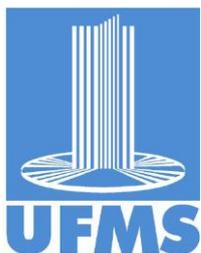


Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

Guilherme Henrique Cavazzana

**ANÁLISE DA CORROSIVIDADE E INCRUSTAÇÃO DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO URBANA DE
CAMPO GRANDE – MS**

Campo Grande - MS
2011



Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Centro de Ciências Exatas e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais

Guilherme Henrique Cavazzana

**ANÁLISE DA CORROSIVIDADE E INCRUSTAÇÃO DAS
ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA REGIÃO URBANA DE
CAMPO GRANDE – 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 Lastoria

Aprovada em:

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Giancarlo Lastoria
Orientador - UFMS

Prof.^a Dr.^a Sandra Garcia Gabas
UFMS

Prof.^a Dr.^a Nilva Ré Poppi
UFMS

Campo Grande - MS
2011

DEDICATÓRIA

*A minha avó Maria (in memoriam),
Que não pode acompanhar a minha trajetória.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao Prof. Dr. Giancarlo Lastoria pelos 8 anos de orientações, experiências e conhecimentos dedicados à mim, mas principalmente pelas horas de conversa, conforto e amizade.

À empresa Águas Guariroba S/A pelo fornecimento de apoio técnica para a realização das atividades necessárias para o fiel cumprimento desse trabalho, em especial ao Clayton Bezerra e a todos os colaboradores do Laboratório e do Operacional.

A minha família, em especial aos meus pais Carlos e Mércia pelo amor, educação, dedicação, compreensão, força, auxílio e até pelos “puxões de orelha”.

A minha namorada Juliana por suportar as irritações, mas principalmente pelo amor e companheirismo sempre dedicadas a mim.

A Exata Ambiental por me proporcionar conhecimentos, experiências, vivências, *brainstorms* e tempo dedicados a este trabalho, em especial aos Engenheiros Ambientais Rodrigo Cardoso Cirico e Renato Souza Lima Sant`Anna.

Aos meus amigos pelas palavras de apoio e incentivos, em especial ao Ariel Ortiz Gomes pelo entusiasmo.

A todos os funcionários do PGTA, em especial à Prof.^a Dr.^a Sandra Gabas pelas orientações, sugestões, apoio e dedicação com meus trabalhos.

A Capes pelo apoio financeiro.

E a Deus por me abençoar sempre!

EPÍGRAFE

O que for pra ser, vigora.
Maria Gadú

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
AGRADECIMENTOS	iii
EPIGRAFE.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMO	xi
ABSTRATIC	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO	3
3 ÁREA DE ESTUDO	4
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4.1 Águas Subterrâneas.....	6
4.2 Índices de Incrustação e Agressividade das Águas Subterrâneas.....	7
4.2.1 Índice de Saturação de Langelier.....	9
4.2.2 Índice de Estabilidade de Ryznar	9
4.3 Geologia.....	10
4.4 Hidrogeologia	15
4.5 Hidrogeoquímica	17
4.5.1 Dissolução de gases e sistema ácido carbônico.....	21
4.5.2 Dissolução e precipitação	22
4.5.3 Intemperismo químicos e dissolução dos sais	23
4.5.4 Complexação	24
4.5.5 Reações de oxi-redução	25
4.5.6 Biotransformação e ação antrópica.....	25

5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
5.1	Atividades preliminares	28
5.2	Atividades de campo e coleta das amostras.....	28
5.3	Análises laboratoriais.....	33
5.4	Interpretação dos dados e elaboração dos resultados.....	33
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
6.1	Hidrogeologia do SASG em Campo Grande/MS	36
6.2	Hidrogeoquímica do SASG em Campo Grande/MS	36
6.3	Potencial de Corrosão e Incrustação do SASG em Campo Grande/MS.....	41
6.4	Teste de Verificação do Mineral.....	43
7	CONCLUSÕES	45
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	ANEXOS.....	51
	ANEXO I: DADOS HIDROGEOQUÍMICOS DOS POÇOS ANALISADOS	52
	ANEXO II: POÇOS NÃO COMTEMPLADOS NOS ESTUDOS DEVIDO AO NA SUPERIOR A 40 METROS, NÃO TENDO CONTRIBUIÇÃO DO SASG.	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Mapa de localização da região urbana de Campo Grande-MS, com a delimitação das suas macro-regiões.	4
Figura 4.1: Modelo da expansão dos derrames basálticos proposto por Bagolini (1971) apud Lastoria (2002).	12
Figura 4.2: Exemplo de basalto vesículo-amigdaloidal em pedreira de Campo Grande/MS (Lastoria, 2002).	13
Figura 4.3: Perfil litológico de um poço típico de basalto.....	14
Figura 4.4: Zonas aquíferas com poço produtor (A) e poço seco (B) (Gonçales e Giampá , 2006).....	16
Figura 4.5: Potenciometria e direção do fluxo no SASG, no estado de Mato Grosso do Sul (Lastoria, 2002).	18
Figura 4.6: Porcentagem de bicarbonato do total de carbonato dissolvido em função do pH (Appelo e Postma, 2009).	21
Figura 5.1: Sistema de verificação da situação operacional dos poços subterrâneos operados pela Águas guarairoba S/A.....	29
Figura 5.2: Bomba submersa com mineral de coloração avermelhada precipitada em sua superfície devido a inatividade do poço.	29
Figura 5.3: Detalhe da coleta da amostra logo após a boca do poço.	30
Figura 5.4: Equipamentos utilizados em campo: pHmetro, GPS Garmin e Termomêtro, além do frasco de polietileno.....	31
Figura 5.5: Detalhe da tubulação com mineral depositado em sua superfície, característica particular do poço CGR-213, localizado no bairro Novos Estados.....	32
Figura 5.6: Dois dos principais sistema de bombeamento da água subterrânea empregados pela concessionária. Em a) é apresentada uma bomba submersa, a qual estava em manutenção e em b) o sistema de eixo vertical.....	32

Figura 6.1: Localização espacial dos poços analisados, os quais têm contribuídos do SASG, totalizando 84 poços, desses 78 sob concessão da empresa Águas Guariroba S/A e 6 particulares.....	35
Figura 6.2: Mapa de correlação entre a potenciometria e a direção do fluxo das águas subterrâneas, com a hidrografia da região urbana de Campo Grande/MS.	37
Figura 6.3: Distribuição do pH no SASG na região urbana de Campo Grande/MS.	38
Figura 6.4: Variação da temperatura da água subterrânea do SASG na região urbana de Campo Grande/MS.	39
Figura 6.5: Variação da concentração de STD na região urbana de Campo Grande/MS.	39
Figura 6.6: Distribuição espacial do teor de cálcio na região urbana de Campo Grande/MS..	40
Figura 6.7: Distribuição espacial da alcalinidade na região urbana de Campo Grande/MS. ...	40
Figura 6.8: Distribuição espacial do potencial de corrosão e incrustação, segundo o Índice de Saturação de Langelier, para as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, na região urbana de Campo Grande/MS.	42
Figura 6.9: Distribuição espacial do potencial de corrosão e incrustação, segundo o Índice de Estabilidade de Ryznar, para as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, na região urbana de Campo Grande/MS.	43
Figura 6.11: Teste para verificar se o mineral em a) trata-se de um carbonato, o qual não houve liberação de dióxido de carbono como em b), rocha com carbonato de cálcio.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1: Interpretação dos valores obtidos pela aplicação do LSI, adaptado de Grades (2004).	10
Tabela 4.2: interpretação dos valores obtidos pela aplicação do RSI, adaptado de Grades (2004).	10
Tabela 6.1: Valores médios, por comportamento, dos resultados físico-químicos.	43

LISTA DE ABREVIATURAS

CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
EEAB1	Estação Elevatória de Água Bruta 1
ETA	Estação de Tratamento de Água
IAP	Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público
IGQA	Índice Geral de Qualidade das Águas
IQA	Índice de Qualidade da Água
IQUAS	Índice de Qualidade de Águas Subterrâneas
ISA	Instituto Socioambiental
ISTO	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas
Kps	Produto de Solubilidade
LSI	Langelier Saturation Index
MS	Mato Grosso do Sul
NA	Nível d'Água
ND	Nível Dinâmico
NE	Nível Estático
pH	Potencial Hidrogeniônico
RSI	Ryznar Stability Index
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANESUL	Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul S.A.
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SISGRAN	Sistema Municipal de Indicadores Georreferenciados
SISLA	Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental
UPG	Unidade de Planejamento e Gerenciamento

RESUMO

CAVAZZANA, G.H. (2011). *Análise da Corrosividade e Incrustação das Águas Subterrâneas na Região Urbana de Campo Grande – MS. Campo Grande, 2011. 68p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

Em Campo Grande, capital do Estado de Mato Grosso do Sul, 40% do sistema de abastecimento de água é suprido pelo manancial subterrâneo, com maior participação do Sistema Aquífero Serra Geral, em relação aos Sistemas Aquíferos Bauru e Guarani. A falta de conhecimentos detalhados da hidrogeologia, incluindo a caracterização hidroquímica, vem causando perda de poços devido ao rompimento da tubulação e a diminuição de sua vazão. Este trabalho visou determinar o potencial de incrustação ou corrosão da água subterrânea, bem como a distribuição espacial destes parâmetros nos basaltos da Formação Serra Geral, na região urbana da cidade, aplicando-se os Índices de Saturação de Langelier e de Estabilidade de Ryznar, os quais correlacionam o pH, o pHe, a temperatura, a alcalinidade, a concentração de cálcio e os sólidos totais dissolvidos. Constatou-se que as águas subterrâneas exploradas neste aquífero têm comportamento corrosivo, sendo 64% classificadas como corrosão leve, pelo índice LSI, e sentido predominante NE-SW de diminuição da agressividade, seguindo o incremento dos valores de pH e a direção do fluxo. A distribuição espacial desta variável pode auxiliar no gerenciamento do sistema, principalmente nas especificações e manutenção dos equipamentos de captação empregados nos poços tubulares.

Palavras-Chave: Corrosão, incrustação, Sistema Aquífero Serra Geral em Campo Grande-MS.

ABSTRACT

CAVAZZANA, G.H. (2011). *Analysis of Corrosivity and Incrustation of Groundwater in the Downtown of Campo Grande - MS. Campo Grande, 2011. 68p. Master Dissertation –Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil (in Portuguese).*

The capital of Mato Grosso do Sul State, Campo Grande, has 40% of its water supply system from groundwater, mainly from Aquifer system Serra Geral, but also from Aquifer System Guarani and Aquifer System Bauru. The lack of detailed knowledge of the hydrogeology, including hydrochemistry characterization, has caused loss of wells because of the eruption of the pipe and the decrease of its flow. This study aimed at determining the potential fouling or corrosion of underground water, as well as the spatial distribution of these parameters in the basalts of Serra Geral Formation in the urban area, applying the Langelier Saturation Index and Stability Ryznar Index, the which correlate pH, pHe, temperature, alkalinity, calcium concentration and total dissolved solids. It was found that the groundwater has corrosive behavior, 64% classified as being lightweight, for the LSI index, and corrosion predominant direction is NE-SW of reduced aggression, following the increase of pH values and flow's direction. The spatial distribution of this variable can help the management of the system, especially in the specification and maintenance of equipment used in wells.

Keywords: Corrosion, Incrustation, Aquifer System Serra Geral in Campo Grande-MS.

1 INTRODUÇÃO

É fato que a disponibilidade de recursos hídricos potáveis no planeta é alarmante, frente à escassez e a má distribuição dos recursos hídricos, os quais são limitados e finitos. Afinal, apesar de 71% da superfície da Terra estar coberta por água, apenas 0,3% dela está disponível para o consumo, sendo que 98,8% dessas são águas subterrâneas (Mota, 2003).

Além disso, os corpos hídricos superficiais, que correspondem à porção mais acessível a ser explorada, vêm sofrendo constantes degradações devido às atividades antrópicas que lançam poluentes em seus cursos tornando-os impróprios para o consumo humano bem como inviabilizando o seu tratamento. Além disso, a impermeabilização do solo, o aumento do consumo, as alterações do clima e a falta de conscientização da população, vêm agravando o estágio de degradação desse recurso natural, fundamental para a manutenção da vida.

Segundo a ONU, citada por ISA (2007) 70% da população mundial (cerca de 1,5 bilhão de pessoas) não dispõem de água potável para o consumo, 25 mil pessoas morrem por problemas ligados à poluição das águas e 2 bilhões não possuem sistemas de esgotamento sanitário adequado.

A discrepância dessa triste realidade mundial está num fato não menos revoltante: o desperdício. Uma das formas de desperdício são as perdas de água que ocorrem no abastecimento onde, nas capitais brasileiras (onde vive $\frac{1}{4}$ da população), é de 45%, algo em torno de 6,14 bilhões de litros de água por dia, o que daria para abastecer 56 milhões de habitantes com consumo de 110 litros por dia, recomendado pela ONU (ISA, 2007).

Uma alternativa para atender o consumo humano provém das águas subterrâneas que são relativamente menos susceptíveis aos poluentes antrópicos e possuem melhor qualidade, devido ser, na grande maioria, originárias de águas de chuvas, que se infiltram nos solos e rochas, até atingirem um aquífero poroso ou fissural e ficarem disponíveis para serem exploradas.

Tal alternativa vem sendo amplamente utilizada no Brasil desde a década de 60, quando os estudos com este enfoque prosperaram, inicialmente na região nordeste e os recursos hídricos que se encontram abaixo da superfície passaram a ser pesquisados nas rochas que possuem capacidade de armazenar água subterrânea, denominadas de aquíferos (Barbanti, 2002).

No município de Campo Grande-MS, as águas subterrâneas são utilizadas como complemento para o sistema de abastecimento, principalmente pela baixa densidade de corpos hídricos superficiais com vazão suficiente para atender as demandas; sendo que o principal manancial de abastecimento é o Córrego Guariroba, está distante cerca de 30 km do centro consumidor, o que impõe custos elevados de energia para o seu recalque até a estação de tratamento e distribuição.

Segundo o Plano Estadual dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (SEMAC, 2010), os habitantes da cidade de Campo Grande-MS consomem diariamente 212.177m³/dia de água proveniente da Unidade de Planejamento e Gerenciado – UPG, Rio Pardo. Deste, 60% de seu abastecimento de água provém de mananciais de águas superficiais das captações dos Córregos Guariroba, Lajeado e Desbarrancado, e os outros 40% são águas subterrâneas dos Sistemas Aquíferos Serra Geral, Guarani e Bauru.

Para que se explorem as águas subterrâneas se faz necessário investimentos em estudos, locação e construção de poços tubulares além dos equipamentos de bombeamento da água. Entretanto, via de regra, esta água assim produzida não requer tratamento, empregando-se apenas cloração para garantir sua qualidade bacteriológica até o consumidor final.

Entretanto o maior problema enfrentado para a captação de águas subterrâneas advém da falta de conhecimentos básicos sobre as suas formas de ocorrência e circulação, os aspectos hidrogeológicos e legais e a falta de controle e fiscalização das condições de uso e proteção do manancial subterrâneo (Gonçales e Giampá, 2006).

Muitas vezes não é considerada a capacidade de corrosão e incrustação da água explorada. Assim, o investimento pode ser perdido devido ao rompimento da tubulação e a inutilização do poço, como também a diminuição de sua vazão devido às incrustações; necessitando de manutenções com maior frequência para reparo e substituição de equipamentos.

Um dos fatores responsáveis por inutilizar poços consiste no rompimento de tubulação da coluna de bombeamento, devido ao ataque químico e corrosões do material, provocando a queda da bomba, não permitindo que o material rompido seja retirado para que se possa inserir novo equipamento de bombeamento. Já as incrustações (obstrução parcial ou total da seção por deposição de material sólido no filtro da coluna de revestimento do poço e na própria unidade de bombeamento), ocorrem devido à sedimentação de materiais na superfície interna das tubulações, inclusive naquelas da rede de distribuição. Estas duas situações podem se manifestar devido ao desconhecimento das características da água que está sendo captada, bem como do aquífero que está sendo explorado (Morais, 2000).

2 OBJETIVO

Este trabalho objetivou caracterizar a hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral – SASG, visando definir o seu potencial de incrustação ou corrosão, bem como a sua distribuição espacial das variáveis nas águas subterrâneas explotadas nesse aquífero pela Empresa Águas Guariroba S/A, na região urbana de Campo Grande – MS.

3 ÁREA DE ESTUDO

Este projeto estendeu sua área de pesquisa à região urbana de Campo Grande-MS, capital do Estado de Mato Grosso do Sul (Figura 3.1), a qual foi georreferenciada empregando-se as rotinas de sensoriamento remoto adaptadas por Cavazzana *et al.* (2005).

Localização da Área de Estudo



FIGURA 3.1: Mapa de localização da região urbana de Campo Grande-MS, com a delimitação das suas macro-regiões.

Campo Grande está situado na região Centro-Oeste do Brasil, no centro do Estado de Mato Grosso do Sul. O município possui área total de 8.096 km², desses 353 km² correspondem à região urbana municipal, delimitada segundo a Lei Complementar N° 74/2005 (Campo Grande, 2005).

A população do município é de mais de 787 mil habitantes, segundo o último Censo Populacional realizado pelo IBGE no ano de 2010. A área urbana é dividida em 7 macro-regiões, segundo o SISGRAN (Campo Grande, 2010): Centro (20,0 km²), Segredo (45,0 km²), Prosa (55,7 km²), Bandeira (62,4 km²), Anhanduizinho (61,9 km²), Lagoa (50,6 km²) e Imbirussu (57,4 km²).

Segundo o Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul (Mato Grosso do Sul, 1990), Campo Grande está sob a ação do clima tropical de altitude, de duas estações distintas: quente e úmida no verão e seco e frio no inverno. A partir do SISLA (Mato Grosso do Sul, 2008), verifica-se que o município está localizado na Bacia Hidrográfica do rio Paraná, sub-bacia do rio Pardo, tendo os rios Anhanduí e Anhanduizinho e os córregos Prosa, Segredo, Sóter, Botas, Buriti, Lagoa, Imbirussu, Ceroula, Serradinho, Cabaça, Bandeira, Bálsamo, Desbarrancado, Lageado, Guariroba, ente outros, como formadores da malha hidrográfica do município.

Os principais solos são o latossolo vermelho escuro, o latossolo roxo, as areias quartzosase e os solos litólicos. Sua topografia é plana a suavemente ondulada, com predominância de afloramento dos basaltos da Formação Serra Geral, assentada sobre a Formação Botucatu-Pirambóia, as quais formam dois dos mais importantes sistemas aquíferos nacionais: Serra Geral e Guarani, respectivamente. Em menor proporção, afloram nas partes norte e leste da capital os sedimentos da Formação Caiuá (Silva e Jost, 2006).

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas são as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no subsolo, ratificada pela Resolução CONAMA N° 396, de 3 de abril de 2008, que também definiu que corpos hidrogeológicos com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos são denominados de aquíferos.

Tal recurso natural, que preenche os interstícios dos corpos hidrogeológicos, tem importância econômica e social plenamente conhecidos, sendo um capital ecológico de inestimável valor, por fornecer água em qualidade e quantidade ao desenvolvimento da população, seja ela nas áreas urbanas ou rurais, como apresentados pelos pesquisadores Rebouças (2004), Dias (2004), Medeiros (2003), Barbanti (2002), Rebouças et al. (2002), Costa (1994) e Rebouças (1980).

Outras vantagens da exploração de mananciais de águas subterrâneas são levantadas por Gonçalves e Giampá (2006):

- Por ser naturalmente filtrada e depurada por mecanismos físico-bio-geoquímicos que ocorrem no solo e subsolo, não necessitam de tratamentos complexos para serem disponíveis ao consumo humano;
- Estão relativamente melhor protegidas dos agentes de contaminação, como infiltração de esgotos, chorume, combustíveis, agrotóxicos, dentre outros;
- Capitação próxima à demanda, sem custos com obras de tratamento e adução;
- Com os avanços tecnológicos em estudos, construção e desenvolvimentos dos poços, reduziram-se os riscos dos investimentos e os prazos de execução das obras;
- Investimento inicial menor com possibilidade de escalonar a exploração conforme a demanda do consumo.

Mas há desvantagens na extração desse recurso natural, dentre eles (Barros, 2008):

- São de difícil acesso e de avaliação complexa;

- Poços abandonados ou mal construídos podem ser vias de contaminação direta do aquífero, sendo necessários processos onerosos e demorados para sua recuperação;
- Em caso de eventos críticos como a exploração de um grande volume de água bombeada pode causar acomodações, sismos ou até afundamentos do terreno e também alterar a qualidade da água;
- Devido à construção de poços sem acompanhamento técnico especializado e sem a elaboração dos estudos necessários, o poço poderá apresentar limitações e problemas, dentre eles a incrustação nas tubulações e o ataque químicos dos equipamentos, o que traz limitações de uso e aumento de custo.

As causas mais importantes de perda de eficiência de um poço tecnicamente bem construído são provenientes da incrustação e da corrosão. Seus efeitos acarretam a diminuição da vazão específica, admissão de águas de outros níveis aquíferos indesejáveis e, em caso extremo, a obstrução do próprio poço, por isso, o sistema de sucção e recalque usado na captação da água subterrânea através de poços precisa de alguns cuidados de manutenção para que a sua vida útil seja maior possível e seu rendimento maximizado (Morais, 2000).

4.2 Índices de Incrustação e Agressividade das Águas Subterrâneas

A qualidade das águas é avaliada analisando-se as características físicas, químicas e microbiológicas, bem como a partir da aplicação de índices e indicadores de qualidade. No Brasil, a Cetesb (2008) elabora alguns dos índices mais utilizados no país, dentre eles: o IQA (Índice de Qualidade das Águas), o ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), IAP (Índice de Qualidade das Águas Brutas para Fins de Abastecimento Público), entre outros. Há também o proposto pela Sabesp, desde 2000, denominado de IGQA: Índice Geral da Qualidade das Águas (Facincani, 2001).

Mais específico para as águas subterrâneas, Almeida (2007) propõe o IQUAS (Índice de Qualidade de Águas Subterrâneas), onde são correlacionados os parâmetros físico-químicos e biológicos: Coliformes Termotolerantes, Ferro, Manganês, Cloreto, Dureza, Fluoreto, pH, Sulfatos, Turbidez, Nitrato, Amônia, Mercúrio Total e Benzeno.

Devido as suas características hidrogeológicas de percolação por meios filtrantes e fissurados e a capacidade de carrear substâncias desses meios, são aplicados às águas subterrâneas índices de avaliação da sua capacidade agressiva ou incrustante, dentre eles: o Índice de Saturação de Langelier (LSI, do Inglês *Langelier Saturation Index*) e Índice de

Estabilidade de Ryznar (RSI, do Inglês *Ryznar Stability Index*), conceitos esses citados por Granjeiro, 2009; Baillet, 2008; Gonçalves e Giampá, 2006; Carneiro, 2005; Grades, 2004; Medeiros, 2003, McNeill, 2000, Morais, 2000.

O comportamento agressivo ou incrustante das águas subterrâneas é verificado através da correlação entre o pH medido e o pHe, pH de equilíbrio (Lastoria, 2002). Sua tendência corrosiva/incrustante que determina se serão previstos corrosões ou incrustações no sistema de exploração podem ser avaliada pelos índices LSI e RSI.

Apesar da aplicação do LSI e RSI em águas subterrâneas ser pouco pesquisado visto ao volume de literatura disponível que cita tais índices em suas pesquisas, devido o fato destes não indicarem a potabilidade das águas subterrâneas ao consumo humano, esse índices poderiam nortear os executores dos poços quanto ao tipo de materiais e equipamentos que deveriam ser utilizados nesses poços, a vida-útil do poço, bem como a frequência e período de manutenção, para que não venham a sofrer redução de sua vazão de exploração, no caso de águas incrustantes, nem o rompimento de tubulações e queda do conjunto de bombas, causando a perda do poço devido a inviabilidade de se retirar o equipamento. Além disso, poderia se prever tratamentos físico-químicos para a inibição de suas ações corrosivas ou incrustantes.

O Índice Saturação Langelier (LSI) e o Índice de Estabilidade de Ryznar (RSI) foram introduzidos para, respectivamente, sugerir uma escala do potencial de uma solução aquosa em sedimentar sais ou corroer equipamentos, a partir de sua composição utilizando parâmetros fáceis de serem mensurados. Enquanto o LSI é apenas um índice qualitativo, indicando se a solução é sub-saturada ou supersaturada com CaCO_3 , RSI é uma extensão prática do LSI, baseada na experiência. Ele tenta quantificar a relação entre a saturação de CaCO_3 e formação de crosta alcalina (Grades, 2004).

Segundo McNeill (2000), o Índice de Saturação de Langelier (LSI) consiste na medida da capacidade de uma solução em dissolver ou depositar carbonato de cálcio, é freqüentemente utilizado como um indicador da corrosividade da água. O índice não está relacionado diretamente com a corrosão, mas sim com a deposição de uma película ou crosta de carbonato de cálcio, isto pode isolar canos, caldeiras, e outros componentes de um sistema em contato com a água. Quando não se forma crosta, a água é considerada agressiva e a corrosão pode ocorrer. No desenvolvimento da LSI, Langelier derivou de uma equação em que o pH da água é saturado com carbonato de cálcio (pHe). Esta equação baseia-se na expressão de equilíbrio de carbonato de cálcio e de solubilidade de dissociação do bicarbonato.

4.2.1 Índice de Saturação de Langelier

O Índice de Saturação de Langelier (LSI) é um modelo de equilíbrio derivado de conceitos teóricos de saturação que indica o grau de saturação do carbonato de cálcio na água, sendo proposto por Langelier no ano de 1946 (Ferraz, 2007; Grades, 2004; McNeill, 2000).

O cálculo é feito tomando-se a diferença entre o pH da água medido e o pH (Equação 4.1) calculado quando esta mesma água apresenta-se saturada com CaCO_3 ou em equilíbrio (pHe), o qual é obtido pela relação entre os coeficientes A, B, C e D (Equação 4.2), os quais são obtidos pelas respectivas Equações 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6.

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHe} \quad 4.1$$

$$\text{pHe} = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad 4.2$$

Onde:

$$A = (\text{Log}_{10}[\text{STD}] - 1)/10 \quad 4.3$$

$$B = [-13,12 \cdot \text{Log}_{10}(T + 273)] + 34,55 \quad 4.4$$

$$C = \text{Log}_{10}[\text{Ca}^{2+}] - 0,4 \quad 4.5$$

$$D = \text{Log}_{10}[\text{Alcalinidade}] \quad 4.6$$

NOTAS: STD = Total de sólidos dissolvidos (mg/L);

Ca^{2+} = Concentração de Cálcio;

T = Temperatura em °C.

A interpretação dos resultados é conforme apresentado na Tabela 4.1.

4.2.2 Índice de Estabilidade de Ryznar

O Índice Estabilidade de Ryznar (RSI), proposto em 1944 (Ferraz, 2007; Grades, 2004; McNeill, 2000) atenta para o estado de saturação de carbonato de cálcio, representada na Equação 4.7.

TABELA 4.1: Interpretação dos valores obtidos pela aplicação do LSI, adaptado de Grades (2004).

Valor LSI	Indicação
> 4	Incrustação severa
3 a 4	Incrustação moderada
1 a 3	Incrustação suave
0,5 a 1	Incrustação muito suave
-0,5 a 0,5	Balanceado
-0,5 a -2	Corrosão suave
-2 a -5	Corrosão moderada
< -5	Corrosão severa

$$RSI = 2pHe - pH$$

4.7

A interpretação dos resultados é conforme a Tabela 4.2.

TABELA 4.2: Interpretação dos valores obtidos pela aplicação do RSI, adaptado de Grades (2004).

Valor RSI	Indicação
> 4	Incrustação severa
4 a 5	Incrustação forte
5 a 6	Incrustação leve
6 a 7	Balanceado
7 a 7,5	Corrosão moderada
7,5 a 9	Corrosão forte
> 9,0	Corrosão severa

4.3 Geologia

O município de Campo Grande/MS, que possui área urbana de 353km², está localizado sobre a Província Hidrogeológica da Bacia Sedimentar do Rio Paraná, a qual representa uma unidade geotectônica com extensão de 1,7 milhão de km², compreendendo a porção centro-sul do Brasil, além do Uruguai, Paraguai e Argentina (SEMAG, 2010).

É um pacote sedimentar formado por camadas alternadas de sedimentos arenosos e silte-argilosos, caracterizado pela presença de derrames basálticos, cuja extensão é da ordem de 800.000 km², em Mato Grosso do Sul, atinge uma área de 40.000 km² da porção centro-sul (Lastoria, 2002).

Dentre os principais aquíferos que compõe esta Província, estão: os arenitos das Formações Furnas, Aquidauna; as deposições flúvio-lacustre da Formação Pirambóia

associados aos sedimentos eólicos da Formação Botucatu; o basalto da Formação Serra Geral que é recoberto pelos sedimentos da Formação Bauru-Caiuá (Gonçales e Giampá , 2006).

Campo Grande/MS está localizado sob o afloramento da porção oeste dos derrames, ou *trapps*, basáltico da Formação Serra Geral, com extensão de 8.700 km² com espessura de 200 até 300 metros. É composto de 34 derrames com espessuras variando de 10 até 100 metros, fazendo parte do Sistema Aquífero Serra Geral – SASG (Lastoria, 2002).

O SASG é composto por uma sequência de derrames basálticos e arenitos intertrapeanos, de idade jurássica-cretácica (Cordani e Vandomos, 1967 *apud* Lastoria, 2002). Sua área de afloramento abrange a região centro-sul do Estado de Mato Grosso do Sul, em uma área de 40.000 km², onde se concentra 61% da população do Estado, abrangendo a de Campo Grande/MS, induzindo à construção de um grande número de poços tubulares, utilizados para o abastecimento público, dentre outros usos. Caracteriza-se por ser um aquífero livre, anisotrópico e com porosidade de fissuras, com espessuras variando de 100 a 300 metros em Campo Grande/MS.

As rochas que o compõe são caracterizadas como cristalinas, ígneas ou magmáticas por serem oriundas do resfriamento e cristalização do magma, que é uma solução de vários constituintes químicos, dando origem a vários minerais que formam a rocha resultante, dependendo da velocidade do resfriamento da massa líquida. Na ordem de abundância, os elementos formadores das rochas são: oxigênio, silício, alumínio, ferro, cálcio, magnésio, sódio e potássio (Dana, 1984).

O basalto é uma rocha ígnea escura, de granulação fina, sendo o feldspato seu principal constituinte de sua massa, podendo existir presença de compostos cálcicos e vítreos intersticiais e cavidades vesículo-amigdaloidais (Dana, 1984). São rochas básicas com pouco teor de sílica, e ricas em minerais contendo elementos de Ferro e Magnésio.

As estruturas que caracterizam o maciço rochoso são determinadas segundo a morfogênese dos derrames basálticos, ou seja, os processos que ocorreram durante a sua efusão e solidificação, sendo em função do volume de lava, da velocidade de resfriamento, do contato com outras rochas pré-existentes, da temperatura externa, do local de cristalização e dos materiais que são incorporados à massa de lava.

Segundo Silva (2007), as principais estruturas encontradas nos derrames basálticos são: contatos interderrames (fendas de grande extensão lateral); zonas de basalto vesicular e amigdaloidal, características de topo de derrame, preenchidas principalmente por calcita, quartzo e zeólitas; áreas de basalto compacto no centro do derrame com poucas fraturas verticais; e a base do derrame, raramente vesicular, com fraturas paralelas ao contato.

Ocorrem também diques e soleiras, faixas fraturadas subhorizontais e subverticais, com juntas e falhas (Silva, 2007).

Na Capital de Mato Grosso do Sul, as rochas são classificadas como extrusivas, pois os diversos derrames atingiram a superfície e, devido à diferença de temperatura, sofreram um processo de expansão e cristalização que resultou em estruturas semelhantes ao apresentado na Figura 4.1, demonstrando a interconectividade entre os derrames, propiciando a movimentação de líquidos hidrotermais (Lastoria, 2002).

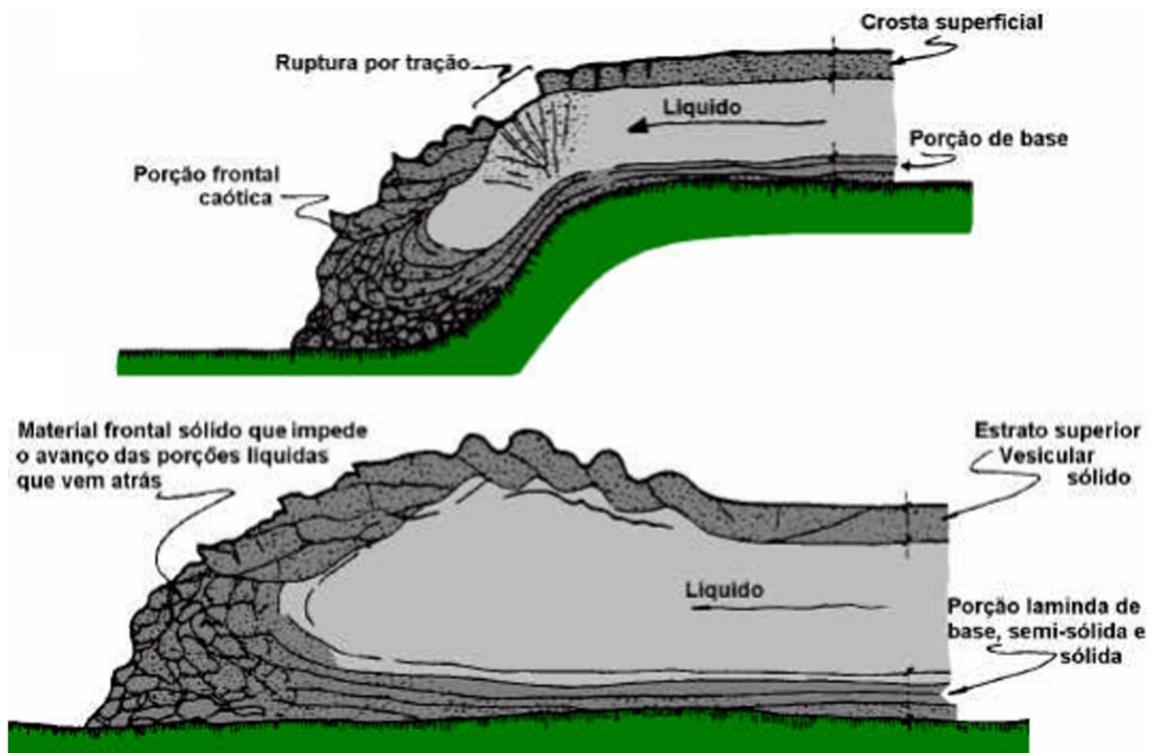


FIGURA 4.1: Modelo da expansão dos derrames basálticos proposto por Bagolini (1971) *apud* Lastoria (2002).

Devido ao processo de cristalização, os derrames basálticos possuem suas bases, topos e frentes dos derrames com muitas fraturas horizontais e com cavidades, e no interior do derrame uma menor densidade de fraturas. Por essas fraturas dos derrames, percolam-se soluções hidrotermais, principalmente pelas cavidades de topo e base, carreando substâncias químicas, encontrando as vesículas (cavidades vazias), onde pode ocorrer a sedimentação (precipitação/cristalização) das substâncias químicas de minerais nas paredes das cavidades, as quais são denominadas de amígdalas (Figura 4.2).

O perfil litológico de um poço típico de basalto é apresentado na Figura 4.3, correspondendo ao poço do Departamento de Química da Universidade Federal de Mato

Grosso do Sul. Notam-se as camadas de rocha com estrutura amigdaloidal dos 9 aos 40 metros, correspondendo ao topo do derrame.



FIGURA 4.2: Exemplo de basalto vesículo-amigdaloidal em pedreira de Campo Grande/MS (Lastoria, 2002).

Um dos minerais que ocupam as cavidades dos derrames basálticos é a Calcita, formada por CaCO_3 . Apresenta-se usualmente em cristais ou agregados de grânulos finos. Ocorre como mineral secundário nas rochas ígneas, como produto da decomposição de silicatos de cálcio, revestindo as cavidades amigdaloidais (Dana, 1984).

Outro mineral que possa estar revestindo as cavidades das rochas basálticas consiste nas Zeólitas. Corresponde a uma grande família de silicatos hidratados, de alumínio com sódio e cálcio. São minerais secundários e encontra-se em cavidades e veios de rochas ígneas básicas, formado pela ação de águas quentes circulantes, associada com calcita (Dana, 1984).

A distribuição geológica dos minerais de zeólita é restrita e está associada, preferencialmente, às rochas de origem eruptiva ou sedimentar e, raramente formam depósitos minerais economicamente exploráveis (Shinzato, 2008).

Segundo Shinzato (2008), as zeólitas ocorrem em associação aos dacitos amigdaloidais que pertencem à Formação Serra Geral da Bacia Sedimentar do Paraná, em Timburi/SP. Os dacitos são as rochas eruptivas setentrionais da Bacia do Paraná e constituem, localmente, a base do derrame vulcânico, em contato direto com sedimentos da Formação Botucatu, atingindo, em direção aos contatos superior e inferior, caráter vítreo, sendo rico em vesículas, as quais são preenchidas apenas parcialmente por zeólitas, calcita e variedades de

sílica microcristalina, e ultrapassam 1 cm, com possibilidade de atingir mais de 5 cm de diâmetro, variando quanto ao achatamento e preenchimento, que geralmente é de zeólitas, quartzo calcedônia ou localmente calcita.

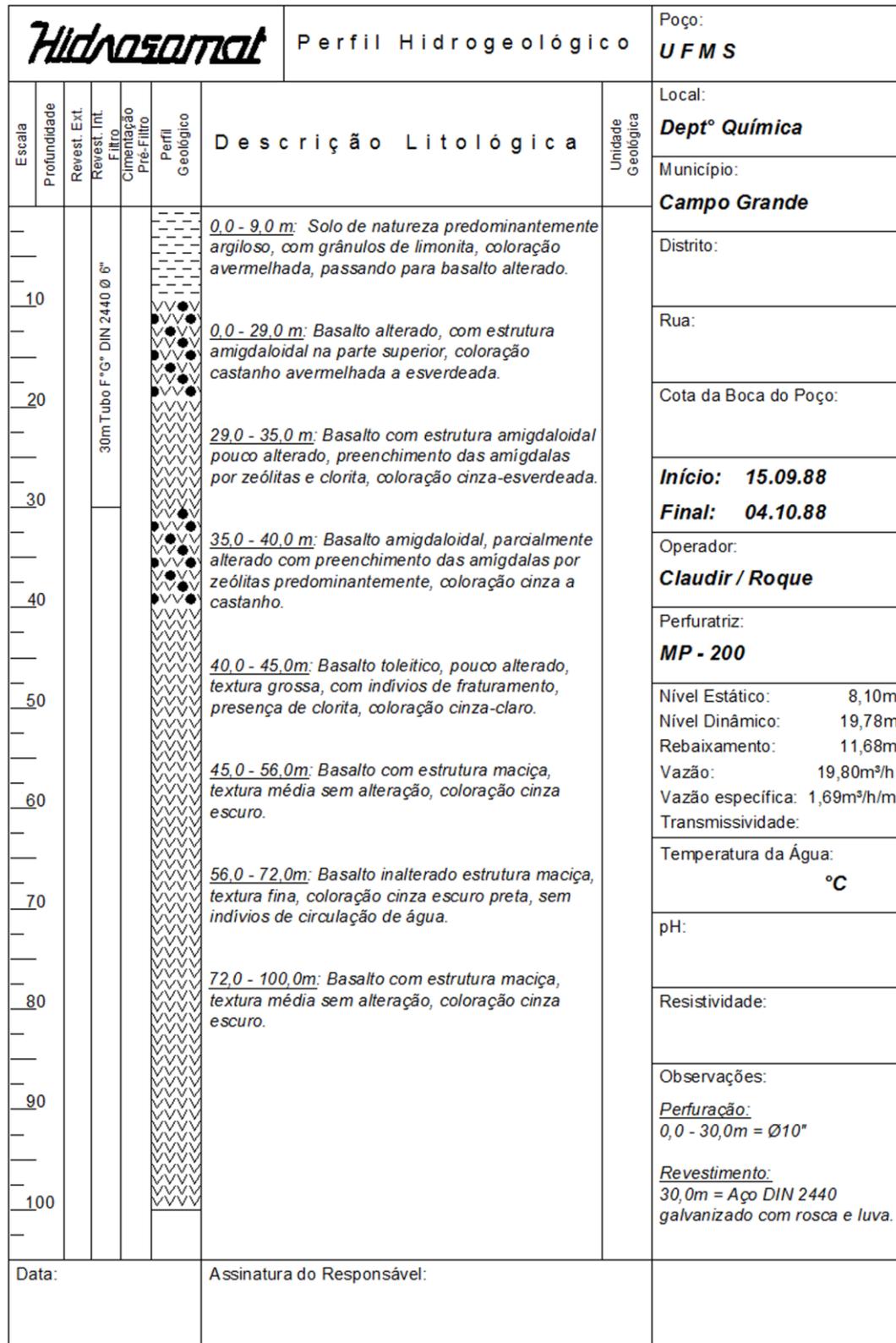


FIGURA 4.3: Perfil litológico de um poço típico de basalto.

4.4 Hidrogeologia

As condições de ocorrência das águas subterrâneas numa região são muito variadas, na medida em que dependem da interação de fatores climáticos, intemperismo e de aspectos geológicos. Tais aspectos determinam a forma de recarga, a estocagem, a circulação e a descarga. Influenciam também na qualidade das águas e determinam as obras de captação, equipamentos de perfuração e as especificações dos materiais que deveriam ser empregados para o revestimento, filtros, bombas, tubulações entre outros.

Na natureza, a água não é encontrada pura, pois mesmo ao cair como chuva, já carrega impurezas do próprio ar capazes de alterar suas qualidades e, ao atingir o solo e infiltrar no subsolo, dissolve e carrega mais substâncias, tais como: as calcárias e magnesianas, que tornam a água dura, e as ferruginosas que alteram as características organolépticas (Funasa, 2007).

Tanto que, se analisar duas amostras de água de um mesmo aquífero, porém coletadas em locais distantes um do outro, é provável que seus parâmetros não tenham resultados iguais. Isso se deve ao fluxo da água, e está associado ao tipo e espessura dos solos e rochas, da velocidade de percolação, da permeabilidade, entre outros inúmeros fatores.

Por isso, torna-se necessário o conhecimento da dinâmica das variações faciológicas de cada aquífero, sendo o poder de corrosão/incrustação uma dessas características que devem ser analisadas no momento de se escolher qual local onde será realizada a captação de água para que não ocorram problemas de avarias indesejadas no sistema.

O objetivo de se classificar as análises de água em hidrogeologia é mostrar a distribuição regional da composição das águas em um mapa. Tal mapa serve para as autoridades ambientais, gestores de recursos hídricos, aos operadores de perfuração e outros profissionais, para identificar aquíferos com água de boa qualidade e também úteis para uma primeira avaliação da relação entre a mineralogia e composição das águas subterrâneas do aquífero (Apello e Postma, 2009)

O SASG é caracterizado por apresentar porosidade/permeabilidade fissural ou secundária que é caracterizada por (Lastoria, 2002) como sendo resultados dos processos de solidificação do magma ou das pressões e temperaturas a que foram submetidos, apresentando rupturas como falhas, fraturas e fissuras. Tanto que, as obras de captação dos aquíferos, devem ser construídas em zonas de fissuras (Figura 4.4). Devido à heterogeneidade das propriedades hidrogeológicas, deve-se realizar estudos e aplicar tecnologias para a identificação do melhor ponto, através das análises do sensoriamento remoto, análise da

geologia, perfilagem geofísica e, caso houver, consultar as características dos poços perfurados na região.

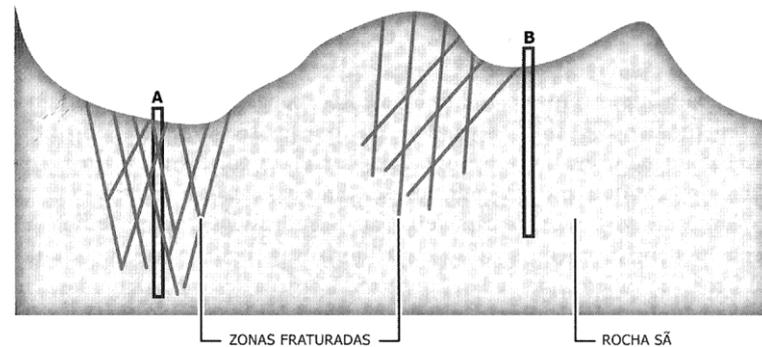


Figura 4.4: Zonas aquíferas com poço produtor (A) e poço seco (B) (Gonçales e Giampá , 2006).

A infiltração das águas nas rochas cristalinas ocorre através das fraturas, diretamente a partir das chuvas ou indiretamente por infiltração vertical na zona de contato das coberturas sedimentares com o topo do substrato cristalino. A movimentação no interior do maciço rochoso também ocorre através das fissuras e fraturas que estão interconectadas. Mas também, ocorre a movimentação de soluções hidrotermais pelas fraturas e cavidades, onde ocorrem processos de trocas e deposições de minerais, as quais podem alterar a qualidade das águas subterrâneas.

Morais (2000) destaca que o comportamento hidráulico em meio fissural é complexo e variável especialmente, devido a constituição interna das rochas. É dependente dos esforços tectônicos que condicionam a formação de fraturas, diques e intrusões que podem auxiliar ou atrapalhar a infiltração. Afinal, a recarga no meio fissural está condicionada à abertura das fraturas, ao índice de fraturamento e a intercomunicação das fraturas entre si e com os cursos d'água. Outros esforços e fatores externos consistem no intemperismo, cobertura vegetal e ações antrópicas que alteram a permeabilidade superficial da rocha.

Segundo Silva (2007), a ocorrência da água subterrânea do SASG está condicionada a fatores genéticos do pacote basáltico (intertrap, amígdalas, vesículas e disjunções) e à presença de estruturas (falhas, fraturas e diques) que condicionam a circulação das águas nestas rochas. A conjunção destes fatores aumenta a capacidade de armazenamento de água.

Lastoria (2002), em sua pesquisa, correlacionou a condutividade elétrica, que reflete a mineralização da água no decorrer do seu fluxo, a movimentação da água subterrânea, apontado pelo mapa potenciométrico e do fluxo de água subterrânea nos derrames basálticos (Figura 4.5), predominantemente em sistemas de diaclasamento horizontal do topo e base dos

derrames, em juntas horizontais de grande continuidade (Bagolini, 1971), bem como nos planos de contato entre os derrames, apresenta-se como o mais indicado, contrariamente aos modelos tradicionais de circulação de água em rochas fraturadas, que enfatizam as estruturas verticais, como principais zonas de circulação e acúmulo de água.

No município de Campo Grande/MS os poços são perfurados no Sistema Aquífero Serra Geral, em média, a 115 m de profundidade, com vazões variando de 5 a 15 m³/h. O nível estático (NE) e dinâmico (ND) médios são, respectivamente, 21,38 e 47,38 metros, e a capacidade específica de 2,07 m³/h.m. A oeste de Campo Grande, o fluxo se dá na direção da bacia do rio Paraguai, e ao sul, em direção à região central da área de afloramento da Formação Serra Geral em MS, indicando controle estrutural. O município é considerado uma das duas regiões principais de recarga do SASG, no Estado de Mato Grosso do Sul (Lastoria, 2002).

4.5 Hidrogeoquímica

A tipologia das águas do SASG foi caracterizada por Silva (2007), na região central do estado do Paraná, como sendo bicarbonatada cálcica, decorrente da ação intempérica das rochas basálticas, forte tendência alcalina, com pH variando entre 5,5 e 6,5 e mineralização total inferior a 300 mg/L.

Já Lastoria (2002) realizou uma pesquisa mais profunda das características físico-químicas das águas do SASG no Estado de Mato Grosso do Sul. Alguns dos resultados obtidos foram:

- Temperatura entre 25 a 28°C;
- pH em torno de 5,5 a 7,8;
- Baixa mineralização;
- Sílica dissolvida intimamente associada com a relação água/rocha;
- 84% das águas examinadas são agressivas, 11% estão em equilíbrio e 5% são incrustantes (incluindo poços de Campo Grande/MS); e
- Recargas se processam por águas meteóricas locais, havendo evaporação antes de atingir a zona saturada.

Custódio e Llamas (1983) enfatizaram que o cálcio está presente em muitos minerais formadores das rochas, inclusive as ígneas. Além disso, a água em contato com essas rochas faz com que haja liberação através da solubilização e, posterior, lixiviação do cálcio, o qual pode ser derivado das águas da chuva e/ou da dissolução de minerais secundários do basalto

como a calcita, ou aragonita. Estes autores citam também que as zeólitas são minerais secundários dos basaltos e presentes na água subterrâneas do SASG, tanto que podem até concorrer com a calcita no controle dos teores de cálcio.

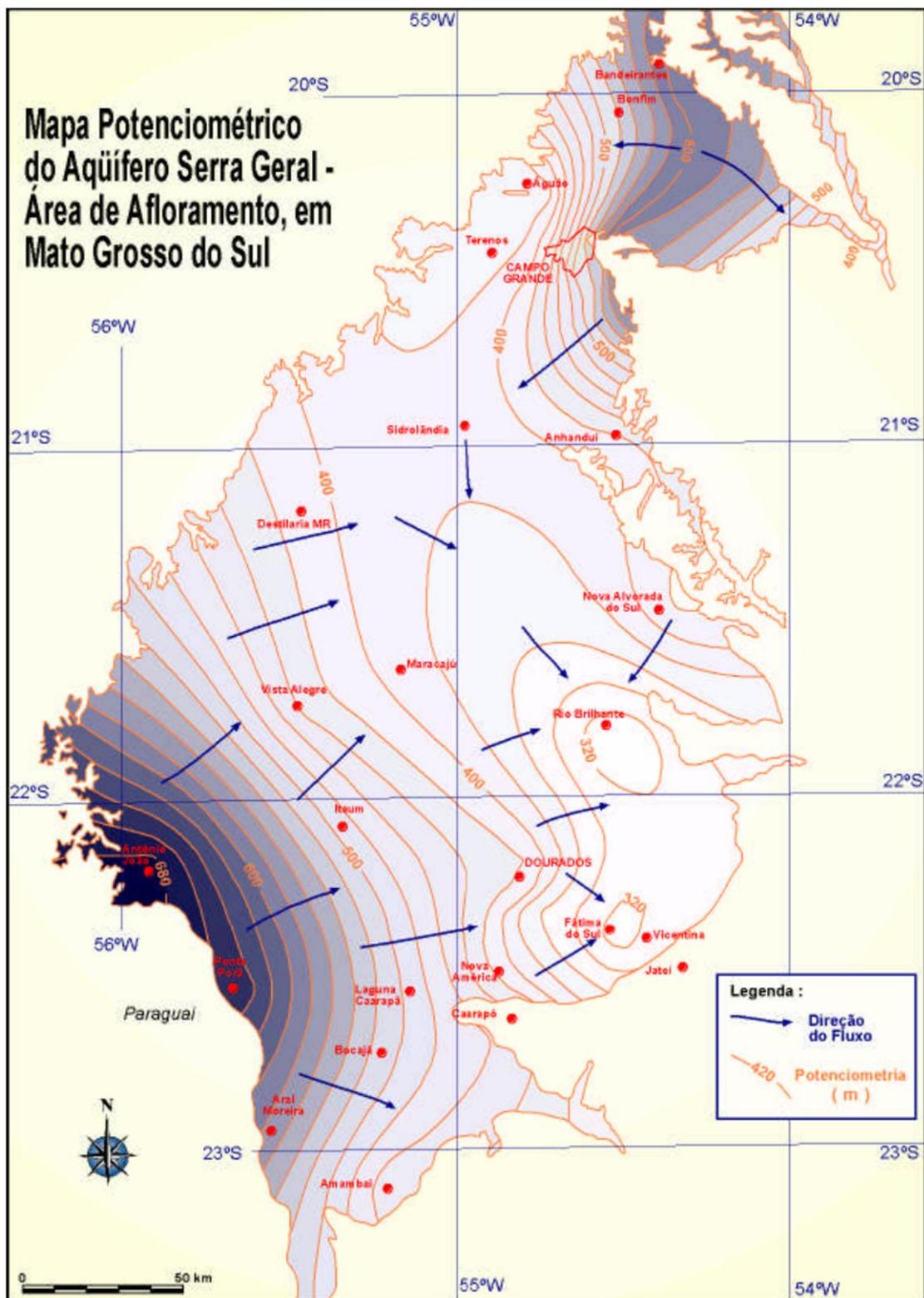


Figura 4.5: Potenciometria e direção do fluxo no SASG, no estado de Mato Grosso do Sul (Lastoria, 2002).

Shinzato (2008) verificou que a ocorrência de zeólita em Timburi/SP está associada às amígdalas das rochas basáltica da Formação Serra Geral da Bacia Sedimentar do Paraná. Também descreve que são aluminossilicatos hidratados, e que a água e outras moléculas podem-se alojar e/ou movimentar, permitindo hidratação reversível e uma troca iônica equivalente à substituição do Silício por Alumínio. A zeólita também impõe seletividade entre os íons competidores presentes na solução.

Os minerais da família das zeólitas preenchem os interiores das amígdalas das rochas basálticas e são relacionados à presença dos minerais como a calcita, bem como estão dissolvidas nas amostras de águas subterrânea coletadas do SASG por Lastoria (2002). Além disso, Dana (1984) afirma que, a água, quando aquecida, desprende-se fácil e continuamente, deixando a estrutura da zeólita intacta, podendo ser novamente preenchida por outras moléculas, afinal a água pode passar facilmente através dos canais, onde ocorrem trocas de base, ou seja, os íons em solução (Cálcio) podem ser trocados por íons na estrutura do mineral (Sódio), nesse caso, ocorre a “água mole” por conter sódio e não formar espuma.

Porém, Custódio e Llamas (1983) mostram que o intemperismo dos silicatos (minerais da Família das Zeólitas) ocorre pelo ataque químico da estrutura dos minerais, em função do tempo, temperatura, quantidade de CO₂ e a presença de ácidos orgânicos e inorgânicos e, em seguida ocorre a hidrólise. Tais reações de dissoluções de sais podem formar novos minerais, liberar íons para a solução e alterar a composição das águas subterrâneas.

Alguns minerais reagem rapidamente em contato com a água. Este é particularmente o caso do mineral mais solúvel: a gipsita, tal que o equilíbrio é atingido dentro de um prazo curto em comparação com o tempo de residência da água subterrânea, afinal a solubilidade de um mineral restringe a concentração máxima de seus componentes em água. Outros minerais, geralmente silicatos, reagem tão lentamente que o equilíbrio nunca é alcançado em temperaturas baixas e, portanto, a cinética de reação deve ser considerada. Além disso, os minerais presentes nos aquíferos muitas vezes não são fases puras, mas misturas ou soluções sólidas de diferentes minerais (Appelo e Postma, 2009)

Uma solução contendo sais dissolvidos, ao sofrer alterações em algum dos fatores físico-químicos, principalmente do pH e da temperatura, que altere o seu produto de solubilidade (K_{ps}), pode romper seu ponto de equilíbrio e ocorrer as suas precipitações (Russel, 1994). Na água subterrânea ocorre o mesmo fenômeno químico, a exemplo da Calcita (CaCO₃) que está dissolvida na solução e, ao ser explotada do aquífero e distribuída, tem suas características alteradas (principalmente a temperatura), ocorrendo a precipitação da

Calcita nos equipamentos de distribuição de água, conseqüentemente, causando a diminuição da produtividade do poço.

A diminuição do pH das águas subterrâneas está intimamente ligada à dissolução do CO_2 , a qual tem como produto o ácido carbonico (H_2CO_3) que é facilmente ionizável liberando H^+ no meio. Outra reação ácido-base que provoca a alteração do pH, consiste na dissolução de minerais compostos de carbonatos que ocasiona o aumento do pH, fato comum em águas subterrâneas (Custódio e Llamas, 1983).

Outros problemas de qualidade das águas por corrosão ou incrustação podem ser ocasionados por influencia das condições de bombeamento da água que altera o estado natural de equilíbrio físico-químico, contaminações produzidas durante a operação e manutenção do poço, incremento acentuado de recarga no aquífero e expansão do cone de rebaixamento atingindo zonas com águas de composição físico-químicas diferentes.

Este último fator foi confirmado pela Tahal/Sanesul (1998) que observou a variação da vazão específica de alguns poços desde a sua construção, sendo que, a queda, pode estar relacionada com o tempo de bombeamento acima do projetado, bem como com o aumento da quantidade de poços perfurados.

Também, não menos importante, é a ação humana na alteração do pH das águas subterrâneas. Appelo e Postma (2009) frisaram que as águas subterrâneas ácidas vêm sendo encontradas em um número crescente de lugares industrializados em todo o mundo, devido às chuvas ácidas.

Naturalmente, a acidificação ocorre devido à respiração das raízes das plantas, a decomposição de matéria orgânica, por ação das bactérias, e oxidação da pirita (FeS_2), porém o excessivo uso de amônia e estrume como fertilizantes, associadas à chuva ácida, está potencializando essa característica, principalmente, nas águas subterrâneas jovens (Appelo e Postma, 2009).

Portanto, em estudos de hidrogeoquímica é importante o conhecimento dos vários processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem na água controlam sua composição química e definem sua qualidade, sendo que a forma e a concentração de um mineral são influenciadas pela dissolução de gases e reações químicas, dentre elas: reações ácido-base, dissolução e precipitação de sólidos, complexação com ligantes orgânicos e inorgânicos, oxidação e redução e reações de biotransformação devido os ciclos do carbono, nitrogênio, enxofre e ferro, potencializada pela ação antrópica.

4.5.1 Dissolução de gases e sistema ácido carbônico

As reações de equilíbrio do dióxido de carbono dissolvido são representadas pelas equações abaixo:



Quando o dióxido de carbono se dissolve na água (Equação 4.8), torna-se solução aquosa e algumas delas se associam às molécula de água para formar ácido carbônico (Equação 4.9), que se dissocia liberando gradualmente dois prótons (Equações 4.10 e 4.11), sendo dependente, conseqüentemente, do pH da solução.

Appelo e Postma (2009) afirmam que em pH 6,3, as atividades do bicarbonato e do ácido carbônico são iguais. Com $\text{pH} > 6,3$, o bicarbonato é a espécie predominante e em $\text{pH} < 6,3$ há mais ácido carbônico. Para a relação entre o carbonato/bicarbonato, as duas espécies têm atividade igual em $\text{pH} = 10,3$. Em $\text{pH} > 10,3$, o carbonato torna-se a espécie predominante, enquanto bicarbonato é mais abundante em $\text{pH} < 10,3$ (Figura 4.6).

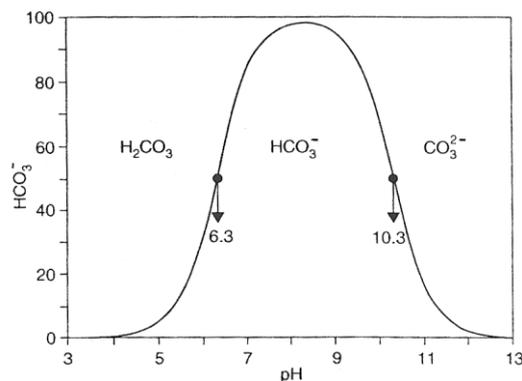


FIGURA 4.6: Porcentagem de bicarbonato do total de carbonato dissolvido em função do pH (Appelo e Postma, 2009).

A maior concentração de Ca^{2+} nas águas subterrâneas é dependente da característica do substrato rochoso e também devido à reação de calcita com dióxido de carbono proveniente da respiração ou oxidação da matéria orgânica. O dióxido de carbono reage com a água para formar o ácido carbônico, que fornece prótons (H^+) que se associam com o íon

carbonato da calcita para formar bicarbonato. A reação global entre o dióxido de carbono e a calcita é apresentada na Equação 4.12 (Appelo e Postma, 2009):



Esta reação é fundamental para a compreensão do comportamento de dissolução e precipitação de carbonato de cálcio na natureza. O aumento da concentração de dióxido de carbono causa a dissolução de carbonato de cálcio, enquanto a remoção de dióxido de carbono faz o carbonato de cálcio precipitar.

Muitas das reações ocorridas em meio aquoso é referente ao fenômeno ácido-base, a qual consiste na transferência de um próton do ácido para a base. Tal fenômeno ocorre em águas subterrâneas pela dissolução dos carbonatos, silicatos e aluminossilicatos, esses aumentam a concentração de cátions, a alcalinidade e o pH, sendo um exemplo de reação ácido base a reação do íon carbonato com a água, gerando OH^- , o que não sendo comum pelo fato da dissolução de dióxido de carbono, apresentado anteriormente, gerar H^+ , neutralizando-a. Appelo e Postma (2009), afirmam que em pH abaixo de 8,3, menos de 1% de ácido carbônico está presente como carbonato.

4.5.2 Dissolução e precipitação

Basicamente, são os processos responsáveis pela quantidade de minerais e pelo controle químico das águas subterrâneas, os quais são regidos pela solubilidade desse mineral. Segundo Gonçalves e Giampá (2006) também influenciam nesses processos a relação entre a solução e o soluto, o efeito do íon comum, a oxidação do meio e a mudança do pH. Com o aumento desse último parâmetro, muitos metais podem formar precipitados incorporando-se a outros íons (OH^- , CO_3^- e SO_4^{2-}) por efeito de coprecipitação.

Mas o principal fenômeno que tange a dissolução e a precipitação em água subterrânea consiste nas cinéticas das reações de carbonatos. Frente à dissolução dos carbonatos, o mineral calcita, será utilizado para exemplificar as reações, além de este ser o constituinte encontrado nas amígdalas das rochas ígneas, motivadoras desta pesquisa. As três reações a seguir baseiam tais cinéticas:



A primeira reação (Equação 4.13) reflete o processo denominado de ataque de prótons em $\text{pH} < 3,5$ e a segunda reação (Equação 4.14) demonstra o efeito de ácido carbônico em pH mais elevado. Em pH ainda mais elevado, acima de 7, a terceira reação (Equação 4.15) prevalece, pois reflete a hidrólise simples da calcita. Assim, dependendo da concentração de cátion e do ânion de bicarbonato, a reação inversa de precipitação ocorre representada pela equação:



Essas reações formam a base dinâmica da dissolução e precipitação (Appelo e Postma, 2009). Os ácidos orgânicos e fosfatos inibem a precipitação de carbonatos em ambientes de água doce. A inibição começa a baixas concentrações de fosfatos e ácidos orgânicos. Geralmente, os cátions bivalentes que formam carbonatos sólidos tendem a inibir a taxa de crescimento de calcita ao passo que a solubilidade do seu carbonato sólido diminui.

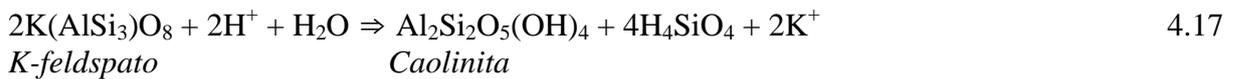
4.5.3 Intemperismo químicos e dissolução dos sais

O intemperismo de minerais silicatos é um processo lento e as mudanças resultantes na química da água são graduais e menos visíveis do que em aquíferos de rochas de carbonato. Assim, os aquíferos com presença de minerais de silicatos são vulneráveis à acidificação, pelo mecanismo de tamponamento do pH em sedimentos sem carbonato. Os silicatos primários compreendem feldspato, anfibólios, piroxênios, micas entre outros, que estão presentes em rochas ígneas e metamórficas.

O efeito do intemperismo da sílica na química da água é primeiramente a adição de cátions de sílica, geralmente, consumindo ácido, aumentando o pH , gerando bicarbonatos e, em alguns casos, até mesmo a precipitação dos carbonatos. Finalmente, o ferro, que está presente nos minerais de silicatos, pode formar óxido de ferro como um produto insolúvel do intemperismo. Isto ocorre em basaltos devido à percolação da água subterrânea, sendo, o alto

teor de sílica um indicativo da atividade de degradação desses minerais, sendo as maiores concentrações encontradas em rochas vulcânicas. As condições hidrológicas em combinação com a taxa de intemperismo dos minerais determinam a natureza dos produtos de intemperismo (Appelo e Postma, 2009).

Gonçales e Giampá (2006) acrescentam que, além das condições hidrológicas, a dissolução de minerais como carbonatos, sulfatos e cloretos, que são os mais solúveis em água, acrescentam os íons principais: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- e HCO_3^- . O intemperismo do silicato é apresentado pelo ataque químico ao K-feldspato, um aluminossilicato de potássio, que inicia-se com a hidratação do mineral e depende do tempo de reação, da temperatura, concentração de dióxido de carbono e de ácidos orgânicos e inorgânicos, finalizando com a hidrólise, geralmente, formando novos minerais.



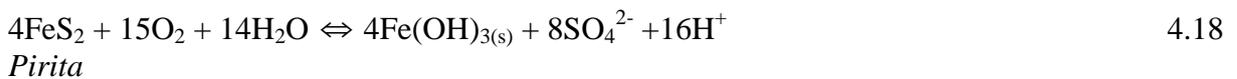
O pH influencia na cinética de dissolução de muitos minerais de silicato, sendo que próximo ao neutro essa taxa é mínima, aumentando-se tanto para pH mais alto como para mais baixo. No entanto, a relação da taxa de dissolução e a dependência com a variação do pH variam de mineral para mineral. O alumínio dissolvido também pode influenciar na taxa de dissolução, bem como a presença de cátions principais na solução podem também retardar a dissolução dos silicatos. Já a alta concentração de CO_2 e de ácidos orgânicos livres podem acelerar a taxa de dissolução afinal, o papel do dióxido de carbono é agir como fornecedor de prótons, mas particularmente próximo à faixa de pH básico e neutro, pois o íon carbonato pode acelerar diretamente o intemperismo do silicato (Appelo e Postma, 2009).

4.5.4 Complexação

A complexação, que consiste na reação entre um íon metálico e um ligante, diminui a atividade dos íons livres na água, aumentando a solubilidade dos minerais e também a mobilidade de metais traço. Os principais ligantes encontrados nas águas subterrâneas são: SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , F^- , Cl^- , CO_3^{2-} e OH^- , além dos fenóis, que são comumente fornecidos naturalmente às águas pelos solos e pelas substâncias húmicas (Appelo e Postma, 2009).

4.5.5 Reações de oxi-redução

Segundo Appelo e Postma (2009), o terceiro maior processo de acidificação das águas subterrâneas é devido à oxidação da pirita, que é encontrada em pequenas quantidades, em sedimentos inconsolidados e em lençóis freáticos. Esse processo é uma das mais fortes reações de produção de ácido encontrada na natureza, conforme representado na Equação 4.18.



Os níveis redox são influenciados pela concentração de oxigênio nas águas de recarga, distribuição e reatividade da matéria orgânica e de outros redutores, presença de tampões e taxa de circulação.

4.5.6 Biotransformação e ação antrópica

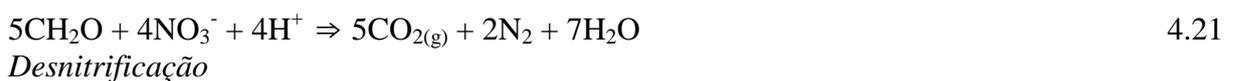
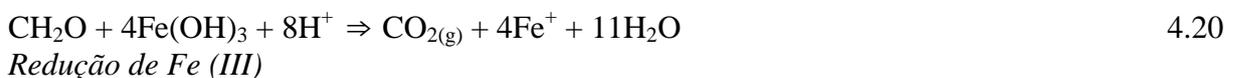
Estudos recentes apresentados por Appelo e Postma (2009), demonstram a crescente acidificação dos recursos hídricos subterrâneos, devido o forte decréscimo do pH em águas subterrâneas jovens.

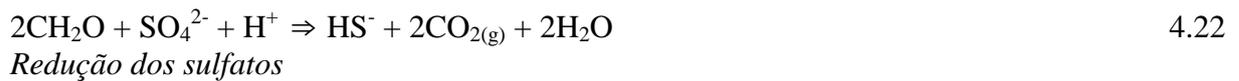
Muitos processos podem ter causado a acidificação da água subterrânea. Um deles é devido à biotransformação de compostos orgânicos em formas inorgânicas simples, realizadas por microorganismos através das reações redox com a presença ou a ausência de oxigênio, atreladas aos ciclos do carbono, nitrogênio, enxofre e ferro, conforme as equações abaixo.

- Decomposição da matéria orgânica com presença de oxigênio:



- Reações sem a presença de oxigênio:





A ação antrópica vem potencializando as reações apresentadas, devido inúmeras atividades degradantes do meio ambiente. Dentre elas citam-se: disposição incontrolada de resíduos sólidos, emissão de gases atmosféricos, utilização indiscriminada de adubos e fertilizantes. Tanto que, através da nitrificação da amônia, proveniente da agricultura, é considerado um dos principais processos de acidificação do solo, segundo a equação:



Tanto que, a presença de nitrato em quase todos os aquíferos, mostra que a nitrificação da amônia deve ser considerada como um importante processo de acidificação. O efeito líquido do processo de nitrificação no pH da água de recarga é determinada pela quantidade de calcário que é aplicado em conjunto com os fertilizantes no solo (Appelo e Postma, 2009).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração desse projeto de pesquisa, a metodologia empregada consistiu:

- Revisão bibliográfica;
- Amostragem de 118 poços na cidade de Campo Grande, sendo 112 do sistema de abastecimento público sob a concessão da Empresa Águas Guariroba S/A e 6 de poços particulares;
- Coleta e análise físico-química de amostras das águas, dos poços levantados. Os parâmetros analisados consistiram:
 - Temperatura;
 - pH;
 - Sólidos totais dissolvidos (STD);
 - Teor de cálcio em forma de carbonato: Ca^{2+} de CaCO_3 ;
 - Alcalinidade do CaCO_3 .
- Aplicação dos índices de Ryznar e de Langelier, na verificação do grau de incrustação/corrosão, os quais levam em consideração as relações entre pH e o pHe (pH de equilíbrio);
- Levantamento dos dados característicos dos poços amostrados perante a empresa concessionária Águas Guariroba S/A, correspondendo:
 - NE (m);
 - ND (m);
 - Vazão (m^3/s);
 - Cota altimétrica da boa do poço (m);
 - Profundidade (m);
 - Aquíferos contribuintes;
- Filtragem dos poços com contribuição do SASG, definidos como os quais possuem NE (m) inferior a 40m;
- Plotagem da localização dos poços filtrados e dos resultados dos índices de Ryznar e Langelier em cartas, utilizando os *softwares* Surfer (Golden, 2002), Freehand (Macromedia, 2000), Avenza MaPublisher (Avenza, 2001), AutoCad (Autodesk, 2006) e Photoshop (Adobe, 2002);

- Análise dos resultados, visando identificar a distribuição qualitativa da qualidade da água subterrânea do SASG.

5.1 Atividades preliminares

Inicialmente, a primeira atividade realizada consistiu na delimitação do perímetro urbano do município de Campo Grande/MS, conseqüentemente, definindo o limite da área de estudo do projeto. Respeitando a Lei Complementar Municipal N° 74/2005, verificou-se que a região urbana é de 353km², conforme apresentado na Figura 3.1.

Tal delimitação foi baseada no arquivo vetorial fornecido pela Prefeitura Municipal de Campo Grande/MS, que a partir do *software* AutoCad (Autodesk, 2006), esses vetores foram exportados para *shapefile* e inseridos na plataforma Freehand (Macromedia, 2000), com auxílio de seu *plugin* Avenza MaPublisher (Avenza, 2001), onde foram formatados e retrabalhados, confirmando seus limites e a delimitação das macro-regiões municipais.

De posse da área do projeto, foram levantados, junto a Águas Guariroba S/A, com auxílio do seu Técnico de Produção de Água Potável Clayton Bezerra e do Sistema Operação (Figura 5.1), os poços que estavam em operação constante para que, as amostras coletadas, não fossem retiradas de poços inativos, os quais teriam qualidade diferente das características do aquífero, devido a não percolação de água, o acúmulo de sólidos e a saturação com alguns minerais, não sendo uma amostra representativa da qualidade do aquífero explorado.

Um caso foi encontrado no poço CGR-177, localizado na Estação Elevatória de Água Bruta 1 – EEAB1, no reservatório Guariroba, o qual se encontrava inoperante por um longo período de tempo e, no momento da coleta, a amostra apresentou coloração avermelhada.

Retirando-se a bomba, notou-se a deposição de minerais de coloração avermelhada na superfície da bomba (Figura 5.2), caracterizando a decomposição de óxido de ferro, inclusive com odor característico. Desta forma a amostra desse poço foi descartada.

5.2 Atividades de campo e coleta das amostras

As atividades de campo consistiram basicamente em coleta de amostras, análises físico-químicas e reconhecimento da área e das características particulares de cada poço e região.

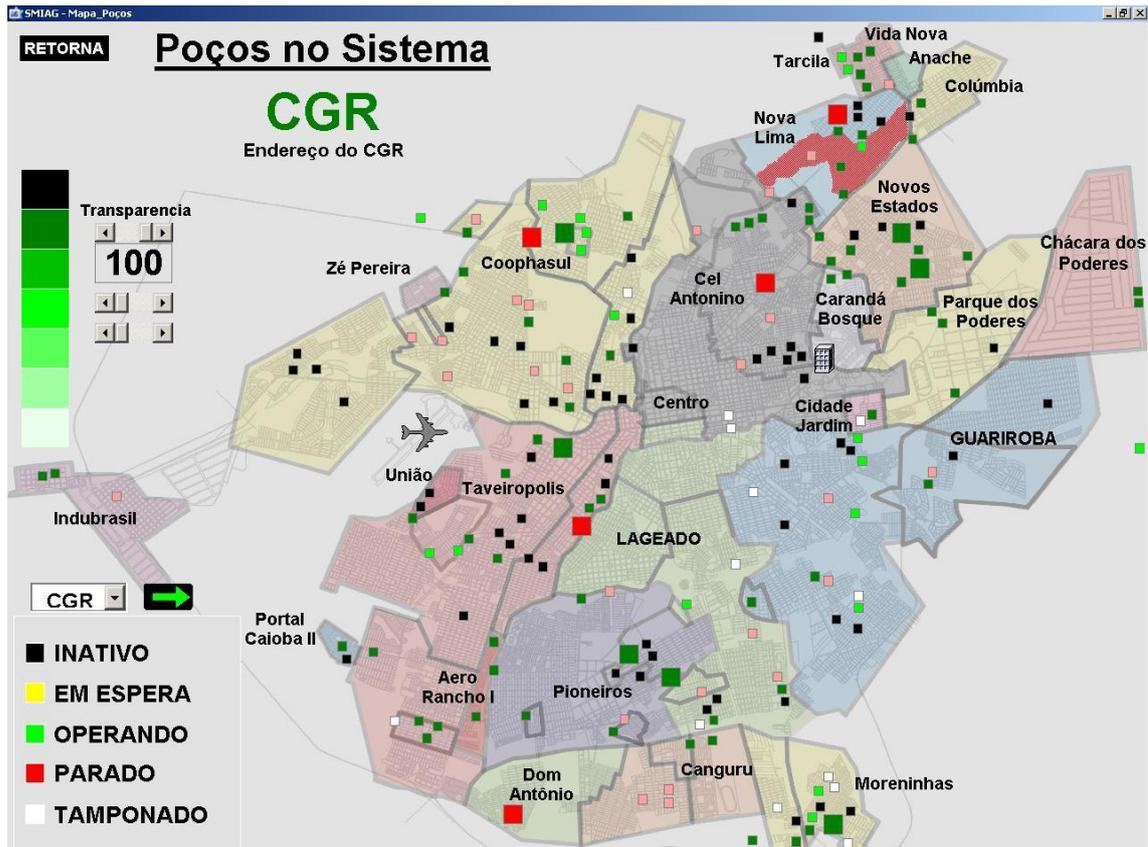


FIGURA 5.1: Sistema de verificação da situação operacional dos poços subterrâneos operados pela Águas guarapiroba S/A.



FIGURA 5.2: Bomba submersa com mineral de coloração avermelhada precipitada em sua superfície devido a inatividade do poço.

Foram definidas, então, regiões do município que seriam contempladas em cada uma das campanhas. No total, foram amostrados 118 poços, sendo 112 de responsabilidade da concessionária e 6 particulares; em 13 campanhas realizadas de 14 de junho a 04 de outubro de 2010.

As amostragens foram realizadas no primeiro ponto mais próximo a boca do poço (Figura 5.3), após a água fluir durante 10 minutos do registro, evitando a coleta do material incrustado no registro, que contaminaria a amostra, com a utilização de frasco de polietileno transparente (Figura 5.4), o qual foi preliminarmente higienizado com a utilização de detergente neutro de laboratório e água destilada. O frasco foi preenchido até a borda para evitar a ação de diluição de gases na amostra.



FIGURA 5.3: Detalhe da coleta da amostra logo após a boca do poço.

Imediatamente após a coleta da amostra, o pH e a temperatura das amostras e do ambiente foram realizadas com o auxílio, respectivamente, de um pHmetro da marca Hanna, modelo HI8424, bulbo de vidro, o qual era aferido anterior e posteriormente a cada campanha, e de um termômetro aferido (Figura 5.4). Tais equipamentos foram higienizados com água destilada antes de ser utilizado novamente. Após os parâmetros serem medidos em campo, as amostras eram hermeticamente fechadas com tampa e acondicionadas em recipiente térmico à temperatura de 4°C.

Com auxílio do GPS Garmin eTrex Vista HCx, foram levantadas as coordenadas geográficas dos pontos de exploração, na projeção métrica UTM (*Universal Transversa de Mercator*), datum SAD-69, fuso 21 (Figura 5.4).

Também em campo, eram visualizadas características regionais do local e também levantados junto aos técnicos da empresa informações, situações, avariais e particularidades de cada poço (Figura 5.5), bem como os sistemas de bombeamento (Figura 5.6).

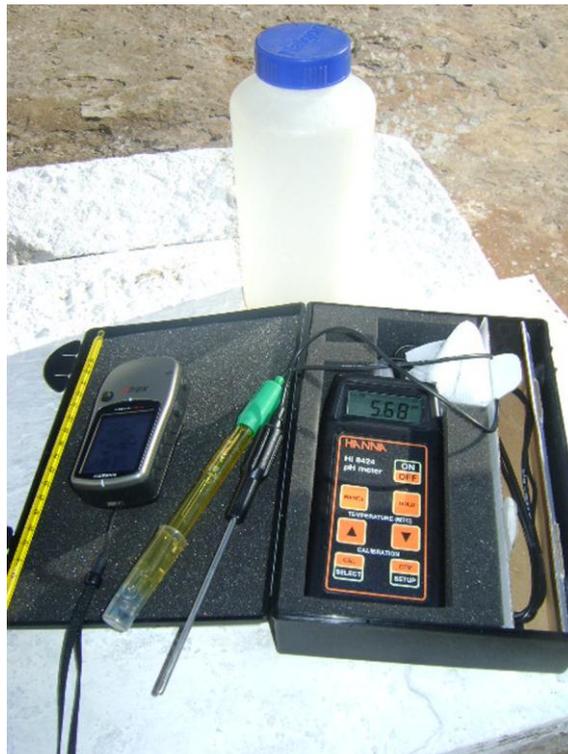


FIGURA 5.4: Equipamentos utilizados em campo: pHmetro, GPS Garmin e Termomêtro, além do frasco de polietileno.



FIGURA 5.5: Detalhe da tubulação com mineral depositado em sua superfície, característica particular do poço CGR-213, localizado no bairro Novos Estados.

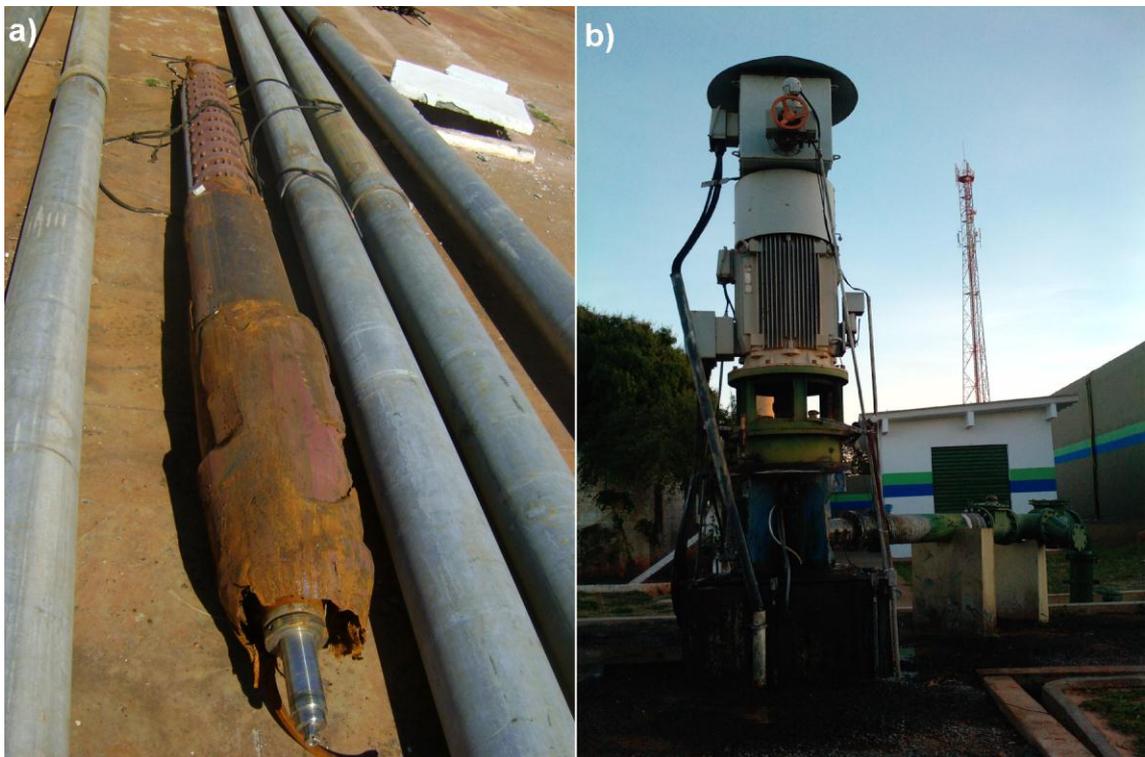


FIGURA 5.6: Dois dos principais sistema de bombeamento da água subterrânea empregados pela concessionária. Em a) é apresentada uma bomba submersa, a qual estava em manutenção e em b) o sistema de eixo vertical.

5.3 Análises laboratoriais

As amostras coletadas em campo e acondicionadas foram destinadas ao Laboratório Operacional da Águas Guariroba S/A localizado na Estação de Tratamento de Água Guariroba – ETA Guariroba, as quais foram analisadas dentro do período de 24 horas.

Os parâmetros analisados no laboratório foram: Sólidos Totais Dissolvidos (STD), em mg/L, Cálcio (Ca^{2+} em mg/L) e Alcalinidade (em mg/L).

As metodologias de análise dos parâmetros foram realizadas segundo os procedimentos técnicos definidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1992), que consistiram nos métodos analíticos eletrométrico, volumétrico e titulométrico, respectivamente empregados para os parâmetros, STD, Cálcio e Alcalinidade.

5.4 Interpretação dos dados e elaboração dos resultados

De posse dos resultados analíticos físico-químicos, foram aplicadas as metodologias dos Índices de Langelier (LSI) e Ryznar (RSI), segundo as Equações 4.1 e 4.7, respectivamente, verificando qual a tendência de comportamento da água subterrânea de Campo Grande/MS frente ao caráter de corrosão ou incrustação.

Os resultados dos comportamentos de cada poço amostrado foram plotados, juntamente com suas respectivas coordenadas geográficas, em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas), utilizando-se o *software* Surfer (Golden, 2002), para avaliação da distribuição espacial do LSI e RSI, obtendo o mapa de isolinhas da distribuição espacial da tendência de corrosão/incrustação das águas subterrâneas do SASG na Zona Urbana de Campo Grande/MS.

Atividade também realizada com os parâmetros físico-químicos com o intuito de verificar se tais parâmetros acompanhavam a variação dos Índices aplicados.

Para auxiliar no estudo dos comportamentos e da variação das características do SASG, foram levantados junto a concessionária os dados de NE (m), ND (m), vazão (m^3/h), cota da boca do poço (m), profundidade (m) e o(s) aquífero(s) contribuintes. Baseando os estudos da hidrogeologia regional frente à distribuição espacial dos parâmetros físico-químicos analisados.

Os valores dos NE foram imprescindíveis para a seleção e filtragem dos poços que tinham contribuição do SASG e aqueles que tinham contribuição exclusiva do Sistema

Aquífero Guarani – SAG. Segundo Lastoria (2002), os poços perfurados no SASG em Campo Grande/MS têm NE médio de 21,38m, assim, nesse projeto, foi considerado que NA superiores a 40 metros têm o como principal contribuinte de água o SAG, sistema que não compreendem ao escopo do projeto.

Dos 118 poços levantados, foram filtrados 34 poços que possuem NA superiores aos 40 metros, portanto os resultados apresentados neste projeto foram realizados para 84 poços que possuem contribuição do SASG, os demais não foram utilizados na elaboração dos mapas e nem considerados nas avaliações subseqüentes. Os poços filtrados e seus respectivos NA são apresentados no Anexo II.

Os resultados das análises físico-químicas, os dados das características dos poços, bem como os resultados da aplicação dos Índices LSI e RSI para cada um dos poços analisados, são apresentados no Anexo I.

Também foi verificada se a distribuição espacial da tendência de corrosão/incrustação das águas subterrâneas está correlacionada com o fluxo de águas no SASG, ou seja, se as substâncias químicas responsáveis por esse caráter estão sendo carreadas de um ponto do aquífero para outro através das interconectividades das fissuras e falhas da Formação Serra Geral.

A partir dos NE dos poços perfurados no município de Campo Grande/MS e das suas posições geográficas plotados no *software* Surfer (Golden, 2002), obteve-se, o Mapa Potenciométrico do SASG e o seu fluxo. De posse dos resultados analíticos e dos dados de cada poço, esses foram então avaliados individualmente e estudadas as suas relações hidroquímicas, correspondendo aos casos encontrados na região de estudo.

Também foi obtida uma amostra de um mineral depositado na bomba do poço particular PRT-006, o qual, apesar da ausência de dados precisos, possui cerca de 50m de profundidade, com nível estático próximo aos 20m, informações essa prestado pelo Químico responsável pela manutenção da qualidade da água do condomínio residencial, devido o fato de recentemente a bomba do poço ter sido substituída, e esse dados levantados. Em uma porção desse material, foi aplicado solução de ácido clorídrico para verificação se tal material é calcita.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro resultado obtido consistiu no mapa da delimitação da região urbana do Município de Campo Grande/MS, o qual é apresentado na ilustrativamente na Figura 3.1. A partir dessa, foram obtidas também as delimitações das macro-regiões municipais e apresentados na Figura 6.1 detalhadamente, com a localizações dos 84 poços analisados que tem o SASG como principal contribuinte, correspondendo a 78 sob concessão da empresa Águas Guariroba S/A e 6 particulares.

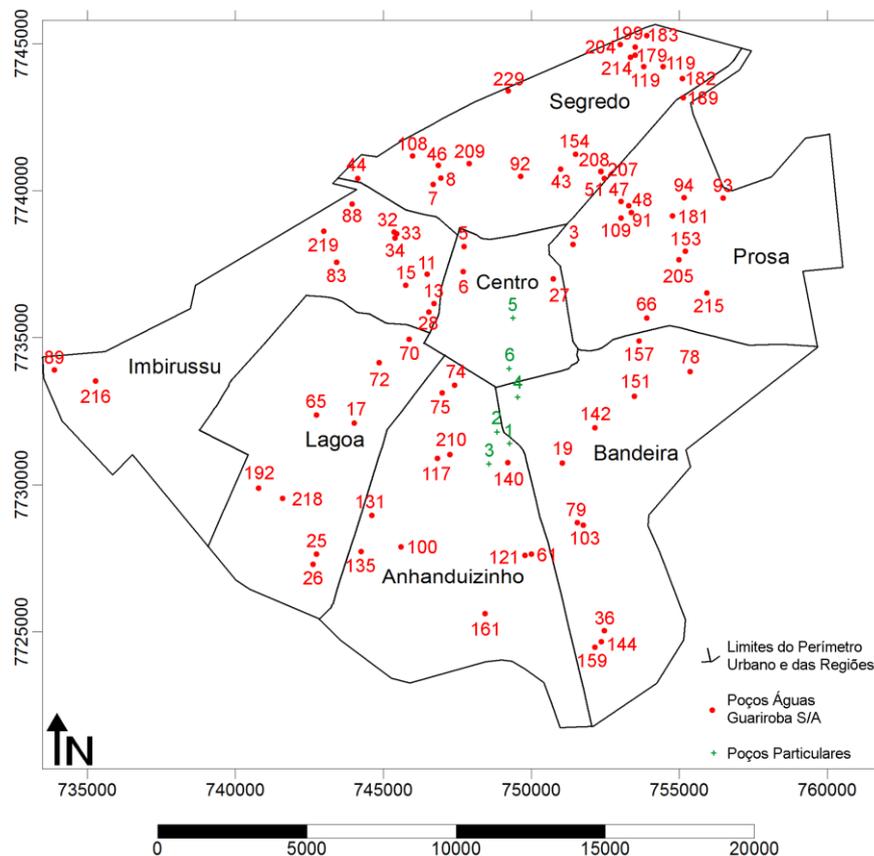


FIGURA 6.1: Localização espacial dos poços analisados, os quais têm contribuídos do SASG, totalizando 84 poços, desses 78 sob concessão da empresa Águas Guariroba S/A e 6 particulares.

Das 7 macro-regiões, Segredo é a que possui maior número de poços explorados atualmente no SASG pela concessionária, totalizando de 21 poços. Já a área Central é a que possui menor quantidade, apenas 3. Já nas demais, Prosa, Bandeira, Anhanduizinho, Lagoa e Imbirussu, a quantidade de poços é de 13, 10, 11, 8 e 12 respectivamente.

Os poços particulares amostrados estão nas regiões Anhanduizinho (3), Central (2) e Bandeira (1), os quais concordaram em fornecer amostras para a realização desse estudo.

As coordenadas geográficas e a numeração de cada poço, como referenciado pela concessionária são apresentados no Anexo I.

6.1 Hidrogeologia do SASG em Campo Grande/MS

A partir do NE e da cota da boca do poço, foi obtido o mapa correlacionando o mapa potenciométrico e a direção do fluxo, com a hidrografia, esta última com a finalidade de ilustrar a direção do fluxo das águas superficiais.

Como apresentado na Figura 6.2, verifica-se a potenciometria dos poços profundos do SASG variam de 640 a 430 metros, à NE e SW, respectivamente, acompanhando a hidrografia. O mesmo comportamento é apresentado pela direção do fluxo, predominantemente NE-SW. Por fim, o último detalhe deste mapa consiste no divisor de água localizado a NE do município, devido a mudança da direção do fluxo ilustrado pelas setas.

6.2 Hidrogeoquímica do SASG em Campo Grande/MS

Os resultados dos parâmetros analisados: pH, STD, Temperatura, Ca^{2+} e Alcalinidade são apresentados no Anexo I. Esses resultados analíticos foram então plotados no ambiente SIG, obtendo mapas das distribuições espaciais de cada parâmetro.

A Figura 6.3 apresenta a variação do pH no SASG na região urbana de Campo Grande/MS. Nota-se que na região NE do município, encontram-se os menores valores para pH, chegando ao patamar de 4,5, aumentando gradativamente na direção SW, semelhante ao comportamento da direção do fluxo subterrâneo, atingido a casa dos 8,5. Valores esses semelhantes aos apresentados por Lastoria (2002) e Silva (2007) que, respectivamente, obtiveram 4,5 a 7,8 e 5,5 a 6,5.

São inúmeros os fatores que contribuem para a variação dos valores de pH em águas subterrâneas. Nos poços com pH baixos, estão localizados na região com a maior altitude do município, ilustrado pela presença das nascentes dos córregos, e com o NA próximo à superfície, caracterizando, assim, como uma zona de recarga, com presença de águas jovens e concentrações de CO_2 elevada, devido a sua dissolução na atmosfera e nos solos com presença de matéria orgânica em decomposição. Assim, o dióxido de carbono reage com a

água formando ácido carbono que é facilmente ionizável, liberando H^+ para o meio acidificando-o, conforme mencionado por Appelo e Postma (2009).

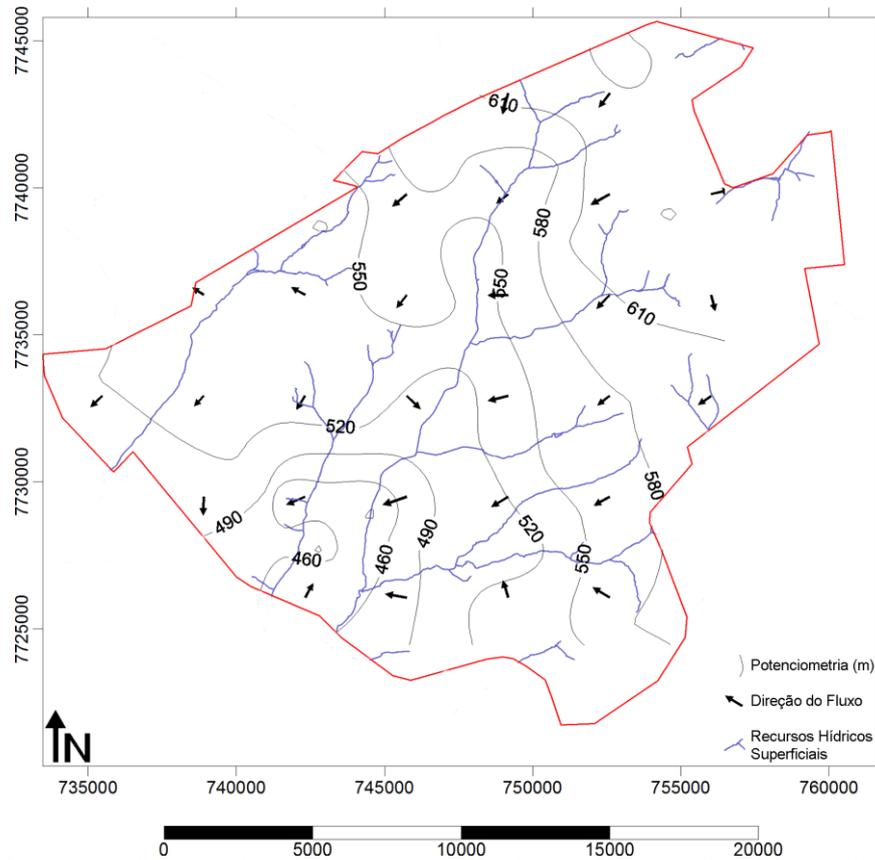


FIGURA 6.2: Mapa de correlação entre a potencimetria e a direção do fluxo das águas subterrâneas, com a hidrografia da região urbana de Campo Grande/MS.

Com o fluxo dessa água ácida pelos interstícios das rochas basálticas, há a dissolução de minerais que podem estar precipitados nas amígdalas das rochas, provocando o aumento de cátions, da alcalinidade e do pH proporcionalmente ao tempo de contato água/rocha.

A variação espacial da temperatura, uma das principais características físicas da hidrogeoquímica, é apresentada na Figura 6.4. O comportamento desse parâmetro destaca-se no norte e sul do município, atingindo a casa dos 35 e 30°C respectivamente. Nas demais regiões a temperatura se mantém na casa dos 25°C.

As características químicas analisadas consistiram em STD, teor de Ca^{2+} e alcalinidade, cujas variações espaciais são apresentadas nas Figura 6.5, Figura 6.6 e Figura 6.7. Nota-se que na região centro-sul ocorrem as maiores concentrações desses três parâmetros citados.

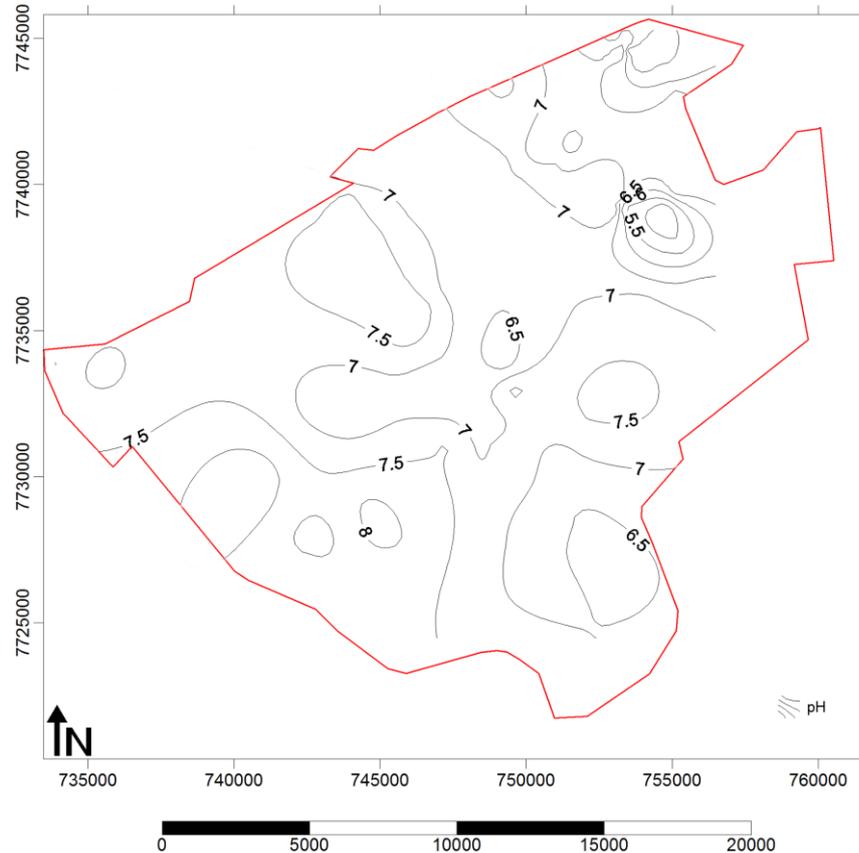


FIGURA 6.3: Distribuição do pH no SASG na região urbana de Campo Grande/MS.

Para STD, a concentração atinge o pico de 300mg/L na região centro-sul do município, diminuindo gradativamente em direção às periferias chegando a concentrações abaixo de 50mg/L.

Comportamento semelhante ocorre com o teor de cálcio, que varia de 40mg/L até abaixo de 5mg/L, com um pico de mesma concentração na região sudeste. Já a alcalinidade, além de seguir a variação dos parâmetros anteriores, indo de 100mg/L até abaixo de 10mg/L, há um pico de 80mg/L na região central.

Os poços que apresentaram os picos dos parâmetros STD, Ca^{2+} e Alcalinidade podem ser devido a maior interação entre água e a rocha, tanto pelo intemperismo e como potencial de dissolução dos minerais, quanto por se tratar de águas subterrâneas que estiveram confinados maior tempo no aquífero, bem como pelo fluxo das águas hidrotermais pelas vesículas e amígdalas, dissolvendo os minerais sedimentados e incrustados.

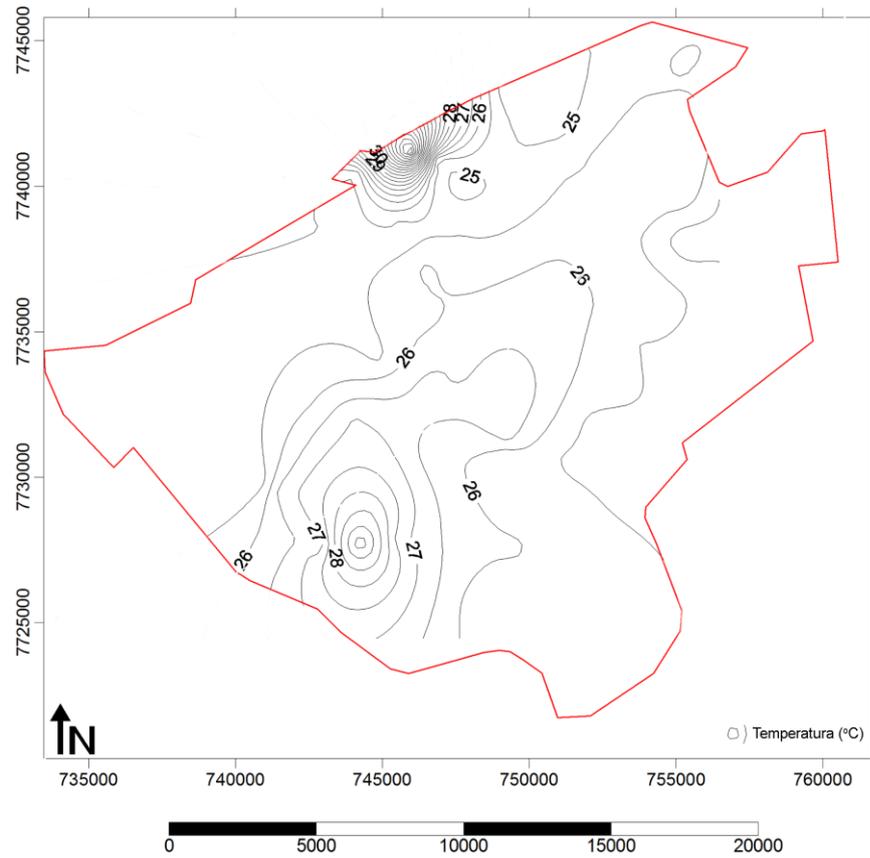


FIGURA 6.4: Variação da temperatura da água subterrânea do SASG na região urbana de Campo Grande/MS.

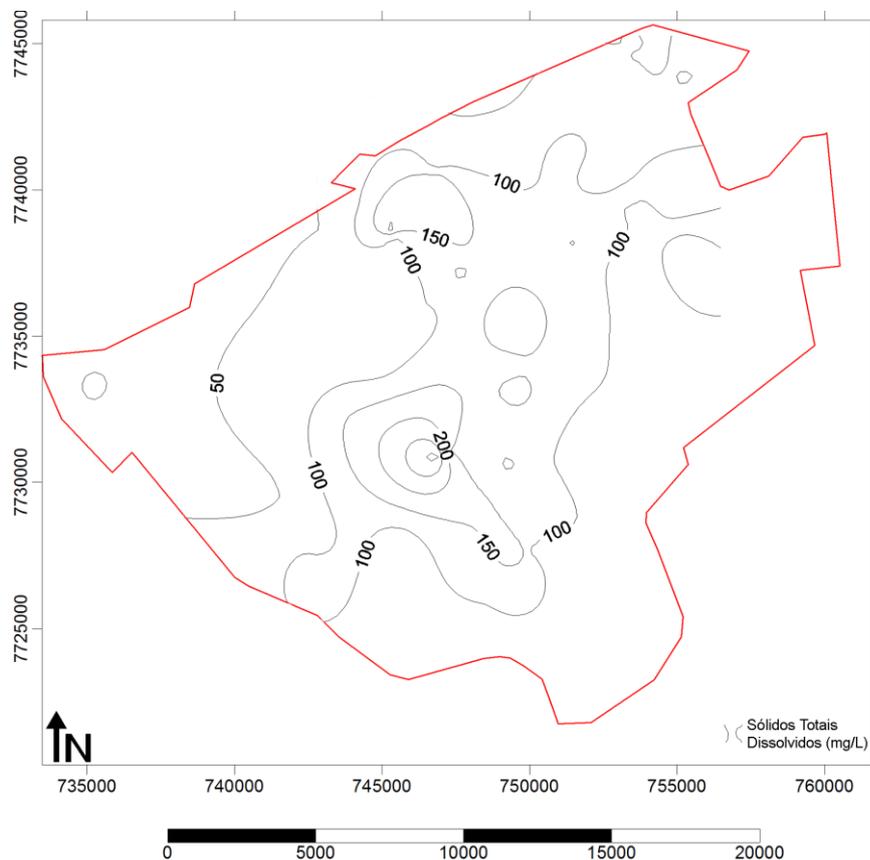


FIGURA 6.5: Variação da concentração de STD na região urbana de Campo Grande/MS.

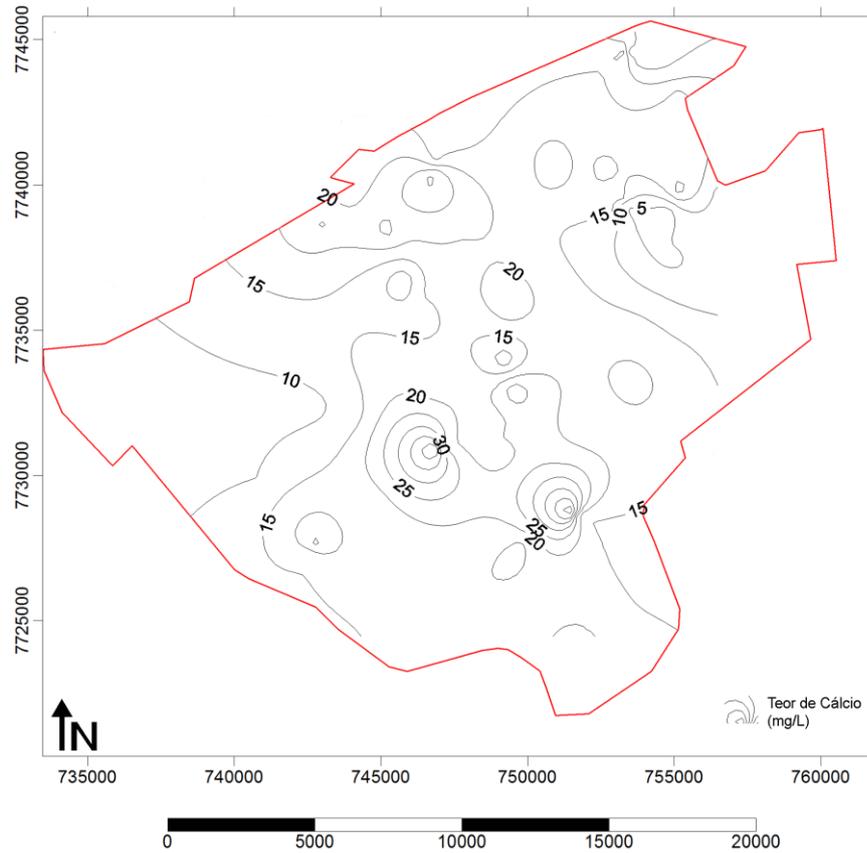


FIGURA 6.6: Distribuição espacial do teor de cálcio na região urbana de Campo Grande/MS.

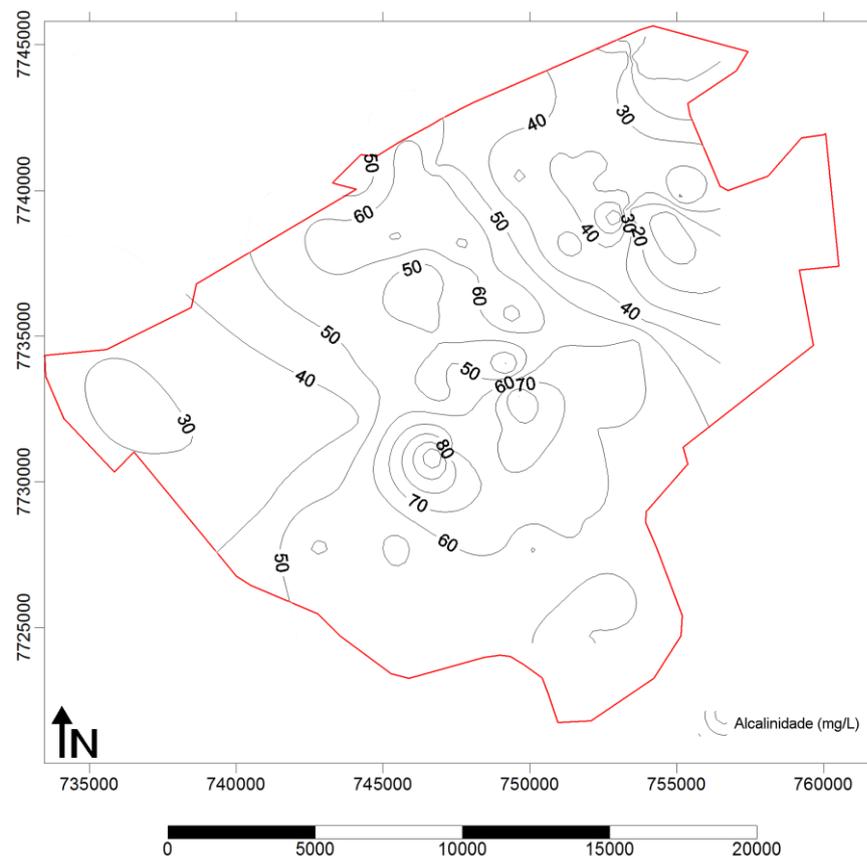


FIGURA 6.7: Distribuição espacial da alcalinidade na região urbana de Campo Grande/MS.

Além disso, como apresentado pelos autores Appelo e Postma (2009), Gonçalves e Giampá (2006) e Custódio e Llamas (1983) para a relação entre dissolução e precipitação, corpos hídricos com maior concentração de Ca^{2+} , HCO_3^- e OH^- tendem a elevar o pH superior a 7,0, e os poços CGR-117 e CGR-210, possuem alta concentração dos parâmetros STD, Ca^{2+} e Alcalinidade, conferindo potenciais hidrogeniônicos de 7,46 e 7,56, respectivamente.

6.3 Potencial de Corrosão e Incrustação do SASG em Campo Grande/MS

A partir de todas as análises físico-químicas das amostras coletadas dos poços do SASG, aplicaram-se dois índices para avaliação da capacidade de corrosão e incrustação segundo Langelier e Ryznar. Os resultados matemáticos são apresentados no Anexo I desta dissertação.

Segundo os resultados obtidos, as águas do SASG exploradas têm características corrosivas. Para o índice LSI, 04% dos poços possuem água com tendência à corrosão severa, 30% à corrosão moderada, 65% à corrosão leve e apenas 1% balanceado e nenhum poço apresentou características incrustantes. O mesmo ocorreu com o RSI, porém este índice resultou em 98% de corrosão severa e 2% de corrosão moderada dos poços campo-grandenses.

Tais características foram confirmadas pelo técnico da empresa concessionária, tanto que os poços CGR-223, 224 e 225 operam com mangueiras de bombeamento ao invés de tubulações de ferro convencional devido às avarias ocasionadas pela corrosão, inclusive com bombas de aço inoxidável. Também no poço PRT-06, foi relatado pelo químico responsável pelo tratamento que a bomba submersa é trocada a cada 12 ou 18 meses devido à esse ataque químico.

Avaliando os resultados apresentados no Anexo I, nota-se que os poços com contribuição do Aquífero Caiuá resultou em corrosão moderada para severa, em especial ao LSI. Inclusive os 3 poços com corrosão severa tem como maior contribuinte o referido aquífero formado principalmente por arenitos.

Nas Figura 6.8 e Figura 6.9 são apresentadas as distribuições espaciais das características agressivas e incrustantes obtidas pela aplicação dos Índices de Langelier e Ryznar, respectivamente. Esses foram correlacionados com o mapa de direção do fluxo subterrânea e a divisão das macro-regiões municipais.

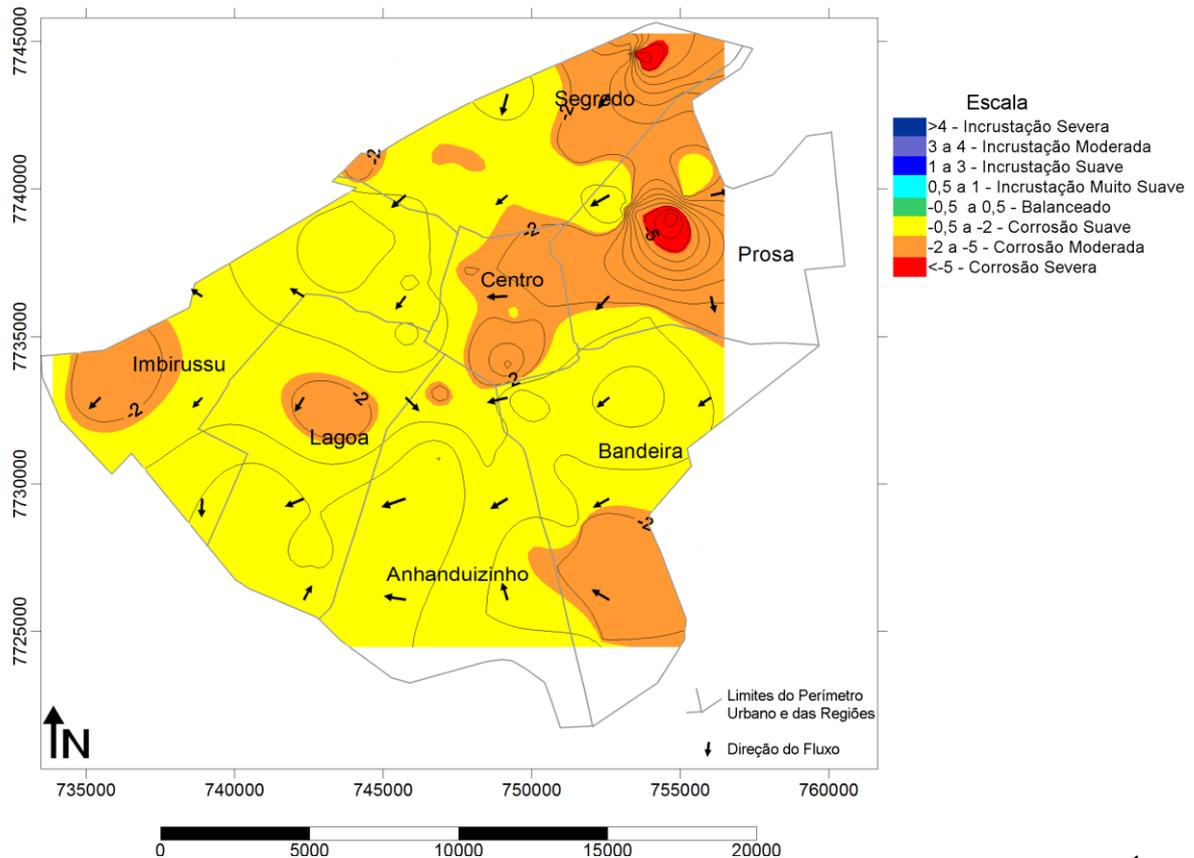


FIGURA 6.8: Distribuição espacial do potencial de corrosão e incrustação, segundo o Índice de Saturação de Langelier, para as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, na região urbana de Campo Grande/MS.

Nota-se que para o RSI, a variação dos comportamentos dos poços foram grosseiros, em relação ao LSI, cuja variação do potencial de corrosão e incrustação atingiu mais escalas de definição, sendo mais representativo para as características regionais do SASG, no município de Campo Grande/MS.

Apesar disso, tanto a variação dos resultados da aplicação dos dois índices estão acompanhando a variação da potenciometria, da direção do fluxo e, principalmente, do pH. Ao N da macro-região Segredo e no centro da macro-região do Prosa, obtiveram-se valores críticos de corrosão para os índices LSI e RSI, chegando a -6 e a 17, variando até -0,5 e 8,5, nas respectivas escalas. Mesmo com a larga variação de valores, não foram obtidos resultados de poços incrustantes.

Na Tabela 6.1 são apresentados os valores médios dos resultados físico-químicos de cada comportamento. É evidente a variação de todos os parâmetros e que, conforme já discutido, no corpo hídrico com maior concentração de Ca^{2+} , HCO_3^- e OH^- , há tendência do pH ser superior a 7,0, fato que é comprovado na referida tabela. Além disso, em pH baixo, há

a diminuição da capacidade de solubilizar carbonatos e a catalise das reações das outras substância oxidantes.

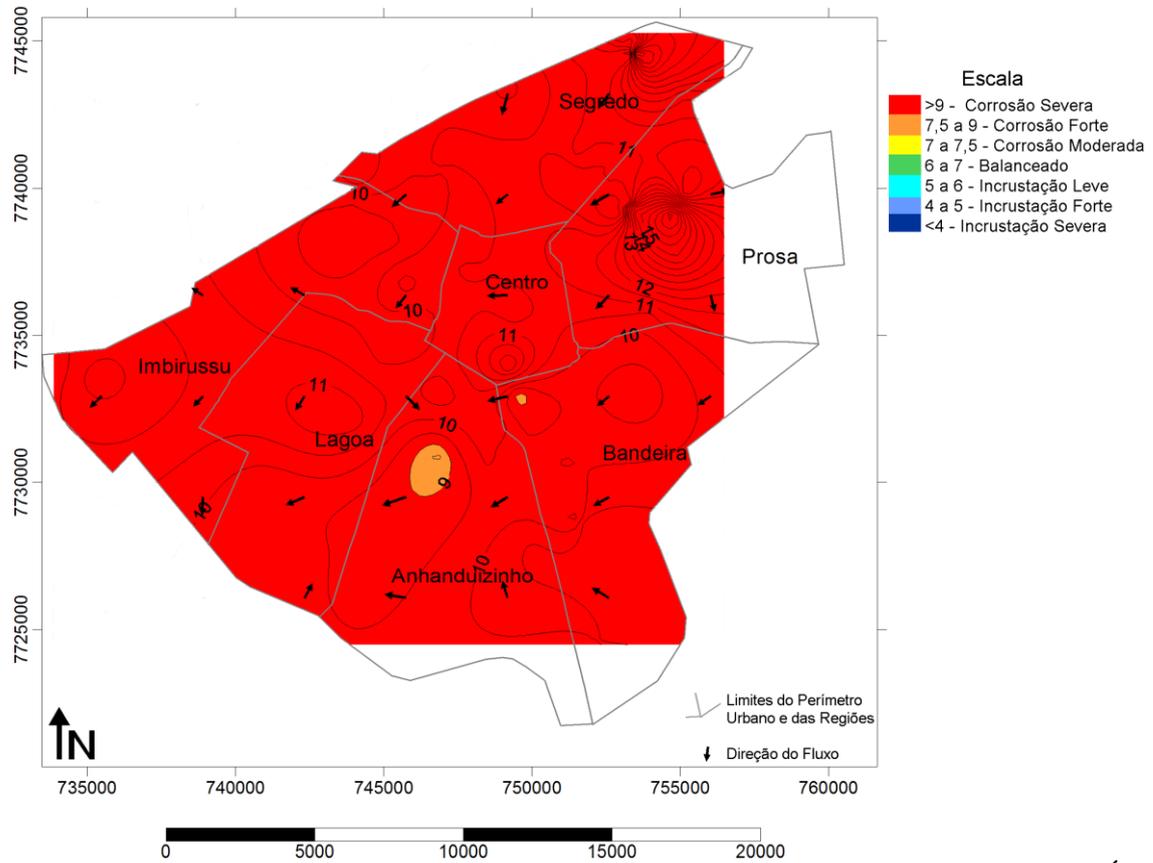


FIGURA 6.9: Distribuição espacial do potencial de corrosão e incrustação, segundo o Índice de Estabilidade de Ryznar, para as águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral, na região urbana de Campo Grande/MS.

TABELA 6.1: Valores médios, por comportamento, dos resultados físico-químicos.

Comportamento	Quantidade de poços (%)	Resultados físico-químicos				
		pH	Temperatura (°C)	Cálcio (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	STD (mg/L)
Balanceado	1	7,46	26,1	46,0	115,0	325,0
Corrosão leve	65	7,28	26,1	18,7	56,2	106,3
Corrosão moderada	30	6,25	25,6	10,8	29,3	81,6
Corrosão severa	4	5,50	25,3	2,2	2,7	61,0

6.4 Teste de Verificação do Mineral

Durante as campanhas, foi possível coletar também uma amostra de mineral depositado no conjunto de bombeamento do poço PRT-006, instalado no Condomínio Rui Barbosa. Tal poço, como mencionado, possui características corrosivas, inclusive relatadas

pelo responsável técnico do tratamento da água. Sob essa amostra foi aplicada solução de ácido clorídrico a fim de verificar se o mineral em questão era proveniente de carbonato, em especial a calcita.

Mas, depois de aplicado, o mineral não liberou dióxido de carbono (Figura 6.10, a), como exemplificado na calcita (Figura 6.10, b), conforme seria a reação química apresentada na Equação 6.1. Sendo assim, verificou-se que, esse mineral não se tratava de calcita.

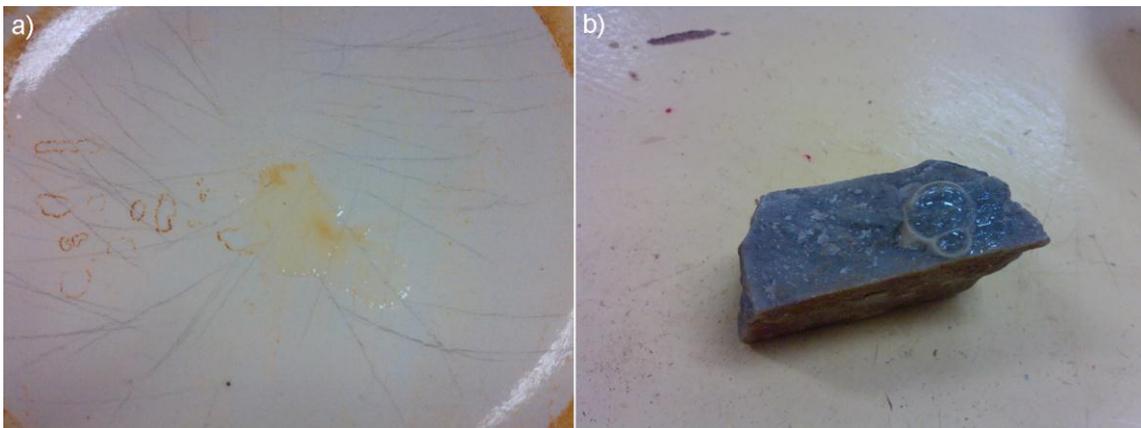


FIGURA 6.10: Teste para verificar se o mineral em a) trata-se de um carbonato, o qual não houve liberação de dióxido de carbono como em b), rocha com carbonato de cálcio.

7 CONCLUSÕES

Com esse estudo, foi possível concluir que o comportamento das águas do Sistema Aquífero Serra Geral, explotados no município de Campo Grande/MS têm comportamento corrosivo, afinal 99% das amostras resultaram em corrosividade, e desses, 64% estando na escala de corrosão leve, para o Índice de Saturação de Langelier, o mais representativo regionalmente, visto que para o Índice de Estabilidade de Ryznar, 98% dos poços têm água subterrânea com característica corrosiva severa, fato este não ocorrido no município.

A variação dos índices está intrinsecamente relacionada com a variação da potenciometria, da direção do fluxo e, principalmente, do pH; e os poços com maior potencial de corrosão são os que recebem contribuição do Aquífero Caiuá, concluindo-se que tal aquífero, formado por arenitos, está contribuindo também com o comportamento corrosivo das águas subterrâneas

Conclui-se também que a água da chuva está recarregando o SASG em NE com altas concentrações de CO₂ dissolvido e que, durante seu fluxo para SW, dissolve minerais que acarretam no aumento do pH da água subterrânea. Desta forma verifica-se que há interconectividades fissurais no SASG, como propostos pelos autores Lastoria (2002) e Silva (2007) e que o comportamento do fluxo possui direção predominante NE-SW, semelhante ao que o pesquisador Lastoria (2002) obteve para o SASG em Mato Grosso do Sul.

A potenciometria e a direção do fluxo, características hidrogeológicas do aquífero, têm sentido predominante NE-SW, variação essa acompanhado pelo pH, que atinge valores de 4,5, aumentando gradativamente na direção SW, semelhante ao comportamento da direção do fluxo subterrâneo, atingido a casa dos 8,5. Assim, a água meteórica recarrega o SASG na região NE do município com altas concentrações de CO₂ dissolvido e que, devido as interconectividades fissurais do aquífero, dissolve minerais durante seu fluxo para SW aumento do pH pela dissolução de carbonatos, silicatos e aluminossilicatos presentes como minerais sedimentados na amígdalas das rochas basálticas, carreando-os para as áreas adjacentes.

A partir da amostra de mineral precipitado na bomba de um dos poços estudos, conclui-se que não se tratava de calcita.

Como visto, este projeto é de notória importância para o município de Campo Grande/MS por se tratar de um estudo pioneiro realizado no Estado de Mato Grosso do Sul,

devendo ser utilizado como uma ferramenta sistemática para a avaliação dos Sistemas Aquíferos do Estado, bem como para o Gerenciamento das Águas Subterrâneas.

Além disso, tal estudo possibilitou não somente a identificação dos poços que possuem maior potencial para a corrosão/incrustação dos sistemas de captação e distribuição das águas subterrâneas municipal, mas também o conhecimento da sua variação espacial. Sendo outra ferramenta importante no planejamento da frequência da manutenção dos poços tubulares existentes e em operação, bem como o direcionamento das regiões a serem perfurados novos poços e os equipamentos de captação e distribuição mais propícios a serem utilizados, tais que não tenham comprometimento futuros frente ao ataque químico e sedimentações de minerais.

Afinal, os investimentos para perfuração e distribuição de águas subterrâneas, bem como para a manutenção do sistema, apesar de relativamente mais baratos que os despendidos para o abastecimento a partir de águas superficiais, são altos e não deveriam ficar a mercê do acaso, podendo vir a ruir todo o sistema por falta de estudos que alertariam para tais problemas, como os estudos do potencial de corrosão e incrustação, os quais são responsáveis por perdas de poços, devido ao rompimento de tubulação e queda do sistema no interior do poço, e à perda de eficiência da vazão explorada.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOBE System Inc. **Adobe Photoshop version 7.0**. Adobe Inc. 1990-2002. EUA.

ALMEIDA, R.A.S. de. **Índice de qualidade de águas subterrâneas destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS)**. Salvador, 2007. 221p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental Urbana). Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, 18th ed., Washington, 1992.

APPELO, C.A.J.; POSTMA, D. *Geochemistry, groundwater and pollution*. 2.ed. 4th corrected reprint. Amsterdam: A.A. Balkema Publisher, 2009.

AUTODESK Software Inc. **AutoCad version 2007**. Autodesk, Inc. 1982-2006. EUA.

AVENZA Systems Inc. **MaPublhiser version 4.0, for Macromedia FreeHand User, for Windows and Macintosh**. Avenza Systems. Inc. 2000-2001. Colorado USA.

BAILLET, D.V.P.; *et al.* **Estudio Hidrogeológico y Gestión de los Recursos Hídricos de La Cuenca de La Laguna de Apoyo**. Managua: Publicado por la Oficina Técnica de AMICTLAN-Geólogos del Mundo, 2008. (Relatório Técnico).

BARBANTI, N. R.; PARENTE, K. S. Águas subterrâneas: alternativa para abastecimento. **Artigo técnico no XXVIII Congresso de Ingeiería Sanitaria y Ambiental**, Cancún, México, 2002. 8p.

BARROS, J.G. do C. As Águas Subterrâneas ou as Águas que Brotam das Pedras. **Revista das Águas**. Brasília, v.2, n.6, Junho de 2008. Disponível em: <http://revistadasaguas.pgr.mpf.gov.br/edicoes-da-revista/edicao-06/artigos/as-aguas-subterraneas-ou-as-aguas-que-brotam-das-pedras/?searchterm=barros>. Último acesso em 14 de abril de 2010.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396, de 07 de abril de 2008**: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília, 2008.

BRASIL. FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de saneamento**. 3a ed. rev. 1a Reimpressão – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007. p 56-150.

BRASIL. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Brasília, 2010.

BRASIL. MINISTÉRIO DO ESTADO DA SAÚDE. **Portaria nº 518, de 25 de março de 2004**: Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2004.

CAMPO GRANDE, MATO GROSSO DO SUL. **Lei Complementar nº 74, de 06 de setembro de 2005**. Dispõe sobre o Ordenamento do Uso e da Ocupação do Solo no Município de Campo Grande, e dá outras Providências. Campo Grande, 2005.

CAMPO GRANDE, MATO GROSSO DO SUL. **Sistema Municipal de Indicadores Georreferenciados para o Planejamento e a Gestão de Campo Grande/MS**. Campo Grande, 2010. Disponível em www.capital.ms.gov.br/sisgran. Último acesso em 05 de maio de 2011.

CARNEIRO, P.H.; *et al.* Estabilização de efluentes de sistema de tratamento de águas residuárias visando reuso.. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. **Anais do 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, CD-ROM, 12p.

CAVAZZANA, G.H.; *et al.* Identificação da cobertura de solo das Estradas Parque Pantanal. In: IV Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2005, Ribeirão Preto. **Anais de Resumos do IV SBEA. Ribeirão Preto**. CD-ROM.

COMPANIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Índices de qualidade das águas, critérios de avaliação da qualidade dos sedimentos e indicador de controle de fontes**. Apêndice B. São Paulo, 2008. Relatório Técnico.

COSTA, W. D. **Águas subterrâneas e o desenvolvimento sustentável do semi-árido Nordeste**. Brasília: Projeto Áridas-RH, SEPLAN/PR, 1994.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. Barcelona: Omega, 1983.

DANA, J.D. **Manual de Mineralogia**. Rio de Janeiro: Editora S.A., 1984. cap.5, p.359-363, 423-424, 558-564; cap.6, pag566-578.

DIAS, N. W.; *et al.* Caracterização do potencial hidrogeológico e histórico da utilização das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo. **Repositório Eletrônico do Departamento de Ciências Agrárias da UNITAU**. Taubaté, maio de 2004. Disponível em: http://agro.unitau.br:8080/dspace/bitstream/2315/60/1/Recarga_Dspace.pdf. Último acesso em 14 de abril de 2010.

FACINCANI, V.R. NARIYOSHI, M.A.; MENDES, W.W.S.; YOSHIMOTO, P.M. Metodologia para caracterização da qualidade da água distribuída na região metropolitana de São Paulo.- RMSP. **Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento**. V. 3, p. 113-120, n.2, 2001.

FERRAZ, R. de C. **Avaliação de sistema alternativo de proteção contra a corrosão em circuito de água de refrigeração**. Rio de Janeiro, 2007. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

GOLDEN Software Inc. **Surfer version 8**. Golden Inc. Colorada. October 2002.

GONÇALES, V.G.; GIAMPÁ, C.E.Q. (Ed.) **Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos**. São Paulo: Signus Editora, 2006.

GRADES, E. des A. **Modelling and Simulation of CO₂ Release in Multiple-Effect Distillers for Seawater Desalination**. Jordaniem, 2004. p 78-84. Dissertation (Doktor-Ingenieur). Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg in Tafilah.

GRANJEIRO, M.L.; *et al.* Razões iônicas e índices de Langelier e Larson no estudo hidrogeoquímico das águas subterrâneas no município de Quixeré – Ceará. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009, Campo Grande. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, CD-ROM, 16p.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL - ISA. **Abastecimento de água e esgotamento sanitário nas capitais brasileiras: Campanha de Olho nos Mananciais**. São Paulo, 2007. Disponível em: http://www.mananciais.org.br/upload_/abastesgotbrasilnov07.pdf. Último acesso em 26 de novembro de 2008.

LASTORIA, G. **Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul**. Rio Claro, 2002. 133p. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

MACROMEDIA In. **FreeHand version 9**. Macromedia Inc. San Francisco – California. February 2000. 1 CD-ROM.

McNEILL, L. S. **Water Quality Factors Influencing Iron and Lead Corrosion in Drinking Water**. Blacksburg, VA, USA, 2000. p 1-12. Dissertation (Doctor Degree in Civil and Environmental Engineering). Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.

MATO GROSSO DO SUL. IMASUL – INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. Sistema Interativo de Suporte ao Licenciamento Ambiental. Campo Grande, 2008. Disponível em: <http://sisla.imasul.ms.gov.br>. Último acesso em 05 de maio de 2011.

MATO GROSSO DO SUL. SEPLAN – SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL. **Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, 1990.

MATO GROSSO DO SUL. SEMAC – SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. **Plano Estadual de Recursos Hídricos Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande/MS: Editora UEMS, 2010.

MEDEIROS, J. F. de; *et al.* Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.469-472, 2003.

MORAIS, F de. **Produtividade e qualidade da água dos poços no meio fissural do Alto Vale do rio Moxotó – PE**. Recife, 2000. 118p. Dissertação (Mestrado em Geociências). Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 3.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

REBOUÇAS, A. C. Estágio atual dos conhecimentos sobre as águas subterrâneas do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v.2, n.1, p.1-10, 1980.

REBOUÇAS, A. C. 2001. Água e desenvolvimento rural. **Estudos Avançados**, São Paulo, vol.15, n.43, Sept./Dec. 2001. p.327-344. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142001000300024&lng=en&rm=iso. Último acesso: 14 de abril de 2010.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2002.

REBOUÇAS, A. C. **Uso Inteligente da Água**. São Paulo: Escrituras, 2004.

SILVA, M. da G. da; JOST, H. **Geologia e recursos minerais do Estado de Mato Grosso do Sul: texto explicativo dos mapas geológicos e de recursos minerais, escala 1:1.000.000**. Campo Grande, MS: SEPROTUR/MS, 2006. 121 p.

SILVA, A. de B. e. **Conectividade e compartimentação magnética-estrutural dos Sistemas Aquíferos Serra Geral e Guarani na região Central do Estado do Paraná**. Curitiba, 2007. 182p. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

SHINZATO, M.C.; MONTANHEIRO, T.J. JANASI, V. de A.; NEGRI, F. de A.; YAMAMOTO, J.K.; ANDRADE, S. Caracterização tecnológica das zeólitas naturais associadas às rochas eruptivas da Formação Serra Geral, na região de Piraju-Ourinhos (SP). **Revista Brasileira de Geociências**, vol.38, n.3, p524-532, 2008

TAHAL CONSULTING ENGINEERS LTD e EMPRESA DE SANEAMENTO DE MATO GROSSO DO SUL S. A. – SANESUL. **Relatório Final: Estudos Hidrogeológicos de Mato Grosso do Sul**. 736p. Campo Grande, 1998.

ANEXOS

ANEXO I: DADOS HIDROGEOQUÍMICOS DOS POÇOS ANALISADOS

Poço	Data da Coleta	Hora da Coleta	X (m)	Y (m)	Altitude (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m³/h)	Profundidade (m)	Temp. amostra (°C)	pH	Ca (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	STD (mg/L)	pHe	LSI	RSI	Aquífero	Região	OBS
CGR-002	26/jul/10	10:42:40	744649	7731437	542	485	479	18.6	115	26.3	7.70	14.0	62.0	90	8.6	-0.9	9.6	Serra Geral	Coophamat	
CGR-003	28/jun/10	10:43:54	751411	7738177	624	615	600	10.8	196	25.9	6.66	13.7	22.4	98	9.1	-2.4	11.5	Serra Geral	Monte Carlo	
CGR-005	05/jul/10	10:10:12	747716	7738098	548	529	516	39.3	114	25.6	6.68	19.9	72.6	154	8.4	-1.8	10.2	Serra Geral	Coophermat	C/ Cloração
CGR-006	05/jul/10	09:56:00	747689	7737245	544	532	515	41.0	111	25.7	6.52	18.7	57.0	90	8.6	-2.0	10.6	Serra Geral	Monte Verde	
CGR-007	05/jul/10	11:12:59	746675	7740219	611	587	529	13.2	160	25.7	6.75	31.2	64.3	192	8.3	-1.6	9.9	Serra Geral	Coophasul	
CGR-008	05/jul/10	10:59:22	746943	7740431	610	589	569	10.8	132	25.4	6.86	27.2	62.2	166	8.4	-1.5	9.9	Serra Geral	Coophasul	
CGR-011	23/jul/10	11:04:10	746480	7737166	582	564	550	27.6	99	26.1	7.30	16.3	43.2	116	8.7	-1.4	10.2	Serra Geral	Ipezinho	
CGR-013	23/jul/10	10:50:58	746701	7736167	576	562	551	36.0	140	26.0	7.20	18.3	49.5	118	8.6	-1.4	10.1	Serra Geral	Petengil	
CGR-015	23/jul/10	10:27:25	745757	7736788	569	563	543	36.6	150	25.8	7.52	6.5	42.2	70	9.1	-1.6	10.8	Serra Geral	Lar do Trabalhador	
CGR-017	26/jul/10	11:26:48	744009	7732101	540	530	521	18.6	150	27.0	6.63	12.0	37.0	162	8.9	-2.3	11.2	Serra Geral	Bonanza	
CGR-019	16/ago/10	10:00:34	751039	7730741	577	567	557	42.6	120	25.5	6.82	22.0	63.5	92	8.4	-1.6	10.1	Serra Geral	Coopharádio	
CGR-024	02/ago/10	11:13:06	742973	7727329	515	440	427	5.5	196	27.1	7.45	14.0	42.0	93	8.8	-1.3	10.1	Serra Geral	Coophavila II	
CGR-025	02/ago/10	11:29:48	742731	7727638	514	501	490	43.8	116	26.4	7.03	26.5	63.0	88	8.3	-1.3	9.6	Serra Geral	Coophavila II	
CGR-026	02/ago/10	11:21:24	742619	7727290	513	441	434	18.3	95	27.1	7.63	16.0	54.0	123	8.6	-1.0	9.6	Serra Geral	Coophavila II	
CGR-027	28/jun/10	11:17:47	750731	7737006	609	590	547	13.8	154	26.1	6.98						Serra Geral	Bancários	Parado, muitos sólidos	
CGR-028	23/jul/10	10:40:20	746527	7735870	568	560	546	48.0	100	25.8	7.70	11.4	47.4	80	8.8	-1.1	10.0	Serra Geral	Vila Alba	
CGR-032	23/jul/10	10:04:17	745357	7738589	588	571	557	12.3	100	25.5	7.31	25.7	68.5	220	8.4	-1.1	9.4	Serra Geral	Coophatrabalho	
CGR-033	23/jul/10	09:55:44	745449	7738536	590	572	548	20.0	120	25.1	7.14	20.0	70.6	145	8.5	-1.3	9.8	Serra Geral	Coophatrabalho	
CGR-034	23/jul/10	11:26:09	745386	7738396	593	577	555	28.4	120	25.2	7.38	26.5	72.7	89	8.3	-0.9	9.2	Serra Geral	Coophatrabalho	
CGR-036	10/ago/10	13:05:38	752460	7725043	584	578	554	13.8	150	25.9	6.40	17.0	66.0	88	8.5	-2.1	10.7	Serra Geral	Moreninha	
CGR-043	28/jun/10	10:05:00	750988	7740729	595	581	513	31.0	150	25.4	7.00	24.2	43.9	111	8.6	-1.6	10.1	Serra Geral	Estrela do Sul	
CGR-044	05/jul/10	11:54:29	744128	7740411	568	556	548	70.0	144	25.6	6.54	17.0	40.4	82	8.7	-2.2	10.9	Serra Geral	José Abraão	
CGR-046	05/jul/10	10:53:46	746853	7740869	615	586	582	7.8	145	25.4	6.75	13.8	47.7	76	8.8	-2.0	10.8	Serra Geral	Vila Nascer	
CGR-047	21/jun/10	17:44:20	753028	7739628	660	635	604	15.0	120	25.9	7.31	16.1	45.9	117	8.7	-1.4	10.1	Serra Geral	Mata do Jacinto	
CGR-048	28/jun/10	09:24:28	753293	7739490	658	630	589	9.0	134	25.8	7.18	14.9	49.0	130	8.7	-1.6	10.3	Serra Geral	Mata do Jacinto	
CGR-051	28/jun/10	09:34:47	752462	7740420	654	633	606	42.0	100	25.9	7.21	13.7	28.6	71	9.0	-1.8	10.7	Serra Geral	Nova Olinda	
CGR-061	10/ago/10	10:06:53	749997	7727645	515	511	482	27.6	70	25.7	6.68	16.0	48.0	89	8.7	-2.0	10.7	Serra Geral	Colibri	
CGR-063	02/ago/10	12:48:46	747963	7727719	506	432	428	8.4	120	25.5	7.55	19.0	53.0	93	8.6	-1.0	9.6	Serra Geral	Cohab	
CGR-065	26/jul/10	11:10:45	742744	7732378	534	531	516	26.0	150	26.1	6.74	9.0	36.0	104	9.1	-2.3	11.4	Serra Geral / Guarani	Buriti	
CGR-066	28/jun/10	09:08:44	753902	7735675	631	612	588	9.3	120	26.0	7.41	14.1	35.7	82	8.9	-1.5	10.3	Serra Geral	Cidade Jardim	
CGR-070	23/jul/10	11:56:41	745869	7734950	560	545	510	43.2	150	25.9	7.85	14.3	52.7	81	8.7	-0.8	9.5	Serra Geral	Taveirópolis	
CGR-072	23/jul/10	12:06:34	744860	7734145	542	535	489	21.3	150	25.4	7.17	18.3	55.9	63	8.6	-1.4	9.9	Serra Geral	Taveirópolis	
CGR-074	26/jul/10	10:20:03	747400	7733391	519	511	435	14.0	148	26.4	6.93	20.0	55.0	146	8.5	-1.6	10.2	Serra Geral	Hélio Macedo II	
CGR-075	26/jul/10	10:26:12	746982	7733119	516	507	489	70.8	150	26.9	6.53	16.0	42.0	158	8.8	-2.2	11.0	Serra Geral	Hélio Macedo IV	
CGR-078	28/jun/10	08:48:59	755359	7733845	602	596	582	37.0	120	25.2	7.22	17.0	47.9	80	8.7	-1.5	10.1	Serra Geral	Maria Aparecida Pedrossian	
CGR-079	10/ago/10	13:30:41	751546	7728721	566	547	531	30.0	100	25.7	6.75	51.0	69.0	107	8.0	-1.3	9.3	Serra Geral / Guarani	Pequena Flor	
CGR-083	15/jul/10	10:05:00	743422	7737560	548	541	522	30.0	120	25.5	7.82	18.3	63.0	81	8.5	-0.7	9.2	Serra Geral		
CGR-085	26/jul/10	10:58:54	742661	7732967	543	436	435	36.0	138	27.0	8.05	8.0	35.0	76	9.1	-1.1	10.2	Serra Geral / Guarani	União	
CGR-088	15/jul/10	10:47:00	743934	7739548	540	536	508	30.6	137	25.3	7.64	17.9	53.6	78	8.6	-1.0	9.6	Serra Geral		
CGR-089	16/ago/10	10:57:41	733879	7733901	531	503	489	12.6	168	25.3	7.52	7.8	40.0	47	9.1	-1.6	10.6	Serra Geral	InduBrasil	C/ Cloração
CGR-090	14/jun/10	12:02:58	753964	7743167	684	644	632	34.2	163	25.0	5.55	3.2	11.2	40	10.0	-4.5	14.5	Serra Geral	Nova Lima	Ex-Poço
CGR-091	21/jun/10	17:30:39	753369	7739264	657	638	633	15.0	168	25.9	5.23	3.2	9.2	56	10.1	-4.9	15.0	Serra Geral	Mata do Jacinto	
CGR-092	28/jun/10	10:26:14	749636	7740486	568	562	545	34.8	110	25.1	7.02	17.0	27.5	87	8.9	-1.9	10.8	Serra Geral	Otávio Pécora	
CGR-093	21/jun/10	16:37:20	756478	7739751	621	611	595	83.0	150	25.0	6.80	8.9	33.7	112	9.1	-2.3	11.5	Serra Geral	Novos Estados	Areieiro

- X e Y: Coordenadas Geográficas; NE: Nível Estático; ND: Nível Dinâmico; Q: Vazão; Ca: Concentração de Cálcio; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; LSI: Índice de Saturação de Langelier; RSI: Índice de Estabilidade de Ryznar.

Poço	Data da Coleta	Hora da Coleta	X (m)	Y (m)	Altitude (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m ³ /h)	Profundidade (m)	Temp. amostra (°C)	pH	Ca (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	STD (mg/L)	pHe	LSI	RSI	Aquifero	Região	OBS
CGR-094	21/jun/10	16:19:08	755164	7739764	656	627	580	13.0	150	26.0	6.86	21.7	53.0	141	8.5	-1.7	10.2	Serra Geral	Estrela Dalva	
CGR-100	02/ago/10	10:36:09	745585	7727893	518	484	455	22.8	100	27.2	8.04	16.0	47.0	60	8.7	-0.6	9.3	Serra Geral	Iraci Coelho Neto	
CGR-103	10/ago/10	13:40:06	751757	7728630	558	552	545	37.5	123	25.6	6.38	16.0	59.0	84	8.6	-2.2	10.8	Serra Geral	Rouxinóis	
CGR-108	05/jul/10	11:33:26	745988	7741179	604	590	587	24.8	120	35.3	6.62	18.7	67.4	110	8.3	-1.7	10.0	Serra Geral	Azaléia	
CGR-109	23/jul/10	09:02:24	753022	7739075	633	622	601	33.8	151	25.5	7.38	14.7	72.7	147	8.6	-1.2	9.8	Serra Geral	Parque do Sóter	
CGR-117	26/jul/10	09:52:38	746828	7730895	511	503	478	30.0	110	26.1	7.46	46.0	115.0	325	7.9	-0.4	8.3	Serra Geral	Pioneiros	
CGR-119	14/jun/10	09:26:41	754442	7744225	642	630	623	25.2	42	25.1	5.45	2.8	9.2	31	10.2	-4.7	14.9	Caiuá	Anachi	
CGR-121	02/ago/10	13:03:52	749784	7727607	516	511	496	11.5	66	26.1	6.87	14.0	58.0	176	8.7	-1.8	10.5	Caiuá / Serra Geral	Colibri	
CGR-130	26/jul/10	11:40:44	744736	7729708	513	462	442	40.0	150	28.8	8.20	16.0	58.0	124	8.6	-0.4	8.9	Serra Geral / Guarani	Aero Rancho	
CGR-131	02/ago/10	10:49:07	744600	7728958	496	426	423	67.0	162	28.4	8.12	15.0	51.0	120	8.7	-0.5	9.2	Serra Geral / Guarani	Aero Rancho	
CGR-135	02/ago/10	11:01:44	744238	7727730	491	430	424	31.2	120	29.9	7.93	18.0	55.0	110	8.5	-0.6	9.1	Serra Geral	Aero Rancho	
CGR-140	26/jul/10	09:30:17	749208	7730753	534	528	502	15.0	100	25.7	7.43	17.5	72.0	161	8.5	-1.1	9.6	Guarani	Residencial do Lago	
CGR-142	16/ago/10	09:48:52	752138	7731938	584	575	550	27.0	89	25.4	7.51	15.0	60.0	78	8.6	-1.1	9.7	Serra Geral / Guarani	Rita Vieira	
CGR-144	10/ago/10	12:27:53	752362	7724670	579	575	570	25.0	42	25.6	6.74	15.0	49.0	93	8.7	-2.0	10.7	Serra Geral	Cidade Morena	C/ Cloração
CGR-151	16/ago/10	12:02:22	753477	7733013	604	581	574	25.0	110	25.6	7.84	22.0	62.5	92	8.4	-0.6	9.0	Serra Geral	Itatiaia	
CGR-152	10/ago/10	11:01:06	749184	7725688	538	439	390	46.0	305	32.4	7.52	16.0	53.0	73	8.5	-1.0	9.5	Guarani	Centro-Oeste	
CGR-153	21/jun/10	16:04:29	755195	7737947	645	631	625	35.0	49	24.6	5.05	7.2	5.1	7	9.9	-4.9	14.8	Caiuá / Serra Geral	Parque dos Poderes	
CGR-154	28/jun/10	09:54:06	751498	7741234	608	599	577	6.5	48	25.1	6.31	19.4	38.8	119	8.7	-2.4	11.1	Serra Geral	Nascente do Segredo	
CGR-157	16/ago/10	12:12:32	753635	7734891	612	602	549	18.0	120	25.5	7.17	18.0	61.0	80	8.5	-1.4	9.9	Serra Geral	Dalva de Oliveira	
CGR-159	10/ago/10	12:19:12	752147	7724473	569	552	523	29.8	108	25.5	7.33	23.0	63.0	90	8.4	-1.1	9.5	Serra Geral	Sante Felicidade	C/ Cloração
CGR-160	02/ago/10	09:33:00	748699	7729749	551	422	382	372.0	412	29.5	7.45	18.0	59.0	131	8.5	-1.0	9.5	Guarani	Pioneiros	Poção
CGR-161	10/ago/10	11:19:09	748439	7725614	534	530	505	60.3	84	25.6	7.13	15.5	58.0	94	8.6	-1.5	10.1	Serra Geral	Centro-Oeste	
CGR-168	02/ago/10	13:19:29	744955	7724937	515	450	352	380.0	555	32.2	7.16	10.0	33.0	42	8.9	-1.8	10.7	Guarani	Dom Antonio	
CGR-169	15/jul/10	10:39:10	743477	7738812	527	405	385	54.4	309	29.5	7.89	15.5	52.5	100	8.6	-0.7	9.3	Guarani (intertrapp)		
CGR-170	05/jul/10	11:23:23	746261	7740404	610	416	250	204.0	638	35.1	7.94	18.3	68.4	75	8.3	-0.4	8.7	Guarani	Coophasul	Poção (Não submersa)
CGR-171	05/jul/10	11:43:08	745565	7740181	590	409	333	150.0	606	33.8	7.86	24.7	67.4	133	8.2	-0.4	8.6	Guarani	José Abraão	Poção (Submersa)
CGR-172	21/jun/10	17:55:39	754379	7740547	693	428	391	244.0	666	35.7	7.95	24.1	65.3	104	8.2	-0.2	8.4	Guarani	Mata do Jacinto	Poção (290m)
CGR-173	02/ago/10	09:56:41	749338	7729265	535	441	382	281.0	526	32.0	7.98	22.0	66.0	133	8.3	-0.3	8.6	Guarani	Pioneiros	Poção
CGR-174	23/jul/10	11:45:55	746347	7734855	559	427	282	240.0	606	34.3	8.09	23.6	68.5	92	8.2	-0.1	8.3	Guarani	Taveirópolis	
CGR-176	10/ago/10	12:44:36	753307	7725014	588	428	398	262.0	566	32.3	7.13	15.0	61.0	95	8.5	-1.4	9.9	Guarani	Moreninha	Poção
CGR-177	23/ago/10	09:40:20	786455	7730248	446	440	437	1.0	50	24.4	6.04	2.5	33.0	40	9.7	-3.7	13.4	Serra Geral	EEABI	
CGR-178	14/jun/10	10:21:45	753793	7744225	668	646	638	25.8	55	25.4	4.99	3.2	3.1	54	10.6	-5.6	16.2	Caiuá	Vida Nova 2	
CGR-179	14/jun/10	10:32:48	753510	7744611	671	648	644	10.8	55	25.1	5.16	0.8	3.1	20	11.4	-6.3	17.7	Caiuá	Vida Nova 2	
CGR-180	10/ago/10	10:25:01	749600	7727281	515	431	421	45.7	132	28.9	7.34	12.0	58.2	90	8.7	-1.3	10.0	Serra Geral	Mario Covas	
CGR-181	21/jun/10	17:06:24	754763	7739136	678	642	632	14.7	67	25.5	4.45	2.4	2.0	109	11.0	-6.5	17.5	Caiuá	Estrela Dalva	
CGR-182	14/jun/10	09:16:07	755101	7743813	640	622	612	18.6	40	24.9	5.60	8.1	10.2	118	9.7	-4.1	13.8	Caiuá	Columbia	
CGR-183	14/jun/10	09:39:42	753899	7745268	648	631	622	24.0		25.3	5.66	2.8	10.2	42	10.1	-4.5	14.6	Serra Geral	Anachi	
CGR-186	26/jul/10	10:03:43	747522	7733377	513	417	220	133.0	530	28.8	7.78	22.0	75.0	149	8.3	-0.5	8.9	Guarani	Salgado Filho	Poção
CGR-189	14/jun/10	09:00:01	755126	7743155	641	626	616	15.0	56	25.7	6.59	16.2	10.2	53	9.3	-2.8	12.1	Caiuá / Serra Geral	Dist. Ind. Norte	
CGR-191	10/ago/10	10:33:24	749912	7727216	520	430	425	48.0	128	29.8	7.21	12.0	48.0	62	8.7	-1.5	10.3	Serra Geral	Canguru	
CGR-192	02/ago/10	12:00:12	740774	7729888	532	515	484	13.5	100	25.1	8.50	10.0	32.0	39	9.1	-0.6	9.6	Serra Geral	Caiobá II	
CGR-194	26/jul/10	11:17:03	743328	7731698	528	445	439	19.8	127	27.1	7.68	10.0	41.0	86	8.9	-1.3	10.2	Serra Geral	Buriti	
CGR-197	14/jun/10	11:30:43	753314	7743377	695	649	638	20.1	68	25.2	4.55	1.6	2.0	74	11.2	-6.6	17.8	Caiuá	Nova Lima	
CGR-199	14/jun/10	10:02:43	753512	7744879	660	640	617	30.0	132	25.5	6.50	8.9	20.4	84	9.3	-2.8	12.2	Caiuá / Serra Geral	Vida Nova 3	
CGR-202	16/ago/10	11:04:38	733710	7733893	531	411	389	9.0	185	28.9	7.32	8.2	38.0	40	9.0	-1.7	10.7	Serra Geral	InduBrasil	C/ Cloração

- X e Y: Coordenadas Geográficas; NE: Nível Estático; ND: Nível Dinâmico; Q: Vazão; Ca: Concentração de Cálcio; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; LSI: Índice de Saturação de Langelier; RSI: Índice de Estabilidade de Ryznar.

Poço	Data da Coleta	Hora da Coleta	X (m)	Y (m)	Altitude (m)	NE (m)	ND (m)	Q (m ³ /h)	Profundidade (m)	Temp. amostra (°C)	pH	Ca (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	STD (mg/L)	pHe	LSI	RSI	Aquifero	Região	OBS
CGR-204	14/jun/10	09:51:03	752999	7744966	653	645	551	13.0	130	25.0	5.73	9.3	20.4	45	9.3	-3.6	12.9	Caiuá / Serra Geral	Tarsila do Amaral	
CGR-205	21/jun/10	15:51:26	754986	7737655	638	628	618	45.0	200	25.1	5.51	2.8	8.2	34	10.2	-4.7	15.0	Serra Geral	Parque dos Poderes	
CGR-207	28/jun/10	09:40:55	752349	7740640	654	638	604	14.0	67	25.3	7.28	14.9	56.1	77	8.7	-1.4	10.0	Caiuá / Serra Geral	Talismã	
CGR-208	28/jun/10	09:41:43	752343	7740664	654	632	578	5.4	150	25.8	7.06	14.1	44.9	68	8.8	-1.7	10.5	Serra Geral	Talismã	
CGR-209	05/jul/10	10:42:08	747901	7740920	590	578	558	40.0	120	25.4	6.74	16.2	45.6	86	8.7	-2.0	10.7	Serra Geral	Vila Marly	
CGR-210	26/jul/10	09:44:01	747246	7731032	515	513	474	63.0	96	26.1	7.56	22.0	71.0	154	8.4	-0.8	9.2	Serra Geral	Pioneiros	
CGR-213	21/jun/10	16:51:19	754882	7739512	664	402	353	228.0	653	38.8	7.99	27.4	63.2	87	8.1	-0.1	8.2	Guarani	Novos Estados	Poço (330m/Guarani)
CGR-214	14/jun/10	10:41:19	753343	7744539	674	649	617	13.2	95	25.3	7.10	16.6	42.8	108	8.7	-1.6	10.4	Serra Geral	Tarsila do Amaral	200 desativado - caiú
CGR-215	21/jun/10	15:38:47	755922	7736524	657	626	618	41.4	140	25.4	6.70	6.8	19.4	37	9.4	-2.7	12.2	Serra Geral	Chácara dos Poderes	C/ Cloração
CGR-216	16/ago/10	10:44:27	735268	7733533	531	520	408	18.0	228	25.2	6.83	7.0	26.5	51	9.3	-2.5	11.8	Serra Geral / Guarani	InduBrasil	
CGR-218	02/ago/10	12:10:07	741596	7729542	520	432	424	16.5	106	26.8	7.94	14.0	44.0	50	8.7	-0.8	9.6	Serra Geral	Caiobá II	
CGR-219	15/jul/10	10:27:13	742988	7738627	528	518	391	72.0	410	25.5	7.53	25.7	64.1	51	8.3	-0.8	9.1	Guarani		Poço Saguarana
CGR-220	23/ago/10	12:20:48	749950	7729422	528	410	397	102.0	280	30.7	7.75	24.5	85.0	86	8.2	-0.4	8.6	Guarani	Universitário	
CGR-221	23/ago/10	12:16:19	749934	7729404	529	411	398	102.0	282	30.3	7.57	24.5	84.0	112	8.2	-0.6	8.8	Guarani	Universitário	
CGR-223	10/ago/10	13:24:33	751051	7728667	568	418	398	74.7	282	30.4	7.71	27.0	95.0	151	8.1	-0.4	8.5	Guarani	Universitário	Mangueira e Bomba Inox, c/ cloração
CGR-224	21/jun/10	15:04:35	760371	7738468	691	617	601	22.2	106	25.0	5.10	4.4	7.1	22	10.1	-5.0	15.0	Caiuá	Chácara dos Poderes	Mangueira e Bomba Inox, c/ cloração
CGR-225	21/jun/10	15:09:06	760377	7738531	691	616	596	27.6	115	25.1	5.11	3.6	8.2	16	10.1	-5.0	15.1	Caiuá	Chácara dos Poderes	Mangueira e Bomba Inox, c/ cloração
CGR-226	14/jun/10	11:38:51	753375	7743356	694	652	622	18.9	78	25.4	4.70	6.5	3.1	170	10.3	-5.6	16.0	Caiuá /contato Serra Geral	Nova Lima	
CGR-227	14/jun/10	11:41:43	753404	7743318	695	648	632	42.0	82	25.5	5.29	4.0	4.1	80	10.4	-5.1	15.5	Caiuá /contato Serra Geral	Nova Lima	
CGR-228	14/jun/10	11:45:25	753356	7743303	695	648	632	18.0	79	25.5	4.91	2.8	3.1	58	10.7	-5.8	16.5	Caiuá /contato Serra Geral	Nova Lima	
CGR-229	23/jul/10	09:36:39	749212	7743388	630	623	604	33.0	136	24.6	7.68	13.4	47.4	40	8.8	-1.1	9.8	Serra Geral	Norte Park	
Rochedinho	23/ago/10	11:17:39	751845	7761805	649	597	592	11.4		25.7	7.32	33.0	99.5	141	8.1	-0.8	8.8		Rochedinho	
PRT-01	16/set/10	10:46:08	749254	7731408	549					26.7	7.05	21.0	77.0	116	8.4	-1.3	9.7		UFMS - Shopping	
PRT-02	16/set/10	11:00:00	748844	7731796	549					26.7	6.66	16.0	64.0	111	8.6	-1.9	10.5		UFMS - Reitoria	
PRT-03	16/set/10	11:21:40	748562	7730709	537					25.9	6.91	18.0	66.0	109	8.5	-1.6	10.1		UFMS - Química	
PRT-04	16/set/10	12:00:06	749535	7732987	570					26.8	7.64	28.5	92.0	167	8.2	-0.5	8.7		Ipacará - Rui Barbosa	
PRT-05	16/set/10	12:38:18	749373	7735669	556					26.3	6.50	23.1	75.0	185	8.4	-1.9	10.2		Rádio Clube Cidade	
PRT-06	04/out/10	18:21:24	749239	7733944	563					26.6	6.14	6.4	26.2	138	9.4	-3.2	12.6		Condomínio Rui Barbosa	

- X e Y: Coordenadas Geográficas; NE: Nível Estático; ND: Nível Dinâmico; Q: Vazão; Ca: Concentração de Cálcio; STD: Sólidos Totais Dissolvidos; LSI: Índice de Saturação de Langelier; RSI: Índice de Estabilidade de Ryznar.

ANEXO II: POÇOS NÃO COMTEMPLADOS NOS ESTUDOS DEVIDO AO NA SUPERIOR A 40 METROS, NÃO TENDO CONTRIBUIÇÃO DO SASG.

Poço	X (m)	Y (m)	NA (m)
CGR-002	744649	7731437	57
CGR-024	742973	7727329	75.5
CGR-063	747963	7727719	74
CGR-085	742661	7732967	107
CGR-090	753964	7743167	40
CGR-130	744736	7729708	51
CGR-152	749184	7725688	99
CGR-160	748699	7729749	129
CGR-168	744955	7724937	65
CGR-169	743477	7738812	122
CGR-170	746261	7740404	194
CGR-171	745565	7740181	181
CGR-172	754379	7740547	265
CGR-173	749338	7729265	94
CGR-174	746347	7734855	132
CGR-176	753307	7725014	160
CGR-177	786455	7730248	6
CGR-180	749600	7727281	84
CGR-186	747522	7733377	96
CGR-191	749912	7727216	90
CGR-194	743328	7731698	83
CGR-197	753314	7743377	46
CGR-202	733710	7733893	120
CGR-213	754882	7739512	262
CGR-220	749950	7729422	118.5
CGR-221	749934	7729404	118.5
CGR-223	751051	7728667	150
CGR-224	760371	7738468	74
CGR-225	760377	7738531	75
CGR-226	753375	7743356	42
CGR-227	753404	7743318	47
CGR-228	753356	7743303	46.7
Rochedinho	751845	7761805	52

- X e Y: Coordenadas Geográficas; NA: Nível D`Água.