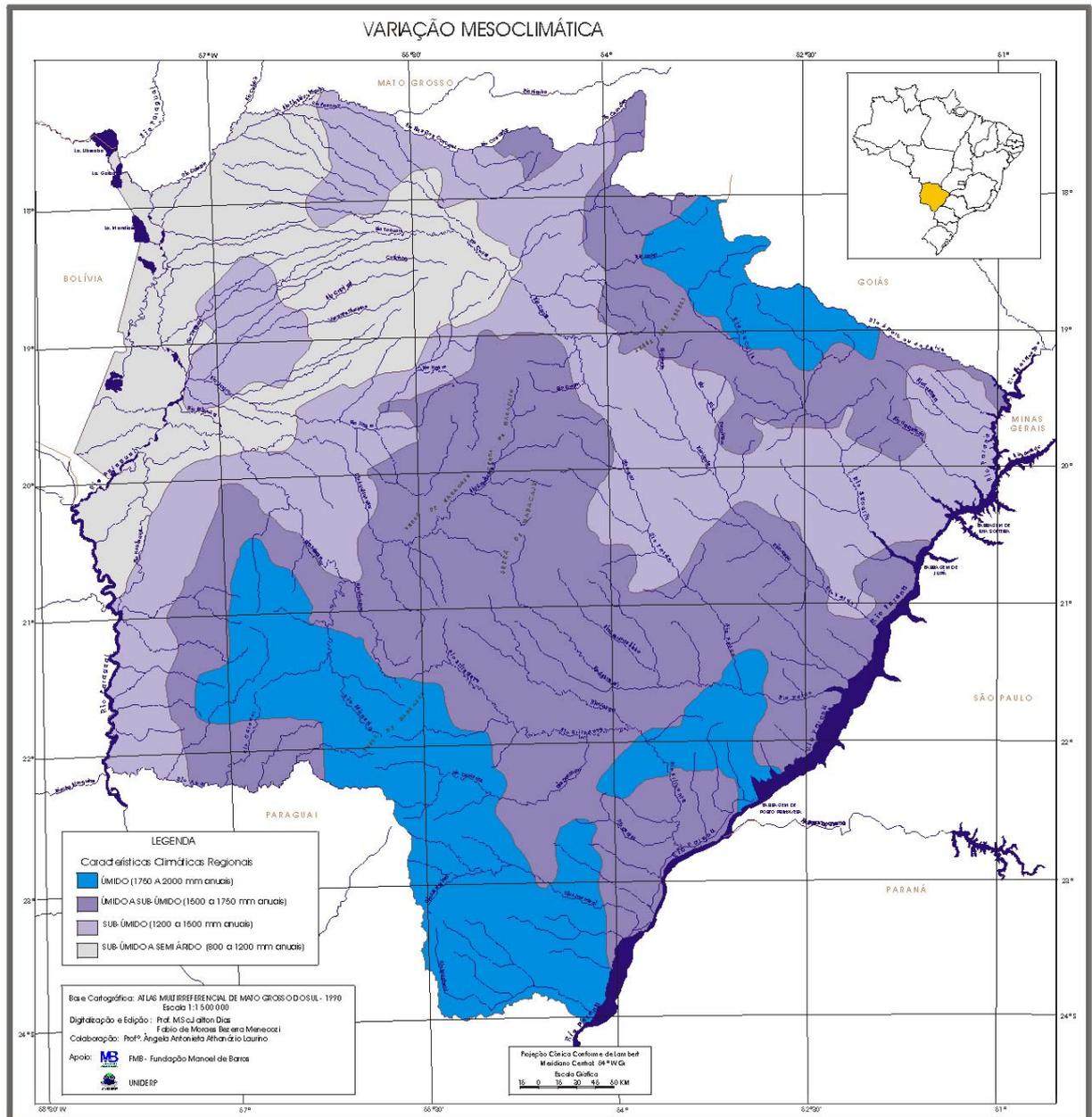


FIGURA 3.9 - Carta de variação mesoclimática do Estado de Mato Grosso do Sul (Dias, 2000)

Ainda há muito que se estudar sobre o controle hídrico da região, já que a rede de postos pluviométricos em Mato Grosso do Sul, possui um número de estações inferior ao

recomendado para estudos hidrológicos, além de apresentar uma distribuição desuniforme no Estado (Rondon, 2001).

3.6 Vegetação

Através das cartas de uso de solo, observa-se que as matas e cerrados da região do ribeirão Salobra vêm dando espaço às atividades agropecuárias. Foi notado que a evolução da área agrícola passou de 0,87% em 1985 para 3,40% em 2001. Na figura 3.10 é apresentada a ocupação da bacia, tendo como referência o ano de 2001, sendo que não há novos registros quanto à ocupação do solo na região; e a figura 3.11 fornece a composição percentual dos tipos de ocupação do solo em 2001.

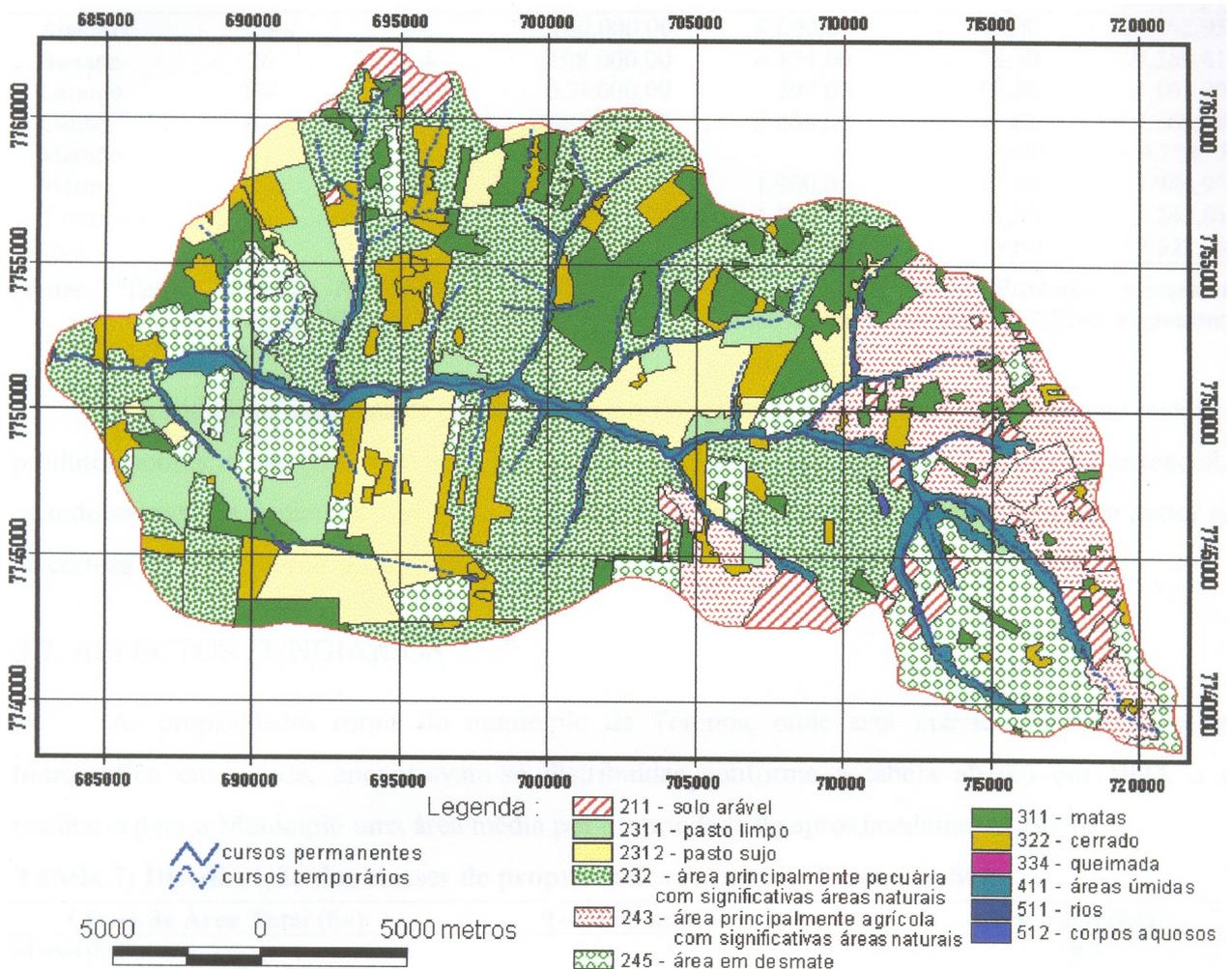


FIGURA 3.10 - Uso atual do solo, ano de referência 2001 (Polizer, 2002)

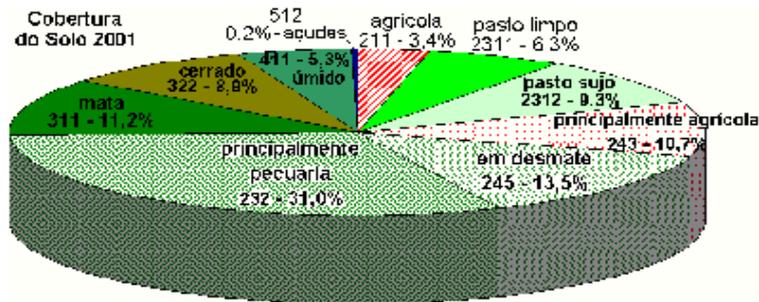


FIGURA 3.11 – Composição percentual da cobertura do solo em 2001 (Polizer, 2002)

3.7 Agricultura Irrigada

Denomina-se irrigação como a aplicação artificial de água ao solo, com finalidade de proporcionar a umidade necessária ao crescimento normal das plantas nele existentes, suprimindo a falta, insuficiência, ou má distribuição das chuvas (Barreto, 1976). Constituindo uma técnica que proporciona alcançar a máxima produção, em complementação às demais práticas agrícolas, a irrigação tem sido alvo de considerável interesse, principalmente nas regiões Nordeste e Centro-Sul do Brasil (Christofidis, 2004). A Tabela 4.1 mostra a evolução de áreas irrigadas na região Centro-Oeste.

TABELA 3.1 - Evolução das áreas irrigadas na Região Centro-Oeste

Fonte: Adaptado de Christofidis (2002 e 2005), Christofidis (1998) *apud* Gonzaga Neto (2000)

O incremento de produtividade e a participação da irrigação na produção de alimentos ficam evidenciados quando se constata, através de dados, da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura, que apenas uma parcela de 1/6 da área mundial cultivada é irrigada, sendo responsável por 2/5 da produção mundial de alimentos. Para o Brasil, foi estimado que em 1996 a área irrigada brasileira equivalia a 4,8% da área plantada, correspondendo a 16% da produção agrícola total (ABIMAQ, 2002). Já é sabido que a

irrigação principalmente a mecanizada, pode, em alguns casos triplicar a produção (Gonzaga, 2000). Mas para se obter resultados satisfatórios com o uso dessa tecnologia, deve-se ter um manejo realizado de maneira adequada, levando-se em conta as características do solo, a cultura utilizada e a evaporação da região, lembrando que esse valor é variável, dependendo das atuais condições climáticas (Klocke, 2006)

Leme (2003) fez um estudo de classificação das terras aptas para agricultura irrigada na região do ribeirão Salobra, levando em consideração características do solo, uso do solo e declividade. Estas terras preferenciais à irrigação somam 23.162,93 ha ou 43,89% da área da bacia, segundo os parâmetros por ele utilizado. Essa “área preferencial” é delimitada pelo desnível geométrico de 80m e/ou distância máxima de 5.000m a partir do ribeirão em estudo.

3.8 Qualidade da água para irrigação

O conceito qualidade de água refere-se as suas características que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico, sendo importante para agricultura os seguintes requisitos: salinidade, infiltração de água (sodificação) e outros problemas.

Segundo Daker (1988), deve-se ter em mente que, embora num determinado lugar ou vale, as águas superficiais possam se caracterizar por um teor mais ou menos uniforme de sais, as águas subterrâneas geralmente não apresentam esta uniformidade. Um poço com água de qualidade razoável pode estar relativamente próximo a um que apresente água inadequada. Aliás, neste particular, é conveniente analisar as águas subterrâneas de cada poço aberto, inclusive das regiões úmidas, pois mesmo nestas as qualidades da água subterrânea podem não ser satisfatória à irrigação.

O conhecimento das características das águas a serem irrigadas também é de grande importância para a determinação da variedade de cultura que deve ser mais adequada para a referida área, pois levando-se em consideração as características da água, pode escolher uma cultura à ela melhor adaptada (Myslik, 1999).

As plantas assimilam muito pouco dos minerais dissolvidos da água de irrigação. A maior parte dos minerais, portanto, fica no solo ou permanece dissolvido na porção não aproveitada da água. Se das repetidas irrigações resultar demasiada impregnação de sais minerais, a fertilidade do solo pode ser destruída (CETESB, 1978).

O melhoramento da água de irrigação pode ser feito pela mistura de uma água de boa com outra de má qualidade. Isso é sempre aconselhável quando se tem escassez de boa água

junto com abundância de águas com altos teores de sais (águas de drenagem, de poços etc.). No caso de excesso de sódio, a aplicação de gesso moído promove a substituição desse cátion pelo cálcio, melhorando a qualidade da água, que, por sua vez, tende a melhorar a qualidade do solo, melhorando sua permeabilidade prejudicada pelo sódio (Daker, 1988).

Daker (1988) ressalta, também, que a natureza do solo tem muita importância sobre a ação da água. Os solos arenosos, além de serem mais permeáveis (facilidade de lixiviação) do que os argilosos, podem conter maior concentração de sódio sem que adquiram más características físicas. Por isso, podem receber águas de qualidades mais baixas que os argilosos.

3.8.1 Características que determinam a qualidade da água para irrigação

3.8.1.1 Concentração total de sais solúveis ou salinidade

A principal consequência do aumento da concentração total de sais solúveis de um solo é a elevação do seu potencial osmótico, o que prejudica as plantas, em razão do decréscimo da disponibilidade de água daquele solo.

A salinização de um solo depende da qualidade da água usada na irrigação, do seu manejo, da existência e do nível de drenagem natural e, ou, artificial do solo, da profundidade do lençol freático e da concentração original de sais no perfil do solo (Bernardo, 1997).

A concentração total de sais da água para irrigação pode ser expressa em partes por milhão (ppm) ou em relação à sua condutividade elétrica (CE). Em razão da facilidade e rapidez de determinação, a condutividade elétrica tornou-se o procedimento-padrão, a fim de expressar a concentração total de sais para classificação e diagnose das águas destinadas à irrigação (Bernardo, 1997).

Há também dois testes rápidos para avaliar a qualidade da água, no que diz respeito à concentração total de sais.

- A razão entre a condutividade elétrica (em micromhos, por centímetro), e a concentração de cátions (em miliequivalente, por litro), deve aproximar-se de 100. Essa razão tende para 80, para águas ricas em cálcio e magnésio, ou para 110, para águas ricas em sódio.

- A razão entre a concentração de sólidos dissolvidos (em partes por milhão), dividida pela condutividade elétrica (em micromhos, por centímetro), deve aproximar-se de 0,64.

3.8.1.2 Proporção relativa de sódio, em relação a outros cátions ou capacidade de infiltração do solo

Segundo Bernardo (1997), o decréscimo da capacidade de infiltração de um solo dificulta a aplicação da lâmina de irrigação necessária, num tempo apropriado, de modo a atender à demanda evapotranspirométrica da cultura.

A capacidade de infiltração de um solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da razão de adsorção do solo (RAS) e, ou, com o decréscimo de conjuntamente para se poder avaliar corretamente o efeito da água de irrigação na redução da capacidade de infiltração de um solo.

A proporção relativa de sódio, em relação a outros sais, pode ser expressa adequadamente, em termos da razão de adsorção do sódio (RAS), a qual pode ser calculada como na eq. (4.1), com as concentrações de Na, Ca e Mg, em miliequivalente por litro.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (3.1)$$

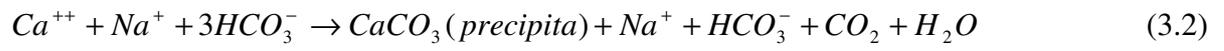
3.8.1.3 Perigos de salinização e sodificação

Os problemas de infiltração relacionados com a qualidade da água de irrigação que está sendo utilizada devem ser avaliados pelos valores de CE e RAS. A infiltração, em geral, aumenta com a salinidade e diminui com a redução desta ou com o aumento no teor de sódio em relação ao cálcio e magnésio (RAS) (Morais et al., 1998). Desta forma, para avaliar o efeito final da qualidade da água, deve-se considerar esses dois fatores (Ayers & Westcot, 1984).

3.8.1.4 Concentração de bicarbonatos

Nas águas que contêm concentrações elevadas de íons de bicarbonatos, há tendência para a precipitação do cálcio e do magnésio, sob a forma de carbonatos, reduzindo, então, a concentração de cálcio e magnésio, na solução do solo, e, conseqüentemente, aumentando a proporção de sódio, uma vez que a solubilidade do carbonato de sódio é superior à dos

carbonatos de cálcio e de magnésio. Esse processo está ilustrado em eq. (4.2), com as concentrações dos íons expressas em miliequivalentes por litro (Bernardo, 1997).



4. MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o assunto, incluindo um levantamento das características da bacia do ribeirão Salobra, situada no município de Terenos – MS, e, também, foram coletados dados cadastrais de poços tubulares localizados na área, conforme tabela 4.1, obtidos junto a empresas Hidrosomat Ltda e Eletrobombas Ltda, ambas localizadas em Campo Grande-MS. De posse desses dados foi planejada a campanha de coleta das amostras das águas subterrâneas da bacia do ribeirão Salobra, que correspondem às amostras P1 a P12 e de água superficial do próprio ribeirão, P13 (Figura 4.2), totalizando 13 pontos de coleta, distribuídos conforme figura 4.1.

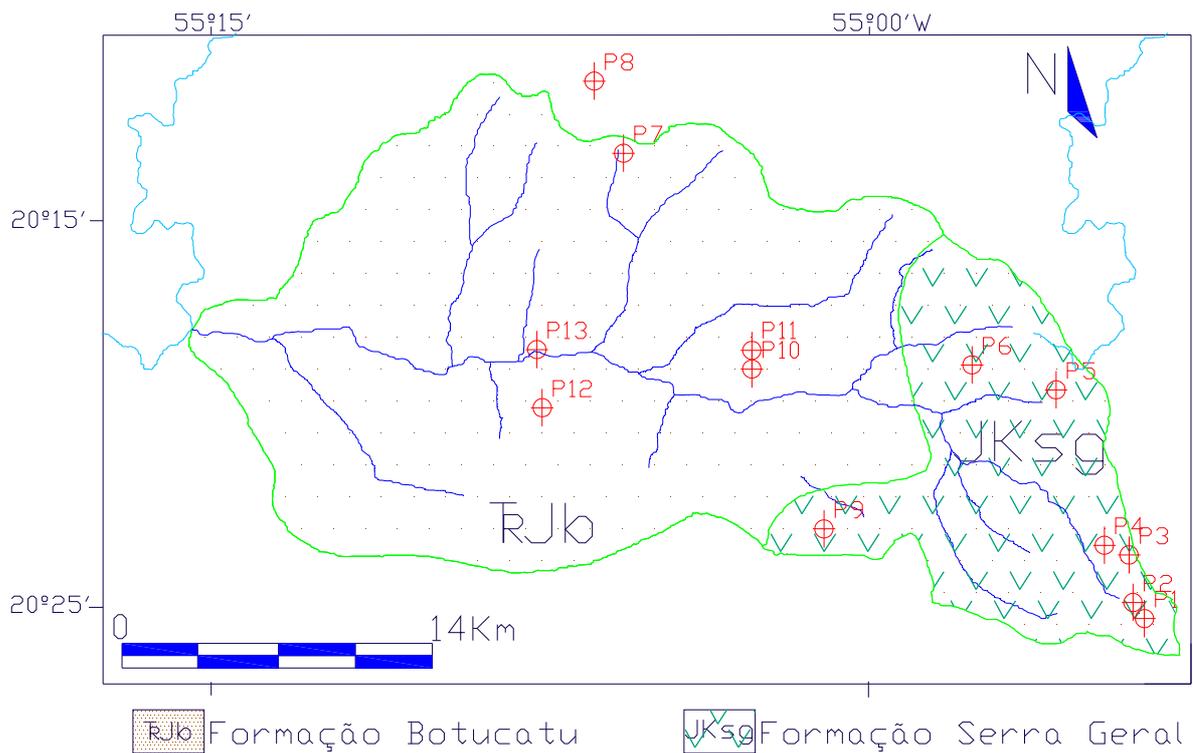


FIGURA 4.1 - Distribuição dos pontos de coleta das amostras na Bacia do Ribeirão Salobra

TABELA 4.1 - Dados cadastrais dos poços analisados

Amostra	Localidade	Nível estático (m)	Nível dinâmico (m)	Vazão (m³/h)	Prof. (m)
P 1	Retiro Salobra	-	-	-	-
P 2	Faz. Flor Nativa	31	48	16,00	72
P 3	Faz. Brangus	21	28	17,22	36
P 4	Projeto Pacu	jorrante	-	12,00	120
P 5	Faz. Araras	-	-	-	-
P 6	Faz. Oeste	-	-	-	-
P 7	Faz. Chaparral	38	110	2,80	150
P 8	Faz. Cristo Rei	36	82	3,00	130
P 9	PRF	86	126	12,00	149
P 10	Faz. São Gabriel	-	-	-	-
P 11	Faz. Fontes	-	-	-	-
P 12	Faz. 7 Embriões	35	45	19,00	120
P 13	Ribeirão Salobra	-	-	-	-

Fonte: Dados cadastrais das empresas Hidrosomat Ltda e Eletrobombas Ltda



FIGURA 4.2 – Local de coleta da amostra de água superficial do ribeirão Salobra (Ponto 13)

4.1 Coleta

Em dezembro de 2006, seguindo as instruções de Bernardo (1999), no início das atividades, o conteúdo do poço foi bombeado, buscando-se eliminar o volume de água parada. Para cada ponto de coleta foram utilizadas duas amostras, com um volume de 0,5 litro cada, utilizando-se garrafas plásticas, bem limpas. As amostras foram coletadas em pontos mais próximos possível dos poços e os primeiros jatos de água foram ignorados (Figura 4.3)



FIGURA 4.3 - Coleta de água em poço tubular na Bacia do Ribeirão Salobra (Faz. 7 Embriões)

4.2 Análise

As análises da água devem determinar as seguintes características: pH, CE (Condutividade Elétrica), cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+) e ânions (Cl^- , SO_4 , HCO_3^- e CO_3^{2-}).

A temperatura do ar e da água, o pH e a CE foram obtidos diretamente no campo (Figura 4.4). As amostras foram então, armazenadas em caixa térmica e logo enviadas ao laboratório para análise das demais características.



FIGURA 4.4 - Determinação da temperatura de água subterrânea na Bacia do Ribeirão Salobra

4.2.1 Determinação das coordenadas

Para a determinação das coordenadas dos pontos de coleta (coordenadas e altitude) foram utilizados um altímetro da marca Suunto, modelo E203 scape e um GPS II plus, marca Garmin, esses dados foram ajustados levando em consideração o marco 01 em Campo Grande/MS.

4.2.2 Determinação da condutividade elétrica

Feita por meio de um condutivímetro Hach, modelo Sension 1 que foi dada em $\mu\text{s}/\text{cm}$.

4.2.3 Determinação do pH

Foi utilizado um pHmetro da Tecnal, modelo R-Tec-03P-MP.

4.2.4 Determinação dos cátions e ânions

As determinações de Na e K foram realizadas por Espectrofotometria de Absorção Atômica (FAAS) e os demais elementos por Espectrometria de Emissão Atômica com Fonte de Plasma de Argônio Indutivo (ICP-AES). As análises foram baseadas no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 19ª edição, 1995. E, foram realizadas pelo Laboratório de Hidrogeologia e Hidrogeoquímica do IGCE (Instituto de Geociências e Ciências Exatas) da UNESP/Rio Claro-SP.

4.3 Classificação

Através dos resultados das análises físico-químicas foi feita a classificação das amostras quanto ao perigo de salinização e sodificação do solo. Esta foi realizada utilizando as propostas recomendadas pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (U.S.D.A.), citado em Richards (1954).

4.3.1 Perigo de salinização

As águas são divididas em quatro classes, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade.

- C1 - Água com salinidade baixa (CE entre 0 e 250 micromhos/cm a 25°C)

Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas e solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade. Alguma lixiviação é necessária, mas isso ocorre nas práticas normais de irrigação, à exceção dos solos com permeabilidade extremamente baixa.

- C2 - Água com salinidade média (CE entre 250 e 750 micromhos/cm, a 25°C)

Pode ser utilizada sempre que houver grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle da salinidade.

- C3 - Água com salinidade alta (CE entre 750 e 2250 micromhos/cm, a 25°C)

Não pode ser empregada em solos com deficiência de drenagem. Mesmo naqueles com drenagem adequada, às vezes são necessárias práticas especiais para o controle da salinidade. Pode ser usada somente em plantas com boa tolerância aos sais.

- C4 - Água com salinidade muito alta (CE entre 2250 e 5000 micromhos/cm, a 25°C)

Não é apropriada para irrigações sob condições normais, mas pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos deverão ser muito permeáveis e com drenagem adequada, devendo ser aplicado excesso de água nas irrigações para ter boa lixiviação. A água somente deve ser usada em culturas tolerantes aos sais.

4.3.2 Perigo de alcalinização ou sodificação

As águas são divididas em quatro classes, segundo sua razão de adsorção de sódio (RAS), ou seja, em virtude do efeito do sódio trocável, nas condições físicas do solo.

- S1 - Água com baixa concentração de sódio ($RAS < 32,19 - 4,44 \log CE$)

Pode ser usada para irrigação em quase todos os tipos de solo, com pequena possibilidade de alcançar níveis indesejáveis de sódio trocável.

- S2 - Água com concentração média de sódio ($32,19 - 4,44 \log CE < RAS < 51,29 - 6,66 \log CE$)

Só pode ser utilizada em solos de textura grossa ou em solos orgânicos com boa permeabilidade. Apresenta perigo de solidificação considerável em solos de textura fina com grande capacidade de troca catiônica, especialmente sob baixa condição de lixiviação, a menos que haja gesso no solo.

- S3 - Água com alta concentração de sódio ($51,29 - 6,66 \log CE < RAS < 70,36 - 8,87 \log CE$)

Pode produzir níveis maléficos de sódio trocável na maioria dos solos e que requer práticas especiais de manejo, boa drenagem, alta lixiviação e adição de matéria orgânica. Em solos com muito gesso, a água pode não desenvolver níveis maléficos de sódio trocável, além de requerer o uso de corretivos químicos para substituir o sódio trocável, exceto no caso de apresentar salinidade muito alta, quando esse uso não seria viável.

- S4 - Água com excessiva concentração de sódio ($RAS > 70,36 - 8,87 \log CE$)

É geralmente imprópria para irrigação, exceto quando sua salinidade for baixa ou em alguns casos, média, e a concentração de cálcio do solo ou o uso de gesso e outros corretivos tornarem o uso desta água viável.

4.3.3 Classificação da água para irrigação levando em conta os perigos de salinização e sodificação

De posse da classificação quanto aos perigos de salinização e sodificação, deve-se fazer uma combinação entre as duas classificações. Algumas vezes, a água de irrigação pode dissolver suficiente quantidade de cálcio de solos calcários, diminuindo assim apreciavelmente, o perigo de solidificação, o que deve ser levado em conta no uso de águas C1-S3 e C1-S4. Para solos calcários com pH alto ou para solos não calcários, o nível de sódio nas águas das classes C1-S3 e C1-S4 pode ser melhorado com a adição de gesso. Também poderá ser benéfico quando se usarem águas das classes C2-S3 e C3-S2, adicionando, periodicamente, gesso ao solo.

Para facilitar a classificação das águas para irrigação, quanto aos perigos de salinização e de sodificação do solo, os técnicos do Laboratório de Salinidade dos E.U.A. elaboraram dois diagramas que devem servir de apoio (Apêndices A e B).

4.3.4 Classificação quanto à concentração de bicarbonatos

Nas águas que contêm concentrações elevadas de íons de bicarbonato, há tendência de ocorrer precipitação do cálcio e do magnésio, sob a forma de carbonatos, reduzindo assim, a concentração de cálcio e magnésio na solução do solo e, conseqüentemente, aumentando a proporção de sódio.

A água para irrigação pode ser classificada de acordo com a concentração de "Carbonato de Sódio Residual" (CSR), determinada por:

$$CSR = (CO_3 + HCO_3) (Ca^{++} + Mg^{++})$$

- Água não recomendada para irrigação - CSR superior a 2,5 miliequivalentes por litro.
- Água recomendada com restrição - CSR entre 1,25 a 2,5 miliequivalentes por litro.

- Água recomendada para irrigação - CSR inferior a 1,25 miliequivalentes por litro.

4.3.5 Diagramas de Piper e Stiff

Para a representação dos diferentes tipos químicos, utilizou-se os diagramas de *Piper* e *Stiff* pela simplicidade e pelo efeito visual que apresenta, onde os cátions e os ânions estão em meq/L (Lisboa, 1996). O diagrama de *Piper*, assim como o de *Stiff* foram traçados com a utilização do *software GWW- Ground Water for Windows*, versão 1.10 (Braticevic & Karanjac, 1995).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as informações obtidas da bibliografia, os valores determinados “*in loco*” e os resultados das análises em laboratório foi elaborada a tabela 5.1. A integração de todas as etapas do trabalho proporcionou a elaboração do texto da Dissertação, com indicação das conclusões e recomendações.

Ainda em campo pôde-se fazer uma classificação genérica de acordo com o pH, já que no caso das águas de irrigação, o pH normal situa-se entre 6,50 e 8,40 (Ayers & Westcot, 1984). Como se pôde verificar na tabela 5.1 a maioria das águas estudadas encontram-se com valores normais de pH, descartando-se assim a possibilidade das águas criarem desequilíbrios de nutrição ou conter íons tóxicos. Apenas as amostras P2 e P10 encontraram-se fora desse intervalo, com pH de 6,49 e 8,42, respectivamente.

Foram determinadas as concentrações de anions, cátions e metais para todos os pontos de coleta, porém alguns desses elementos não foram considerados para fins de classificação, já que a análise no presente estudo é apenas para uso em irrigação.

De posse desses valores foi possível a classificação das amostras, a fim de atingir o objetivo proposto.

5.1 Perigo de salinização

Quanto ao perigo de salinização, as amostras apresentaram valores de Condutividade Elétrica que mostram serem indicadas para irrigação da maioria das culturas, sendo 12 (doze) dessas amostras pertencem a classe C1 (água com salinidade baixa), e apenas a amostra P 6 se enquadrou na classe C2 (água com salinidade média), conforme ilustração na figura 5.1.

A amostra P4 apresentou o menor valor para CE, que foi de 14,54 micromhos/cm, já o valor máximo foi apresentado na amostra P6, com CE de 671,00 micromhos/cm.

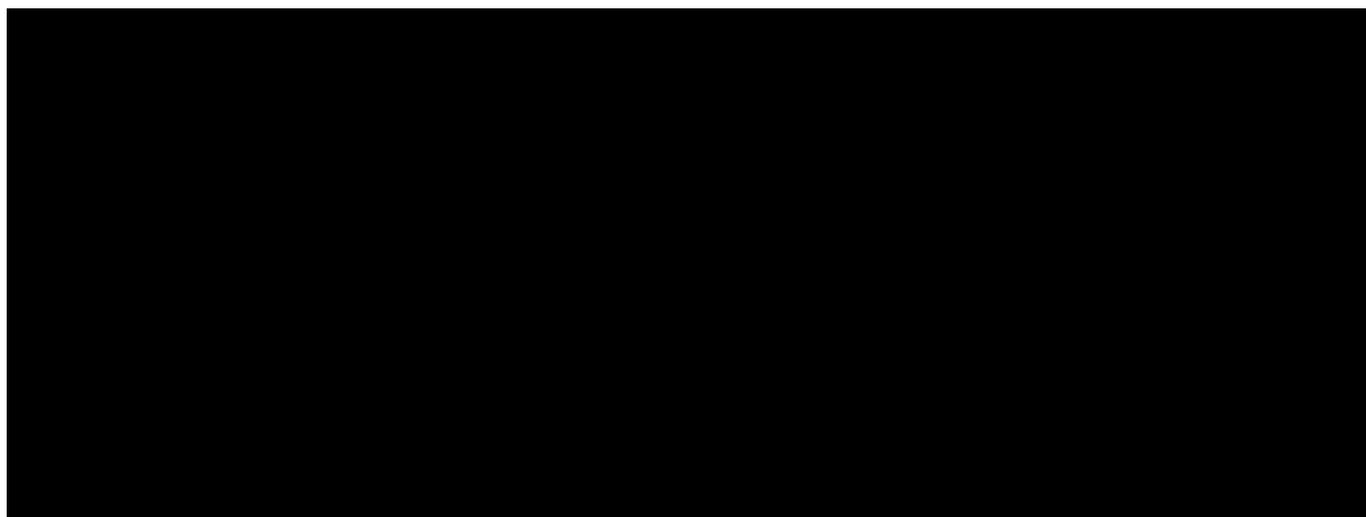
TABELA 5.1 - Resultados das análises físico-químicas**(continua)**

TABELA 5.1 - Resultados das análises físico-químicas

(continua)

Amostra	CO3 (µs/cm)	HCO3 (mg/L)	Cl (mg/L)	F (mg/L)	SO4 (mg/L)	NO3 (mg/L)	HCO3 (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Si (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	Sr (mg/L)	Al (mg/L)	P (mg/L)
P 1	88,50	3,2	4,2	9,6	4,4	5	47,4	3,2	1,2	23,8	4,2	9,6	0,053	0,12	0,13
P 2	86,70	3,9	3,2	11,8	3	< 3	59,4	3,9	2,9	28	3,2	11,8	0,059	< 0,010	0,15
P 3	149,20	7,1	7,4	17,2	< 3	< 3	107	7,1	2,9	28,7	7,4	17,2	0,13	< 0,010	0,26
P 4	14,54	1,2	0,5	1,3	< 3	< 3	10,2	1,2	1,2	10,3	0,5	1,3	0,011	0,047	<0,10
P 5	25,40	0,95	0,44	1,9	< 3	< 3	17,4	0,95	3,5	13	0,44	1,9	0,009	< 0,010	<0,10
P 6	671,00	8,3	3,8	21,7	79,4	< 3	109	8,3	83	19,1	3,8	21,7	0,062	< 0,010	<0,10
P 7	16,37	0,58	0,36	0,17	< 3	< 3	11,6	0,58	4	11,1	0,36	0,17	0,008	< 0,010	<0,10
P 8	18,05	1,5	0,28	0,67	< 3	< 3	14,0	1,5	3,7	11,4	0,28	0,67	0,007	< 0,010	<0,10
P 9	161,60	4,7	6,4	25,2	4,2	< 3	117	4,7	2,5	16,4	6,4	25,2	0,092	< 0,010	<0,10
P 10	17,22	0,65	0,18	1,3	< 3	< 3	7,7	0,65	1,4	6,7	0,18	1,3	0,007	< 0,010	<0,10
P 11	77,90	1,1	0,53	15,9	< 3	8	56,1	1,1	2,8	8,2	0,53	15,9	0,03	0,48	<0,10
P 12	19,26	1	0,37	1,3	< 3	< 3	14,5	1	3,1	12,9	0,37	1,3	0,007	< 0,010	<0,10
P 13	42,40	1,9	0,7	2,2	< 3	< 3	12,6	1,9	1,6	10,1	0,7	2,2	0,011	0,73	<0,10

TABELA 5.1 - Resultados das análises físico-químicas**(conclusão)**

Amostra	Zn (µs/cm)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Ni (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Ba (mg/L)
P 1	0,059	< 0,005	0,071	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,17
P 2	0,02	< 0,005	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,13
P 3	0,015	< 0,005	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,2
P 4	0,038	< 0,005	0,37	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,14
P 5	0,01	< 0,005	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,17
P 6	0,059	< 0,005	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,044
P 7	0,031	< 0,005	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,26
P 8	0,033	< 0,005	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,19
P 9	0,29	< 0,005	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,074
P 10	0,027	0,032	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,097
P 11	0,32	< 0,005	0,083	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,3
P 12	0,022	< 0,005	< 0,005	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,18
P 13	0,02	0,003	0,67	< 0,020	< 0,005	< 0,003	< 0,005	0,068

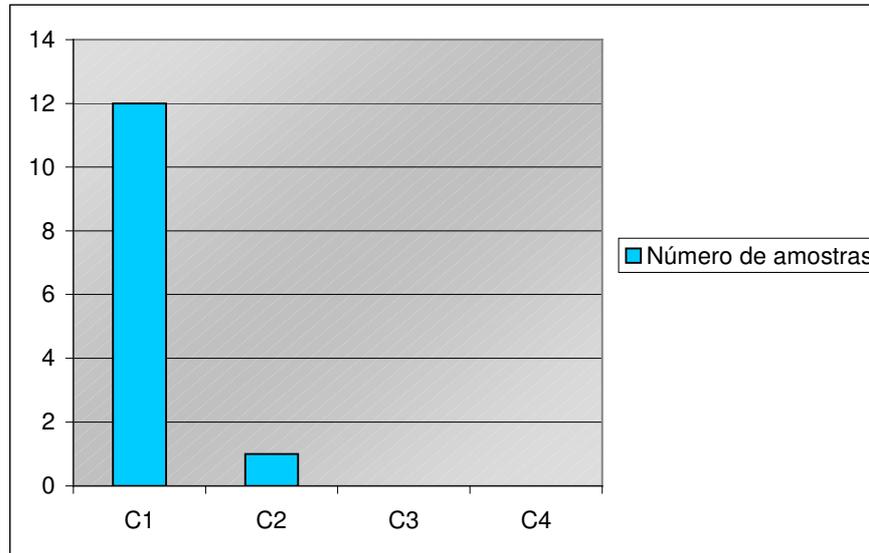


FIGURA 5.1 - Classificação quanto ao perigo de salinização

5.2 Perigo de sodificação

As amostras também se apresentaram própria para irrigação no que se refere ao perigo de alcalinização ou sodificação, já que todas se enquadraram na classe S1, ou seja, de acordo com a amostragem, são águas com baixa concentração de sódio trocável.

5.3 Classificação da água para irrigação levando em conta os perigos de salinização e sodificação

De acordo com a proposta elaborada pelo “*U. S. Salinity Laboratory*”, verifica-se que todas as amostras pertencem às categorias C1S1, C2S1, sendo 92,31% consideradas excelente de acordo com a presente classificação, podendo ser utilizadas na maioria dos solos com baixo perigo de salinização e sodificação (ver tabela 5.2), não apresentando problemas de infiltração no solo, decorrente da qualidade da água.

TABELA 5.2 - Percentagens relativas das diferentes classes de água, com base na classificação conforme Richards (1954)

Classes	Perigo de		Qualidade da água	%
	Salinidade	Sodificação		
C1S1	Baixo	Baixo	Excelente	92,31
C2S1	Médio	Baixo	Boa	7,69

5.4 Classificação quanto à concentração de bicarbonatos

Conforme tabela 5.3, das águas estudadas, 76,92% não apresentam restrição com relação ao bicarbonato, 7,69% têm problemas de restrição crescente e 15,38% têm severa restrição. Apesar de não ser grande o número de análises com severa restrição de uso, essas águas devem ser evitadas, principalmente se for usado o sistema de irrigação por aspersão, devido aos constantes problemas de incrustações que o bicarbonato provoca sobre folhas, frutos e flores, provocando com isso dificuldade na comercialização dos produtos, em virtude de má aparência. Um outro problema que a presença de bicarbonato provoca é a possibilidade de formação de camada compacta no solo e conseqüente redução da infiltração e permeabilidade da água através do perfil. Isso ocorre por haver nas águas ricas em bicarbonato uma tendência de precipitação, principalmente do cálcio na forma de carbonato, à medida que a solução do solo se torna mais concentrada, aumentando o risco de sodificação.

Porém com boas práticas de manejo, é possível usar águas duvidosas sem prejuízo à irrigação ou, pelo menos, de modo a retardar a acumulação de sódio no complexo do solo. Estas práticas incluem uma adequada lixiviação ou lavagem, que tende a manter um nível baixo de bicarbonato, e a aplicação de corretivo agrícola como fonte de cálcio solúvel, a fim de manter favorável a relação Ca/Na na solução do solo.

TABELA 5.3 - Qualidade da água em relação aos problemas provocados por bicarbonato

Classes	Grau de restrição p/ irrigação Bicarbonato	Número de análises	%
CSR<1,25	recomendada	10	76,92
1,25<CSR<2,5	recomendada com restrição	1	7,69
CSR<2,5	não recomendada	2	15,38

Observa-se que as amostras consideradas não recomendadas e recomendadas com restrição encontram-se na Formação Serra Geral, enquanto as amostras coletadas no Botucatu são recomendadas para irrigação. Esse fato pode ser explicado já que o topo da formação Serra Geral é constituído por uma faixa de escape superficial dos voláteis, apresentando aspecto vesicular, com presença de amídalas, essas predominantemente preenchidas por calcita pela dissolução dos carbonatos, associado ao *deficit* hídrico existente na área dos basaltos em Mato Grosso do Sul (Lastória, 2002). Já as águas do aquífero Botucatu estão numa possível área de recarga, são consideradas “novas”, também, devido à porosidade característica dessa formação.

5.5 Diagrama de Piper

Conforme diagrama de Piper representado na Figura 5.2 as águas são predominantemente (69,2%) bicarbonatadas cálcicas. Em relação aos ânions, 92,3% das amostras são consideradas bicarbonatadas.

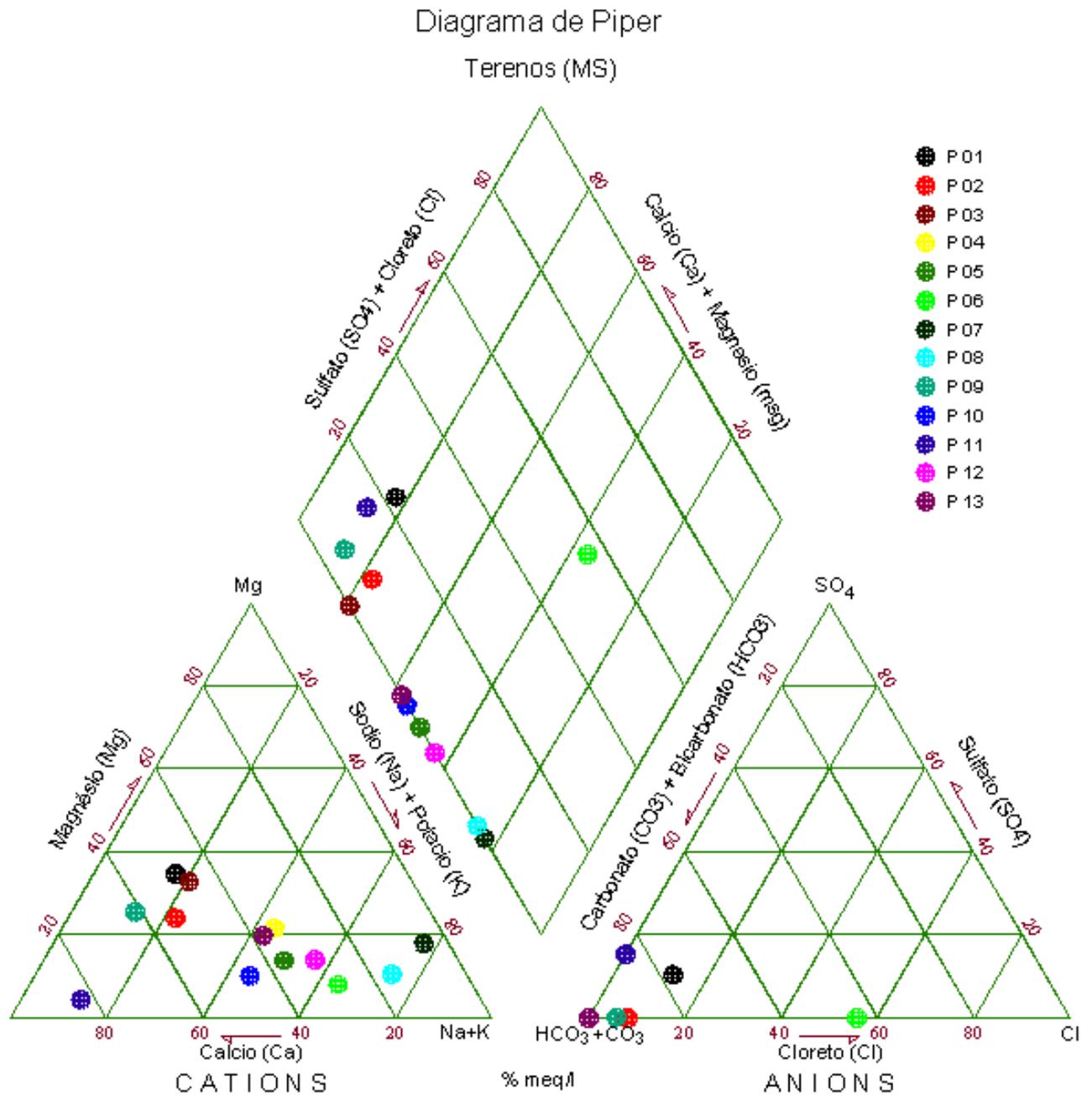


FIGURA 5.2 – Diagrama de Piper

5.6 Diagrama de Stiff

Nas figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 seguem os diagramas de *Stiff*, caracterizando algumas das amostras dos aquíferos Botucatu e Serra geral. As amostras, os cátions e ânions são representados por meq/L.

Com a visualização desses gráficos, pode-se confirmar que mesmo esses poços estando bem próximos uns aos outros, não há uma uniformidade das amostras quanto suas características físico-químicas, diferentemente do que ocorre nas águas superficiais. Daí vem a importância de analisar as águas subterrâneas de cada poço a ser utilizado.

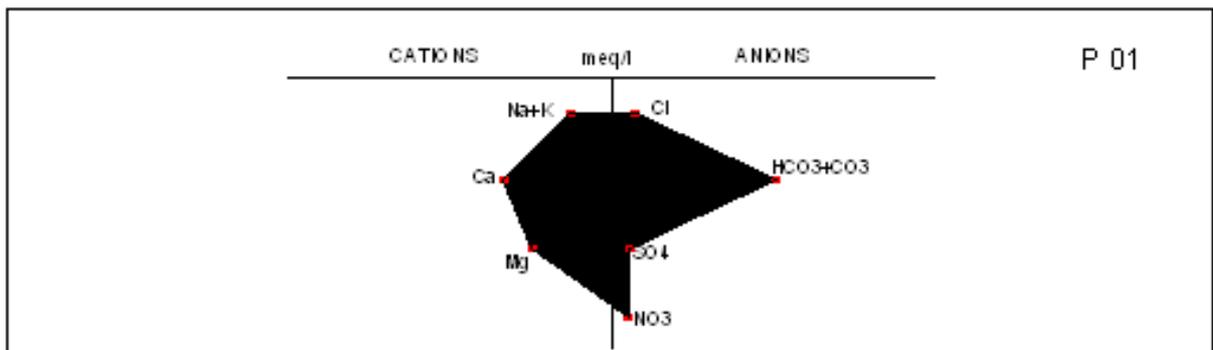


FIGURA 5.3 – Diagrama de Stiff da amostra P 1

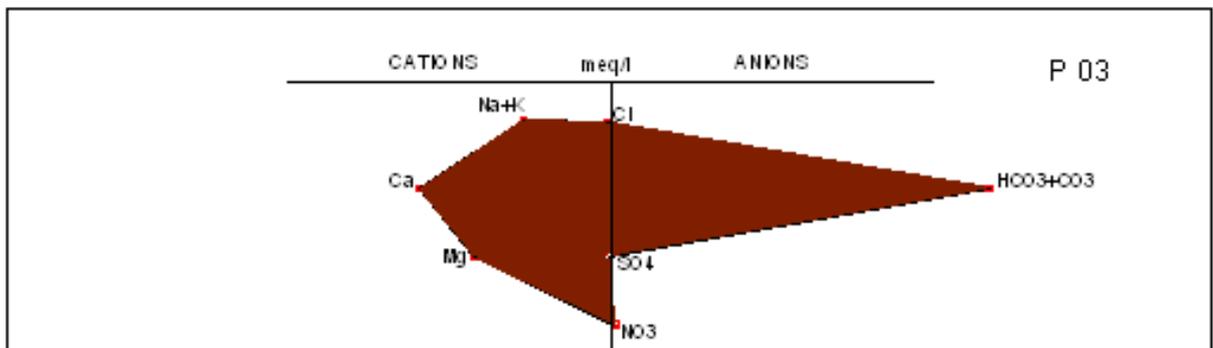


FIGURA 5.4 – Diagrama de Stiff da amostra P 3

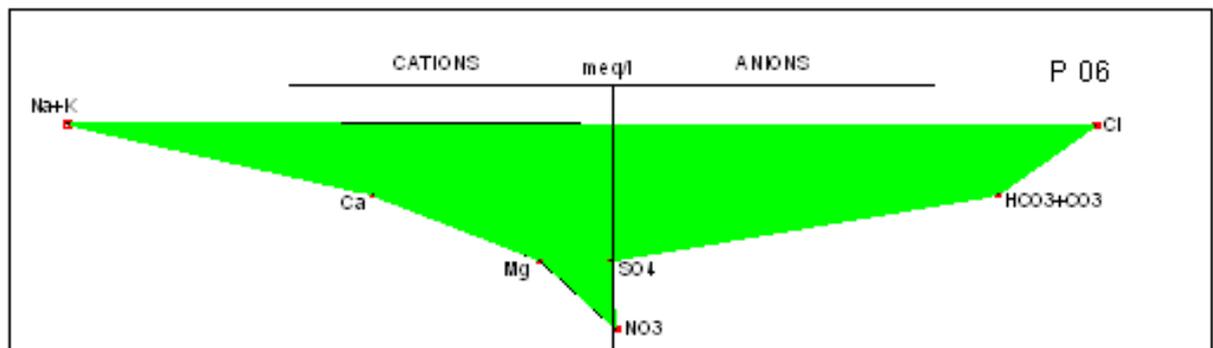


FIGURA 5.5 – Diagrama de Stiff da amostra P 6

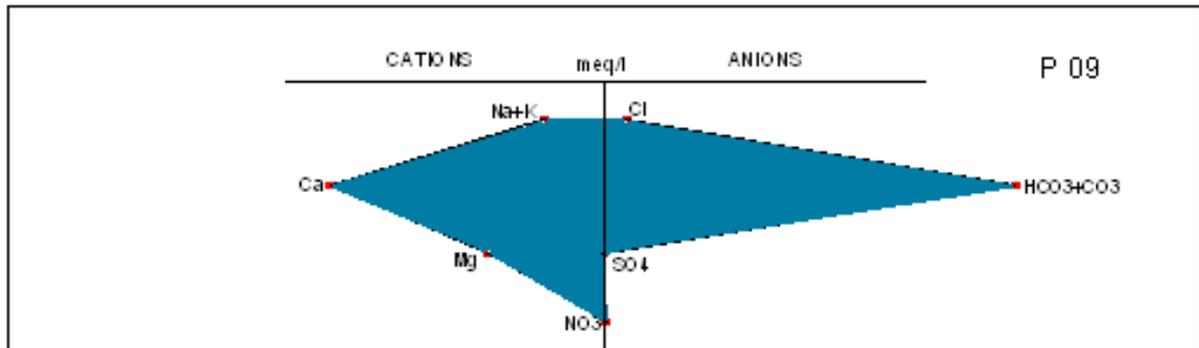


FIGURA 5.6 – Diagrama de Stiff da amostra P 9

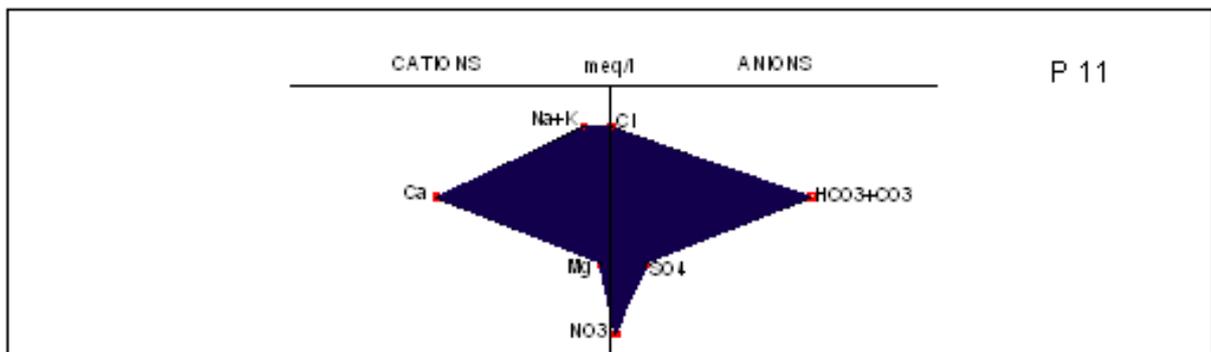


FIGURA 5.7 – Diagrama de Stiff da amostra P11

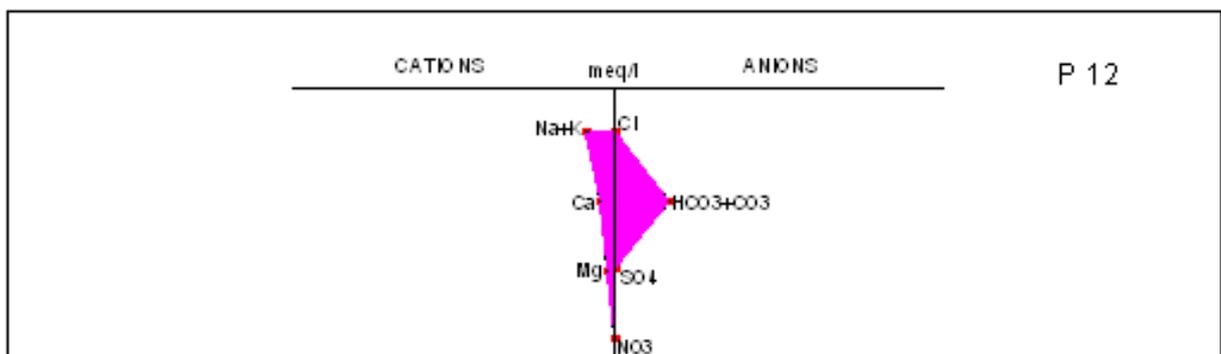


FIGURA 5.8 – Diagrama de Stiff da amostra P12

5.7 Gráfico pHe x pH

Através do índice de Langelier (Apêndice C), citado por Gallo (1977) foi desenvolvido o gráfico pHe x Ph para verificar a tendência das águas analisadas formarem incrustações. Essa informação deve ser considerada já que, conforme o método de irrigação utilizado, a água pode danificar as tubulações e aspersores. Através da figura 5.7, constata-se

que a maioria das amostras se classificam como águas agressivas e nenhuma das amostras é considerada água incrustante. Essa classificação é de grande importância, já que a irrigação por aspersão não é indicada para águas incrustantes, devido o perigo de danificar as instalações (Gomes, 1997).

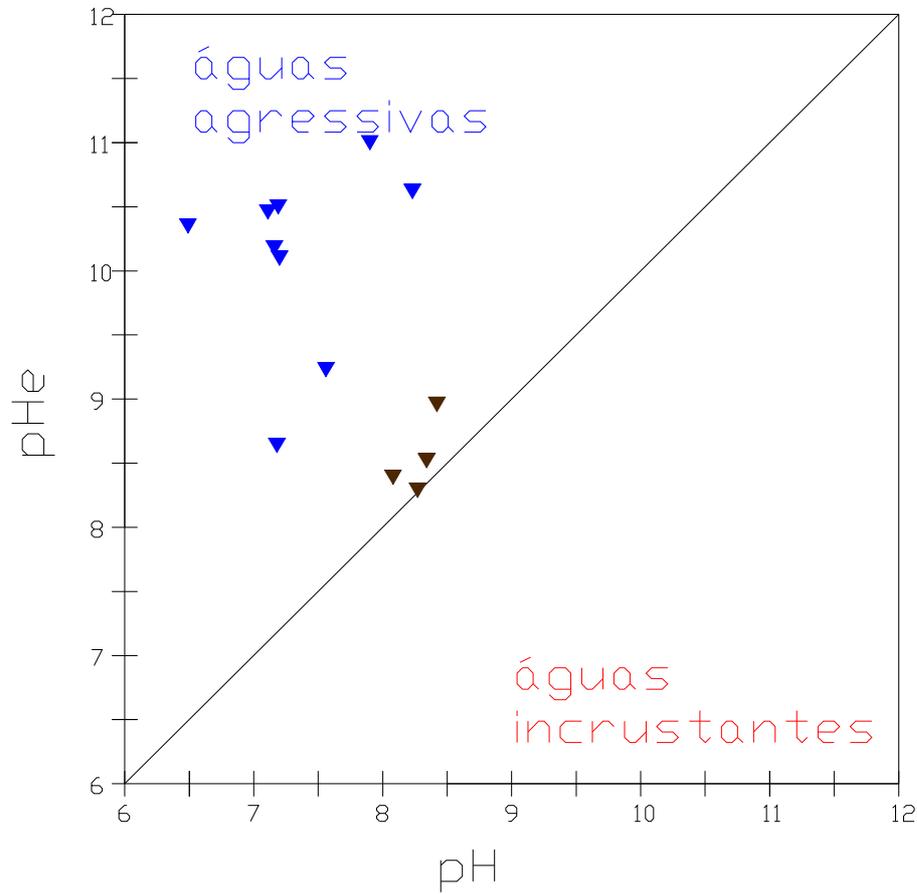


FIGURA 5.9 – Gráfico pHe x pH

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A maioria (84,62%) das amostras apresentaram pH normal. E através do índice de Langelier as águas não apresentaram características incrustantes.

Combinando as classificações dos perigos de salinização e de sodificação, a grande maioria (92,31%) das amostras são de boa qualidade e nenhuma apresentou qualquer problema de infiltração, considerando os parâmetros utilizados para essa classificação.

Cerca de 15,38% das amostras foram consideradas não recomendadas para irrigação devido à concentração de bicarbonato, podendo resultar em problemas de incrustações sobre as plantações.

Pode-se perceber que dependendo do método empregado para a classificação da água ocorreram alterações no enquadramento da água em classes específicas, a mesma amostra poderá se enquadrar como excelente, como também não recomendada. Porém, esses problemas podem ser sanados com boas praticas de manejo, ou ainda uma escolha adequada sobre o método de irrigação, ou cultura a ser cultivada.

Conforme os gráficos de Stiff apresentados, não há uma uniformidade das amostras quanto às características físico-químicas, confirmando o fato de que águas subterrâneas geralmente não apresentam a uniformidade que as águas superficiais têm quanto suas características físico-químicas. Salientando a importância de analisar as águas subterrâneas de cada poço a ser utilizado.

Deve ser considerado também, qual tipo de cultura será irrigada, já que as espécies têm diferentes graus de tolerância para cada elemento. Assim, em razão da variação de espécie para espécie, a água para irrigação tem de ser classificada em classes distintas, segundo a sensibilidade da cultura a ser irrigada.

Pode-se ainda utilizar-se de aparelhos de maior precisão para a aferição da altitude, para se traçar um mapa de isocondutividade, e poder constatar se as amostras não recomendadas seguem o mesmo fluxo. Essa questão pode ser de fundamental importância se ocorrer algum tipo de contaminação na área.

Os resultados encontrados neste estudo são técnicos, mostrando apenas a possibilidade de seu uso. Assim, também é necessário um estudo de viabilidade econômica para uma comparação entre os resultados econômicos obtidos e as medidas corretivas e a decisão de não se efetuarem as correções das deficiências.

Lembrando também que é recomendável a implantação de um programa de monitoramento sistemático nos poços existentes em Mato Grosso do Sul, para acompanhar a evolução dos níveis de água subterrânea, em função do tempo de exploração. Um programa desta natureza, poderia evitar um superbombeamento e conseqüentemente um rebaixamento dos aquíferos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS - ABIMAQ. Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação. **Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio**. Campinas, 2002.

AYERS, R.S; Westcot, D.W. **Calidad Del agua para la agricultura**. Estudio FAO: Riego y Drenaje. Roma, 1984.

BARRETO, G. B. **Irrigação: princípios, métodos e prática**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1976.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: Ed. UFV, 1997.

BRATICEVIC, D. & KARANJAC, J. – Ground Water for Windows. *Software GWW*, versão 1.10, New York., 1995.

CARTER, VAL H. Classificação de terras para irrigação. **Manual de irrigação**, v. 2. Bureau of Reclamation, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. (2004). **O uso da irrigação no Brasil**. Disponível em: <<http://www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>> (Último acesso em 11 ago. 2006)

CHRISTOFIDIS, D. (2006). **Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil**. Disponível em: <<http://www.pt.genderandwater.org/content/download/2996/33129/file/AguasustentabilidadealimentarBrasil1.pdf>> (Último acesso em 11 ago. 2006)

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Água subterrânea e poços tubulares**. São Paulo, 1978.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1970.

DIAS, J. (2000). **Carta de variação mesoclimática do estado de Mato Grosso do Sul**. Disponível em: <<http://www2.uniderp.br/Atlas/mesoclima.htm>> (Último acesso em 11 ago. 2006).

DSG – Diretoria do Serviço Geográfico Brasileiro. **Carta Campo Grande**. Folha SF. 21. X. B. I. Escala 1:100.000. Ministério do Exército – Região Centro-Oeste do Brasil. Carta. 2ª reimpressão. 1979.

DSG – Diretoria do Serviço Geográfico Brasileiro. **Carta Palmeira**. Folha SF. 21. X. B. III. Escala 1:100.000. Ministério do Exército – Região Centro-Oeste do Brasil. Carta. 2ª reimpressão. 1988.

INMET 2000. **Dados Climáticos. Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em <www.inmet.gov.br> Último acesso em 10 de Outubro de 2007.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. 2. ed. Campina Grande: UFPA, 1997.

GONZAGA NETO, L. Produtividade e competitividade dependem do aumento de hectares irrigados. **Revista dos Agrônomos**, ano III, n.1, p.14-20, 2000.

KLOCKE, N. L.; Currie, R.S. **Effect of crop residue on sprinkler irrigation management**. Garden City: Kansas State University, 2006.

LACERDA FILHO, J. V. **Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso do Sul**, Programa Geologia do Brasil, 2006.

LASTORIA, G. **Hidrogeologia da Formação Serra Geral no estado de Mato Grosso do Sul**. Rio Claro, 2002. 133p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual de São Paulo, campus Rio Claro.

LEME, F. R. **Contribuição ao reconhecimento das terras aptas para irrigação localizada: o caso da bacia do ribeirão Salobra em Terenos – MS**. Campo Grande, 2003. 47p.

Monografia (Pós-Graduação em Planejamento e Gerenciamento em Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

LISBOA, N.A. **Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos em unidades hidrogeológicas do sistema aquífero Serra Geral na Bacia do Paraná.** Porto Alegre, 1996. 120p. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MORAIS, E. R. C.; MAIA, C. E.; OLIVEIRA, M. Qualidade da água em amostras analíticas do banco de dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró. **Revista Caatinga**, v.11, p.75-83, 1998.

MYSLIK, J. P. (1999). **Coment assurer l'irrigation em cas de pénurie d'eau.** Disponível em: < <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/99-024.htm>> (Último acesso em 07 maio. 2007)

POLIZER, M. **Avaliação multitemporal de cobertura do solo na bacia do ribeirão Salobra – MS.** Campo Grande, 2002. 65p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

PRADO, H. de. **Manual de classificação de solos do Brasil.** 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995.

RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Folha SF 21 Campo Grande: **geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Levantamento de Recursos Naturais, 28.** Rio de Janeiro, 1982.

RESENDE, M; CORREA, G. F.; CURI, N.; RESENDE, S. B. **Pedologia:** Bases para distinção de ambientes. 3. ed. Viçosa: NEPUT, 1999.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **USDA. Agriculture handbook, 60.** Washington: U. S. Salinity Laboratory, 1954.

RONDON, M.A.C. **Espacialização de Intensidades Pluviométricas de Chuvas Intensas em Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, 2001. 93p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

SEPLAN/CRN – Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral, Coordenadoria de Recursos Naturais, mapas, 1990, Campo Grande – MS.

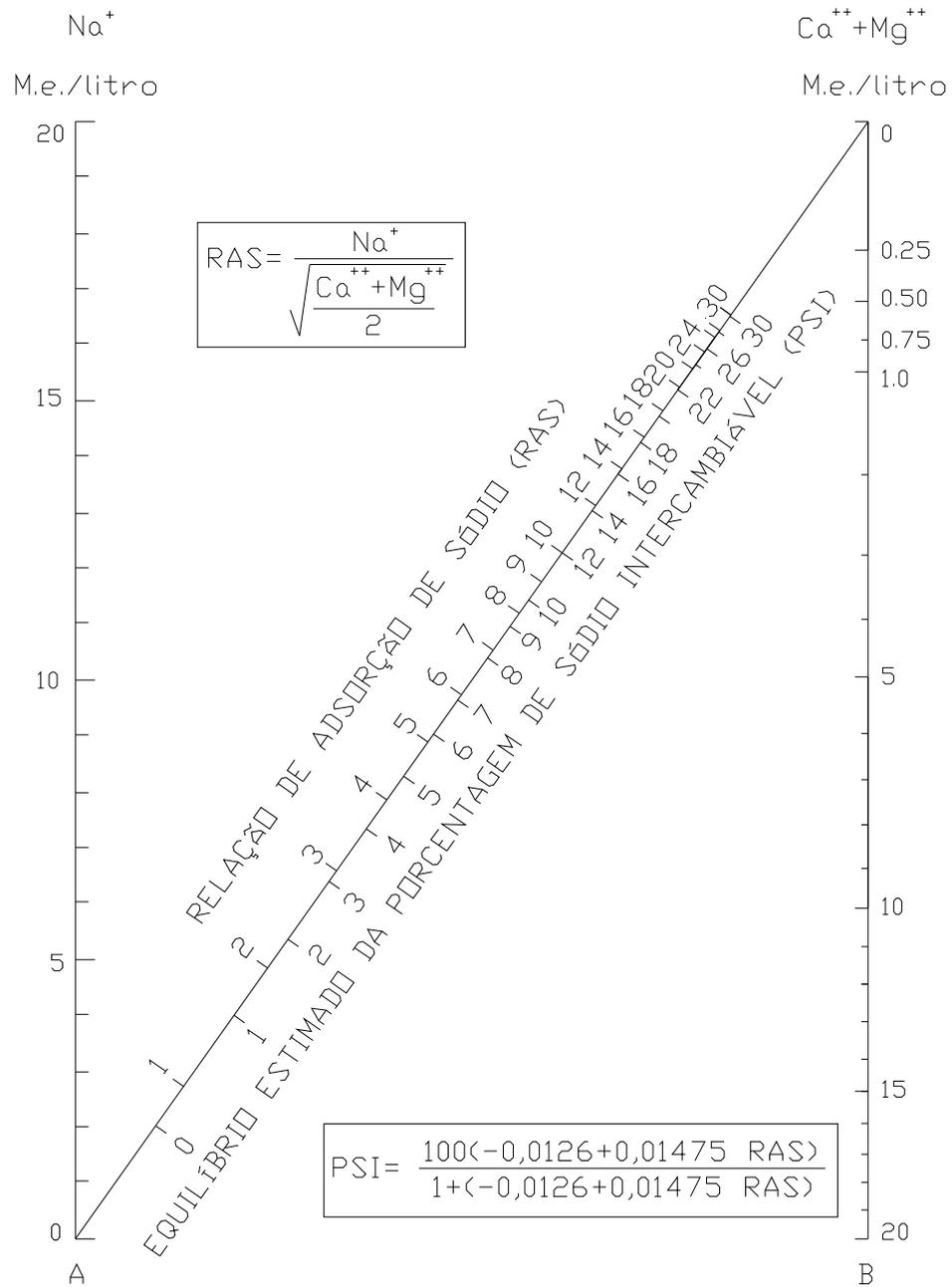
SENTELHAS, P. C. Agrometeorologia aplicada à irrigação. In: MIRANDA, J.H.; PIRES, R.C. de M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. p.63-120.

URCHEI, M. A. A importância da classificação das terras para fins de irrigação. Dourados: EMBRAPA/CPAO, 1997. 2p.

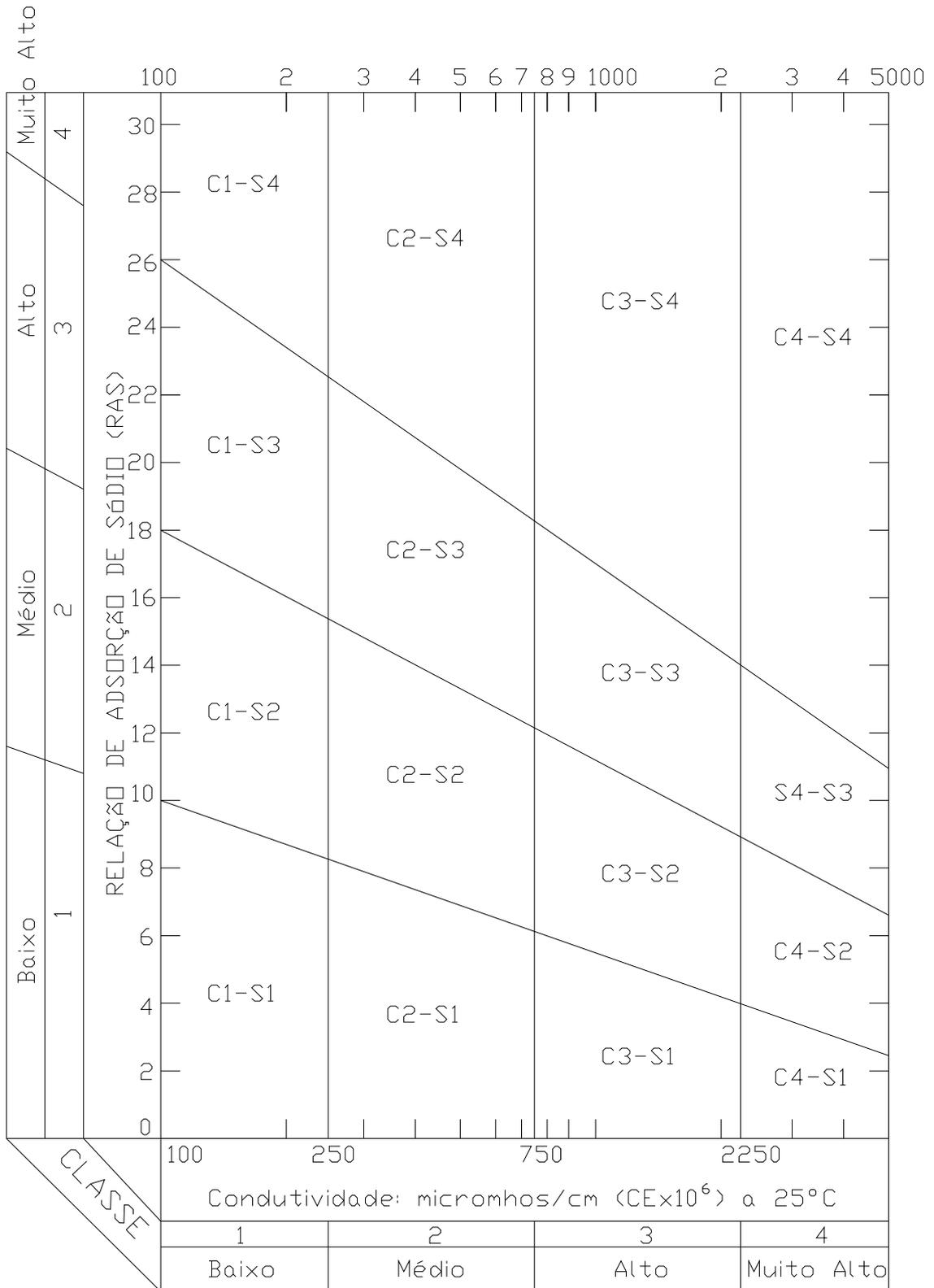
ZAVATINI, J. A. Dinâmica climática no Mato Grosso do Sul. Rio Claro: UNESP, UNESPE/DCAIG, 1992. v. 17, p. 65-91.

8. APÊNDICES

APÊNDICE A - Nomograma para a determinação de RAS da água de irrigação
Nomograma para a determinação de RAS da água de irrigação e
para estimar o valor correspondente para a PSI do solo que está em
equilíbrio com a água



APÊNDICE B - Diagrama para a classificação da água de irrigação, segundo o "U. S. Salinity Laboratory"



APÊNDICE C – Gráfico e Nomograma para determinação do pH de saturação (Fórmula de Langelier)

