



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GEOLOGIA**

VERÔNICA SANTOS BRITO

**VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DE
AQUÍFEROS NO MUNICÍPIO DE CAMPO FORMOSO – BAHIA**

Salvador
2013

VERÔNICA SANTOS BRITO

**VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DE
AQUÍFEROS NO MUNICÍPIO DE CAMPO FORMOSO –
BAHIA**

Monografia apresentada ao Curso de Geologia,
Instituto de Geociências, Universidade Federal da
Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. MSc. Danilo Heitor Caires Tinoco
Bisneto Melo

Co-orientador: Prof. Dr. Sérgio Augusto de Moraes
Nascimento

Salvador
2013

TERMO DE APROVAÇÃO

VERÔNICA SANTOS BRITO

VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DE
AQUÍFEROS NO MUNICÍPIO DE CAMPO FORMOSO -
BAHIA

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

Prof. MSc. Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo - Orientador
Instituto de geociências, UFBA

Prof. MSc. Hailton Mello da Silva
IGEO/UFBA

Prof. Dr. Cristovaldo Bispo dos Santos
IGEO/UFBA e CPRM

Salvador, 25 de março de 2013

A minha família fonte de apoio,
confiança e amor.

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar.

Aos meus pais Creusa Santos Brito e José Damasceno Brito pelo esforço, dedicação e apoio durante todos os períodos da minha vida.

À Antônio de Jesus Santos (in memoriam) - Voinho, pelo apoio e incentivo aos meus estudos.

Aos meus irmãos e sobrinhos.

Ao meu querido Companheiro Anderson Muniz, pela paciência, cuidado, dedicação e amor.

Às minhas meninas (Tila e Pita) pelo amor e carinho incondicional.

À Eduardo José Thomy Dultra (in memoriam) - grande amigo

Ao meu orientador Professor MSc. Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo pela oportunidade, orientação e empenho para a realização deste trabalho.

Ao meu co-orientador Professor Dr. Sérgio Augusto de Moraes Nascimento, pelas preciosas sugestões durante o trabalho;

A todos os professores da graduação em geologia da UFBA.

Aos funcionários do IGEO/UFBA.

Aos amigos e colegas dentro e fora do curso de geologia.

A Mário Jorge Gonçalves pela oportunidade de trabalhar e conhecer pessoas ilustres.

A COMIN (Coordenação de Mineração do INEMA):

- a Dr^a Lilia Macedo pela oportunidade de participar de uma Coordenação tão profissional e competente;

- sala 41 em especial aos técnicos: Dultra, Dora, Marcelo Costa, Antonieta, Leopoldo, Sérgio Nunes, Wilson Rossi, Flávia Dias, entre outros.

A todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para que este trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

A estimativa de vulnerabilidade natural de aquíferos é uma das principais tarefas a ser realizadas para o planejamento, controle e prevenção da qualidade das águas subterrâneas e criação de perímetros de proteção para as mesmas. Nesse estudo o método GOD foi aplicado para estimativa da vulnerabilidade natural dos aquíferos de Campo Formoso situado no centro-norte do Estado da Bahia. O método GOD utiliza como parâmetros o tipo de confinamento da água subterrânea, a litologia da zona vadosa e a profundidade do nível da água. Para a confecção do respectivo mapa, foram adotados como base o Mapa Geológico do Estado da Bahia e o Mapa de Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia (CPRM, 2010). Neste contexto, o Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e as Imagens de Satélites são ferramentas importantes, não somente na aquisição, mas também, no tratamento, na análise e na integração dos dados. A utilização de geoprocessamento apresenta-se como uma ferramenta útil na tomada de decisão, pois através de técnicas espaciais obteve-se o mapa de vulnerabilidade na escala 1:400.000 com delimitações de áreas conforme seu grau de suscetibilidade, além de extrapolar informações em locais sem dados. O método GOD, neste caso, mostrou-se válido para a área de estudo. Outros métodos de aquisição de vulnerabilidade de aquíferos devem ser utilizados e comparados os seus resultados para uma tomada de decisão melhor apoiada na gestão dos recursos hídricos subterrâneos do município de Campo Formoso. Vale salientar que para um mapa mais confiável e embasado, em qualquer método, dever-se utilizar um maior número de poços cadastrados com as informações imprescindíveis e mais completas possíveis para a confecção dos mapas temáticos criando parâmetros para atender cada tipo de aquíferos de acordo com a caracterização da área com trabalhos de campos em uma escala maior.

Palavras chaves: Vulnerabilidade; Aquífero; GIS

ABSTRACT

The estimation of natural vulnerability of aquifers is a major task to be performed for planning, control and prevention of groundwater quality and creating perimeters of protection for them. In this study the GOD method was applied to estimate the natural vulnerability of aquifers of Campo Formoso located in north-central Bahia State. The GOD method using as parameters the type of containment of underground water, the lithology of the vadose zone and the depth of the water level. To prepare the corresponding map, were adopted as the basis Geological Map of the State of Bahia and Domain Hydrogeologic Map of the State of Bahia (CPRM, 2010). In this context, Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS) and Satellite Images are important tools, not only the acquisition, but also in the processing, analysis and data integration. The use of GIS is presented as a useful tool in decision making, because through space techniques gave the vulnerability map in scale 1:400.000 with delimitation of areas according to their degree of susceptibility, and extrapolate information in places without data. The method GOD in this case proved valid for the study area. Other methods of acquiring vulnerability of aquifers to be used and compared their results to a decision supported by the best management of groundwater resources of the municipality of Campo Formoso. It is noteworthy that for a map more reliable and based on any method, it should use a greater number of wells registered with the essential and most complete information possible for the making of creating thematic maps parameters to suit every type of aquifers under characterization of the area with field work on a larger scale.

Keywords: Vulnerability; Aquifer; GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Fontes de contaminação que atingem as águas subterrâneas.....	15
Figura 2.2: Processos comuns de contaminação d'água subterrânea.....	16
Figura 2.3: Métodos para avaliar a vulnerabilidade de aquífero à poluição associado ao GIS, com destaque para o método GOD.....	17
Figura 2.4: Diagrama para aplicação do Método GOD.....	18
Figura 2.5: Representação esquemática da captação de dados por SR.....	21
Figura 2.6: Procedimentos adotados na determinação do índice GOD.....	22
Figura 3.1: Mapa de localização e situação da área de estudo.....	24
Figura 3.2: Precipitação média anual na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (1961 a 1990), com destaque da cidade de Campo Formoso.....	25
Figura 3.3: Mapa de localização das bacias hidrográficas e o município de Campo Formoso.....	26
Figura 3.4: Mapa de solos do município de Campo Formoso, Bahia	29
Figura 3.5: Esboço do Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais.....	33
Figura 3.6: Mapa geológico regional.....	34
Figura 3.7: Mapa Geológico da área de estudo.....	37
Figura 3.8: Mapa de Domínios Hidrogeológicos da área de estudo.....	43
Figura 4.1: Imagem Landsat 5 com poços plotados.....	47
Figura 4.2: Diagrama para aplicação do Método GOD.....	49
Figura 4.3: Mapa Temático do plano de informação G.....	52
Figura 4.4: Mapa Temático do plano de informação O.....	52
Figura 4.5: Mapa Temático do plano de informação D.....	53
Figura 4.6: Procedimentos adotados na geração dos mapas temáticos e o mapa de índice de vulnerabilidade de GOD.....	53
Figura 4.7: Mapa de índice de Vulnerabilidade de GOD.....	54
Figura 4.8: Mapa geológico com índices de vulnerabilidade plotados.....	55
Figura 4.9: Imagem de satélite com setores selecionados.....	56
Figura 4.10: Setor 1- Município de Campo Formoso.....	56
Figura 4.11: Setor 2 - Atividade minerária no município de Campo Formoso.....	57
Figura 4.12: Setor 3 - Atividade agrícola no município de Campo Formoso.....	57
Figura 4.13: Setor 4 - Atividade agrícola e pecuária no município de Campo Formoso.....	57
Figura 4.14: Setor 4 - Atividade agrícola e pecuária no município de Campo Formoso.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Métodos Mais Conhecidos.....	17
Tabela 2.2 - Classes de significância de vulnerabilidade, Método GOD.....	19
Tabela 4.1 - Informações utilizadas para interpolação dos dados.....	50

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS	13
2.2 TIPOS DE CONTAMINAÇÃO	15
2.3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS ..	16
2.3.1 O Método GOD	17
2.4 GEOTECNOLOGIAS.....	20
2.4.1 Sensoriamento Remoto.....	21
2.4.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG).....	22
2.4.3 Imagens de Satélites Landsat (TM).....	22
2.4.4 Justificativa para utilização do Método GOD.....	23
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	24
3.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	24
3.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	25
3.2.1 Clima	25
3.2.2 Hidrografia.....	26
3.2.3 Relevo	27
3.2.4 Solos	28
3.2.5 Vegetação	32
3.3 GEOLOGIA	32
3.3.1 Geologia Regional.....	32
3.3.2 Geologia Local	36
3.4 HIDROGEOLOGIA.....	42
3.4.1 Domínio das Coberturas Detríticas	42
3.4.2 Domínio dos carbonatos/metacarbonatos (calcários)	44
3.4.3 Domínio dos metassedimentos/metavulcanitos	44
3.4.4 Domínio do Embasamento Cristalino	44
4 METODOLOGIA.....	46
4.1 MATERIAIS.....	46
4.1.1 Carta Topográfica.....	46
4.1.2 Imagem de satélite LANDSAT 5-TM	46
4.1.3 Software	46
4.2 MÉTODOS.....	46
4.2.1 Sensoriamento Remoto.....	46
4.2.2 Aplicação do Método de GOD.....	49
4.2.3 Método de interpolação (Krigagem)	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
6 CONCLUSÃO.....	59
7 REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Mais de 97% da água do planeta é constituída pelos oceanos, mares e lagos de água salgada e a água doce, em sua maior parte, está situada nas calotas polares e geleiras, inacessível pelos meios tecnológicos atuais. Dessa forma, as águas subterrâneas vêm se constituindo em importante alternativa para abastecimento de comunidades rurais e urbanas, tanto para uso agrícola, quanto industrial (CAPUCCI *et al.*, 2001). Dados como estes destacam a importância dos mananciais subterrâneos, haja vista que, em termos quantitativos, a vantagem sobre os mananciais superficiais é indiscutível.

A exploração de água subterrânea no Brasil se intensificou nas últimas décadas, em virtude do aumento da demanda por água de boa qualidade, ajudado pelo fato das águas superficiais não estarem em condições de suprir as necessidades com a quantidade e qualidade exigidas.

Esse crescimento se deu muito devido a diversos fatores como a crescente urbanização, o aumento de áreas irrigadas, a implantação de empreendimentos minerários e parques industriais, além do favorecimento do avanço tecnológico na área de perfuração de poços.

Atualmente, uma das preocupações ambientais está voltada à preservação dos recursos hídricos e sua relação com as diversas atividades antrópicas as quais são potencialmente impactantes para esse recurso. Entre os diversos aspectos relacionados a esse tema, destaca-se a preocupação com a avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos à contaminação.

O termo “vulnerabilidade natural de um aquífero” pode ser definido como o primeiro passo para a avaliação da suscetibilidade do aquífero de vir a ser contaminado. Dependente de diversos fatores como geologia, geomorfologia, espessura da camada não saturada, recarga natural, escoamento superficial, exploração da água e outros.

Diversos métodos são utilizados para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos que, integrado com novas tecnologias, vem se tornando uma ferramenta de grande relevância contribuindo no desenvolvimento de estudos científicos.

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizada a carta topográfica de Campo

Formoso na escala 1:100.000 adquirida do IBGE, as imagens de satélites Landsat 5-TM adquiridas no banco de dados do INPE, Softwares como o Arcgis 9.3, Spring 5.2, o Surfer 9.0 e dados de poços do sistema SIAGAS do site da CPRM.

O texto está constituído em seis capítulos além da Introdução. O capítulo de Fundamentação Teórica aborda os conceitos e teorias que fundamentam a pesquisa, com subtítulos que tratam sobre a vulnerabilidade dos aquíferos, embasamento teórico das geotecnologias empregadas, método utilizado para obtenção dos resultados.

O capítulo de Caracterização da Área de Estudo limita a sua localização e seus aspectos climáticos, hidrológicos, geomorfológicos, pedológicos, vegetal, geológico regional e local e hidrogeológico.

O capítulo de Metodologia descreve os passos executados na confecção dos índices de vulnerabilidade, na confecção dos mapas temáticos e integração dos dados no SIG para a geração do Mapa de Vulnerabilidade.

O capítulo de Resultados e Discussões traz os resultados obtidos e as possíveis justificativas para os resultados alcançados.

O capítulo de Conclusão traz uma síntese dos resultados e as conclusões a partir da metodologia aplicada.

1.1 OBJETIVOS

Neste trabalho buscou-se aplicar o método GOD - G (tipo de aquífero), O (litologia da cobertura), D (profundidade da água) com o objetivo de avaliar a vulnerabilidade natural dos aquíferos tendo como base dados de poços tubulares existentes no município de Campo Formoso localizado no Centro Norte do Estado da Bahia, integrando técnicas de processamento digital de imagens obtidas por sensoriamento remoto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

Segundo Hirata (2001) o conceito de vulnerabilidade de aquíferos começou a ser usado inicialmente por Le Grand (1964), nos EUA, e Albinet & Margat (1970), na França, e mais amplamente nos anos 1980 por vários outros autores (Aller et al, 1985; Bachmat & Collin, 1987; Foster, 1987; Foster & Hirata, 1988).

Vrba & Zaporozec (1994) definiram a vulnerabilidade de um sistema hidrogeológico como sendo a “propriedade intrínseca do sistema que depende da sensibilidade desse mesmo sistema aos impactos humanos e ou naturais”. Esses mesmos autores distinguem a vulnerabilidade intrínseca (ou natural) da vulnerabilidade específica (ou integrada). A primeira é função dos fatores hidrogeológicos (características geológicas). A segunda é definida pelos impactos potenciais do uso específico dos solos e dos contaminantes associados a esse uso.

Para Nobre (2006) o conceito de vulnerabilidade intrínseca ou natural está atrelado a três importantes atributos que determinam a capacidade de proteção natural do aquífero: i) atenuação natural (processo natural de degradação de contaminantes presentes no solo e nas águas subterrâneas); ii) recarga (inputs de água para o subsolo); iii) e o transporte dos contaminantes no meio hidrogeológico.

De acordo com Auge (2004) têm surgido inúmeras definições, qualificações e metodologias sobre a vulnerabilidade dos aquíferos, entretanto, não há um consenso sobre o alcance do termo. Neste sentido existem duas grandes correntes: aqueles investigadores que consideram a vulnerabilidade como uma propriedade referente ao meio (vulnerabilidade intrínseca) e outros que consideram, além do comportamento do meio aquífero, a carga contaminante (vulnerabilidade específica).

Auge (2004) faz referência às inúmeras definições desde que se introduziu o termo vulnerabilidade da água subterrânea a contaminação.

A vulnerabilidade é definida como uma propriedade intrínseca do sistema de água subterrânea que depende da sensibilidade do mesmo aos impactos humanos e/ou naturais. Os autores incluem na definição, tanto o sistema subterrâneo como os

contaminantes, incluindo aí os naturais e artificiais. (VRBA e ZAPOROZEC, 1994). Os mesmos autores referem-se à vulnerabilidade específica como o perigo de contaminação da água subterrânea por um contaminante ou família de contaminantes com características e comportamentos similares, como por exemplo, nitratos, hidrocarbonetos leves e pesados, praguicidas, matéria orgânica e metais.

Custódio (1995) enfatiza que “a vulnerabilidade à poluição expressa a incapacidade do sistema de absorver as alterações, tanto naturais como artificiais.” Voltam a aparecer aqui processos naturais e/ou artificiais, como potenciais geradores de alterações.

O autor Carbonell (1993) destaca ainda que, a vulnerabilidade à contaminação é a tendência dos contaminantes a disseminar-se no sistema de águas subterrâneas, após serem derramados na cobertura superior do aquífero. Neste caso o autor considera somente a ação dos contaminantes.

U.S. EPA (1991) faz referência à vulnerabilidade subterrânea em relação a um agrotóxico como a facilidade com que o contaminante aplicado na superfície pode alcançar o aquífero em função das práticas agrícolas empregadas as características do agrotóxico e a susceptibilidade hidrogeológica. Esta definição incorpora além das condições do meio aquífero, as propriedades do contaminante e as práticas de cultivo (vulnerabilidade específica).

Alguns autores como Foster (1987) definem o risco de contaminação como “o perigo de perda da qualidade da água armazenada em um aquífero, pela existência real ou potencial de substâncias contaminantes em seu entorno”. Embora se referisse à susceptibilidade relativa dos aquíferos à contaminação antropogênica, o termo inicialmente era usado sem nenhum objetivo de definição formal. A expressão passou a ter diferentes significados para diferentes pessoas (FOSTER et al., 2006).

Deste modo, o conceito de vulnerabilidade é variável, com a definição de vulnerabilidade intrínseca estritamente associada às características naturais do aquífero; com outra definição de variabilidade mais ampla por agregar o atributo, uso e ocupação do solo. Portanto, ao se usar o conceito, deve-se precisar qual a definição que se está utilizando.

Basicamente a vulnerabilidade de um aquífero pode ser entendida em função de (Foster & Hirata, 1988):

- a) acessibilidade hidráulica da zona não saturada à penetração de contaminantes (advecção de contaminantes); e
- b) capacidade de atenuação da camada que cobre a zona saturada, resultado da retenção ou reação físico-química de contaminantes (dispersão, retardação e degradação).

2.2 TIPOS DE CONTAMINAÇÃO

A preocupação com a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos tem crescido ultimamente, devido aos diversos veículos de contaminação existentes no meio ambiente. A seguir serão citados alguns tipos de contaminações mais frequentes.

São elas: as contaminações por nitratos provenientes de esgotos domésticos nos centros urbanos; por aterros sanitários em centros urbanos; por vazamentos de postos de combustíveis; por agroquímicos em atividades agropecuárias; em indústrias de metais, madeira, alimentos, couro, produtos químicos e petroquímicos; contaminação por rejeitos de mineração; contaminação salina - natural, ou induzida em aquíferos costeiros e aquíferos do semiárido, dentre outras. As figuras 2.1 e 2.2 mostram formas generalizadas das fontes de contaminação em águas subterrâneas.

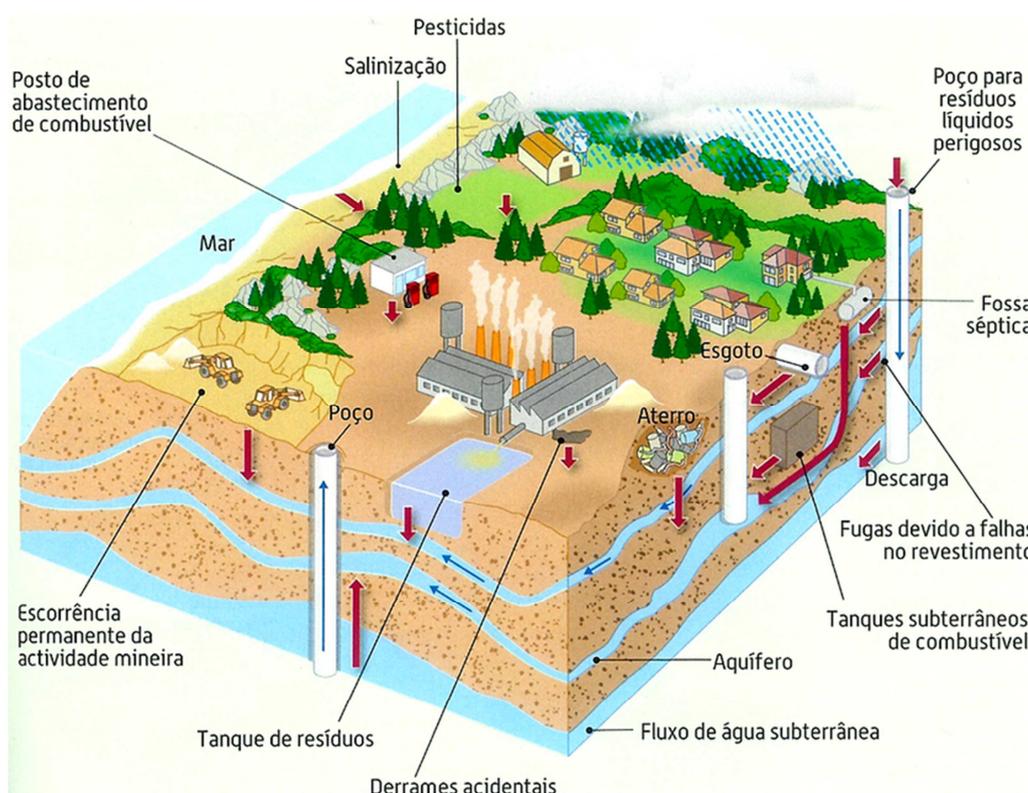


Figura 2.1: Fontes de contaminação que atingem as águas subterrâneas.
Fonte: Colégio 7 Fontes, 2012.

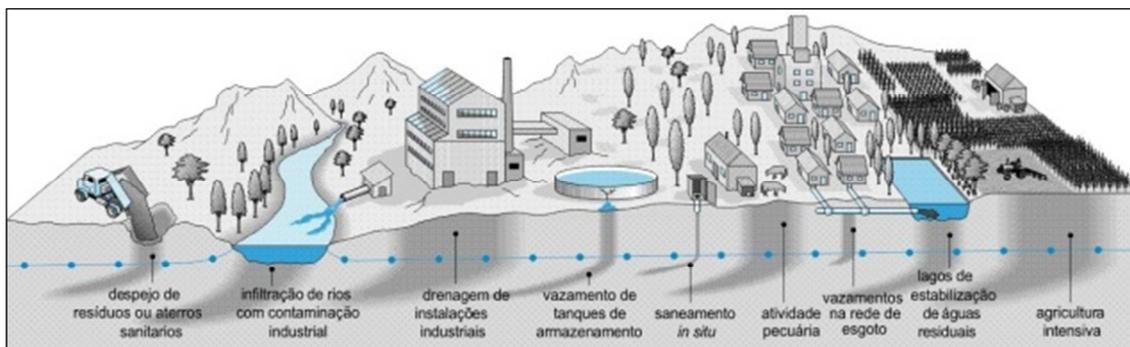


Figura 2.2: Processos comuns de contaminação d'água subterrânea. Adaptado de: Foster *et al.* (2006).

2.3 METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE DE AQUÍFEROS

Segundo Santos (2010), várias metodologias têm sido desenvolvidas para avaliação da vulnerabilidade de aquíferos à poluição. Elas apresentam, entretanto, diferentes concepções com respeito à definição de vulnerabilidade e são agrupadas em três principais categorias: 1) métodos empíricos de indexação ou superposição; 2) métodos determinísticos que empregam modelos de simulação baseados em processos físicos e 3) métodos estatísticos.

A Figura 2.3 mostra um fluxograma genérico com as três categorias de método (indexação, modelos de simulação e análise estatística) utilizadas na avaliação da vulnerabilidade de aquífero associado ao GIS, com destaque para o método GOD. Esse arranjo para o cálculo de vulnerabilidade transforma-se em importante ferramenta para a identificação de áreas vulneráveis à poluição.



Figura 2.3: Métodos para avaliar a vulnerabilidade de aquífero à poluição associada ao GIS, com destaque para o método GOD.

Segundo Artuso *et. al.*, (2004) os métodos empíricos de superposição ou indexação baseiam-se nas condições do solo e condições geológicas e

hidrogeológicas da área. Nesse grupo estão os modelos GOD, DRASTIC, AVI, SINTACS e IS.

Segundo Maia (2011), existe dezenas de métodos para avaliar a vulnerabilidade de aquíferos em todo o mundo. Somente para ilustrar, aqui são apresentados alguns métodos mais conhecidos, o objeto de sua avaliação, as variáveis utilizadas e suas respectivas referências (Tabela 2.1).

Tabela 2.1 Métodos Mais Conhecidos

Nº	MÉTODO	AVALIA	VARIÁVEIS	REFERÊNCIAS
1	$\Delta h.T'$	Vuln. em aquíferos semiconfinados	Potencial hidráulico e Transmissividade vertical	AUGE (2001), Argentina
2	IS	Vuln. geral	Profundidade da água, recarga, litologia, topografia e ocupação do solo	FRANCÉS <i>et al.</i> (2001)&PARALTA <i>et al.</i> (2001)
3	EPPNA	Vuln. geral	Características litológicas e hidrogeológicas	PLANO NAC. (PORT.) DA ÁGUA (1998)
4	EPIK	Vuln. em aquíferos cársticos	Carstificação superficial, Cobertura de proteção, Infiltração e rede cárstica	DOERFLIGER Y ZWAHLEM (1997)
5	Ekv	Vuln. Geral	Espessura da zona subsaturada e permeabilidade da zona subsaturada	AUGE (1995)
6	AVI	Vuln. Geral	Espessura da camada acima do aquífero e condutividade hidráulica	VAN STEMPVOORT (1993)
7	Saneamento em Situ	Vuln. a saneamento em situ	Tipo de aquífero, litologia da zona vadosa, profundidade e qualidade da água	FERREIRA & HIRATA (1993)
8	Sem nome	Vuln. Geral	Características litológica, permeabilidade e profundidade da água	ADAMS & FOSTER (1992)
9	SINTACS	Vuln. Geral	Prof. da água, tipo de solo, infiltração, aquífero, subsaturada, condutividade, topografia	CIVITA <i>et al.</i> (1990)
10	GOD	Vuln. Geral	Tipo de aquífero, litologia da zona vadosa, profundidade da água	FOSTER & HIRATA (1988)
11	Sem nome	Vuln. geral/fluxo pistão	Condutividade, prof. Água, umidade do solo e recarga real	MARCOLONGO & PRETTO (1987)
12	Potential Easte Sites (PWDS)	Disposição de resíduos sólidos	Vuln., confinamento, prox. da fonte, tipo e quant. do cont., veloc., zona saturada, percolação	BGS (NÃO DATADO)
13	Groundwater Vulnerability Map for Nitrate	Potencial de lixiviação de nitrato	Tipo de solo, caract. hidráulicas e litológicas do aquífero	CARTER <i>et al.</i> (1987)
14	DRASTIC	Vuln. Geral	Prof. Da água, recarga, aquífero, solo, topografia, impacto, cond. Hidráulica	ALLER <i>et al.</i> (1985)
15	Landfill Site Ranking	Aterros Sanitários	Dist. Aterro/poços, gradiente, permeabilidade e capacidade de atenuação	LE GRAND (1983)
16	Site Ranking Methodology	Disposição de resid. Sól. e líquidos	Receptor, população, uso água, prof. água, degradação, caminhos cont., pluv., perm. Solo, caract. resíduo, manejo e aspecto operacional e construtivo.	KULFS <i>et al.</i> (1080)
17	Waste Soil Iteration Matrix	Disposição de resid. Sól. e líquidos	Efeitos na saúde, caract. e comport. do produto, capac. de atenuação do solo, hidrog.caract. do local	PHILIPS <i>et al.</i> (1977)
18	Poluição dos Lençóis Aquíferos	Vuln. Geral	Geologia (litologia e estrutura)	TALTASSE (1972)
19	Site Ranking System	Disposição de produtos químicos	Solo, caract. hidrául., sorção e tamponam. químico, hidrodinâmica, ar, população	HARGERTY <i>et. al.</i> (1973)
20	Surface Impoundment Assessment	Disposição de águas servidas	Zona não saturada, importância do rec., qualidade da água, periculosidade do material	LE GRAND (1964)

Fonte: (Modificado de Maia, 2011).

2.3.1 O Método GOD

O método proposto por Foster (1987) se baseia na atribuição de índices entre 0 e 1 a 3 variáveis, cujas iniciais deram o nome ao mesmo e significam: G (ground

water occurrence - tipo de aquífero), O (overall aquifer class - litologia da cobertura), D (depth - profundidade da água). Exceto a profundidade da água que é medida, as outras variáveis são relacionadas com tipos litológicos e determinadas por meio de tabelas. Índice GOD = **G.O.D.**

Devido à simplicidade, a sua aplicação é indicada para trabalhos semi-regionais, escalas 1:100.000 a 1:500.000 e regionais, menores que 1:500.000, que normalmente são realizados com a finalidade de planejar a preservação e o uso adequado dos recursos naturais, em regiões relativamente extensas que envolvem milhares de km².

O diagrama abaixo reproduzido por Foster e Hirata (1991), mostra os procedimentos para qualificar a vulnerabilidade de um aquífero à contaminação. O produto dos três índices determina o grau de vulnerabilidade do aquífero. No diagrama de saída, a vulnerabilidade pode variar de 1,0 vulnerabilidade máxima, e 0,0 vulnerabilidade mínima (Figura 2.4). O produto dos três índices determina o grau de vulnerabilidade do aquífero (Tabela 2.2).

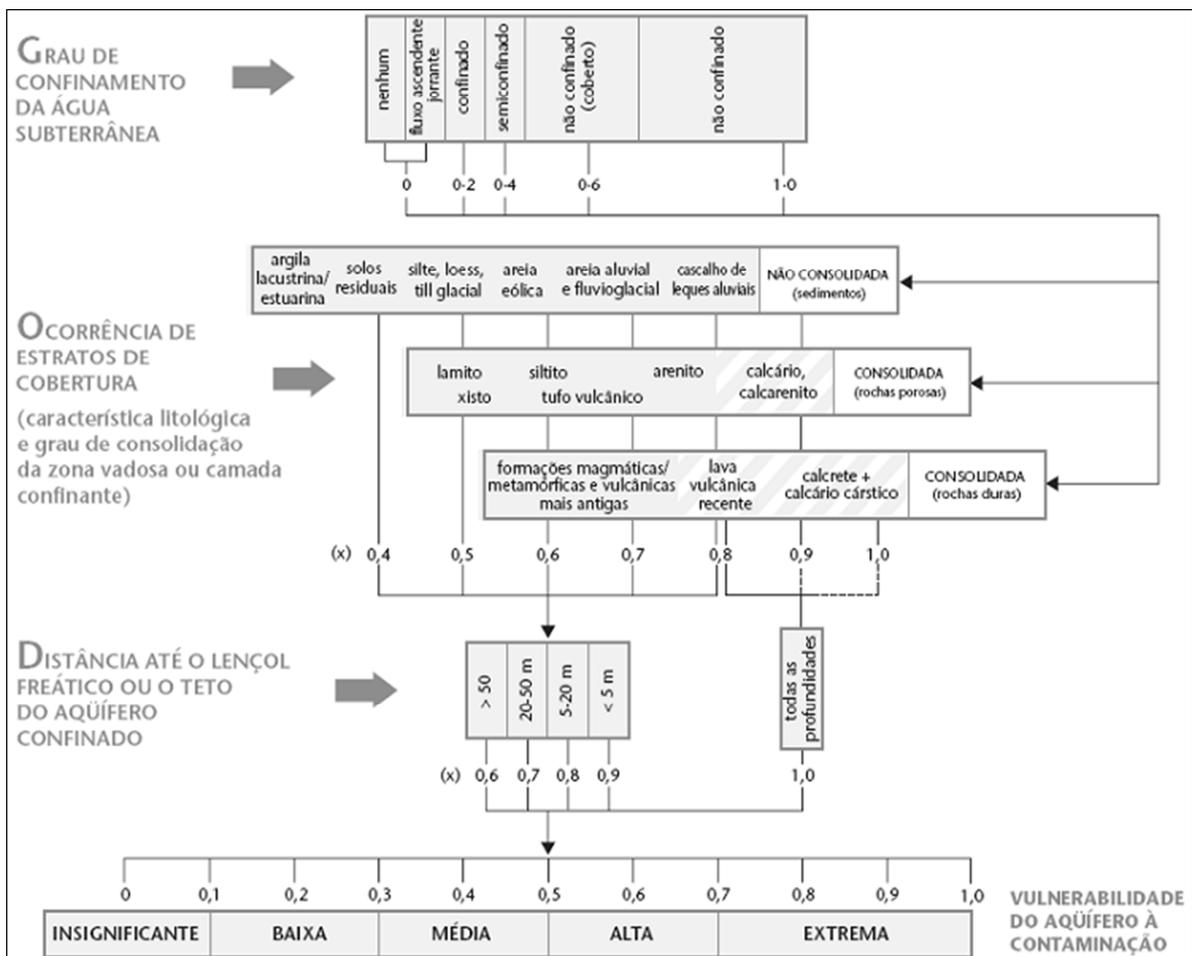


Figura 2.4: Diagrama para aplicação do Método GOD. Fonte: Foster & Hirata (1991).

Para o grau de confinamento da água subterrânea foi indexado a escala de 0,0 a 1,0. A especificação dos estratos de cobertura da zona saturada do aquífero é determinada em termos do grau de consolidação e pela característica da litologia de permeabilidade e a porosidade do solo da zona não saturada, levando a uma segunda pontuação, numa escala de 0,4 a 1,0. O último parâmetro estima a profundidade até o lençol freático, no caso dos aquíferos livres, ou a profundidade do primeiro nível principal da água, para aquíferos confinados, com uma classificação na escala de 0,6 a 1,0.

Tabela 2.2 Classes de significância de vulnerabilidade, Método GOD.

Intervalo	Classe	Características
0,0 -0,1	Insignificantes	Desconsidera a camadas confinantes com fluxos verticais descendentes não significativos.
0,1 – 0,3	Baixa	Vulnerável a contaminantes conservativos em longo prazo, quando continuamente e amplamente lançado.
0,3 – 0,5	Média	Vulnerável a alguns poluentes, mas somente quando continuamente lançado.
0,5 – 0,7	Alta	Vulneráveis a muitos poluentes, exceto aqueles muito pouco móveis e pouco persistentes.
0,7 – 1,0	Extrema	Vulnerável a muitos poluentes, com rápido impacto em muitos cenários de contaminação.

Fonte: Medeiros et al (2011) adaptado de Foster & Hirata (1988).

Segundo Auge (2004), sua maior vantagem é a simplicidade de operação e o pequeno número de parâmetros requeridos para sua aplicação, porém resulta em definições menos claras que o DRASTIC e o SINTACS. O fato de não considerar a incidência do solo, um fator de grande relevância como filtro natural para a contaminação, torna o método pouco eficiente.

Os princípios do método estão baseados em dois fatores hidrogeológicos de proteção do aquífero: a acessibilidade hidráulica à zona saturada e a capacidade de atenuação da zona não saturada. Somente o método GOD contempla parcialmente o tipo de aquífero em relação a seu comportamento hidráulico e o grau de consolidação. É um dos métodos mais práticos de ser aplicados porque requer poucos valores paramétricos.

O método GOD de avaliação da vulnerabilidade do aquífero à contaminação foi amplamente avaliado na América Latina e no Caribe durante a década de 1990 e, graças à sua simplicidade conceitual e de aplicação. Para determinar a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, são considerados dois fatores básicos:

o nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero e a capacidade de atenuação dos estratos de cobertura da porção saturada do aquífero.

Esses fatores, no entanto, não podem ser medidos diretamente e dependem, por sua vez, da combinação de outros parâmetros. Uma vez que geralmente não se dispõe de dados sobre muitos desses parâmetros, a simplificação da lista é uma medida inevitável se o objetivo é desenvolver um esquema de mapeamento da vulnerabilidade do aquífero à contaminação.

O órgão de recursos hídricos do Vale de Cauca, no Chile, fez um mapeamento da vulnerabilidade dos aquíferos à contaminação utilizando o método GOD. Foi introduzida uma modificação, sugerida originalmente pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Pontifícia Universidade Católica do Chile, que incorporava um fator S relativo à capacidade da cobertura do solo de atenuação dos contaminantes. (AUGE, 2004).

Auge (2004) também traz as seguintes considerações sobre a metodologia modificada, conhecida como GODS: consiste em atribuir os valores de S de acordo com as características da textura do solo, que varia de muito fina, predominantemente argilosa, a muito grossa, à maneira de cascalhos, apresentando áreas com mais de meio metro de espessura.

A Agência Ambiental da Inglaterra e do País de Gales, também incluiu um fator de solo em seu mapeamento da vulnerabilidade do aquífero. Este se baseia num conjunto de propriedades do solo que determinam a suscetibilidade à lixiviação, mas seu efeito limita-se a reduzir potencialmente o nível da vulnerabilidade mapeada nas zonas rurais, e não é considerado funcional nas áreas urbanas – onde a alteração dos perfis do solo provocada por obras de engenharia está em toda parte. (FOSTER, 1987).

2.4 GEOTECNOLOGIAS

Segundo Troleis (2012), entende-se por geotecnologias, como incluídas em algum âmbito, todas as ciências relacionadas com o conjunto das ciências de mapeamento e de análise do espaço geográfico, como a cartografia, a topografia, a geodésia, a aerofotogrametria, o sensoriamento remoto, o geoprocessamento, etc.

Neste contexto, o Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), as Imagens de Satélites, etc. são ferramentas importantes, não somente na aquisição, mas também, no tratamento, na análise e na integração de dados.

2.4.1 Sensoriamento Remoto

Consiste na medição ou aquisição de dados sobre um objeto ou cena a distância ou, mais especificamente, obtenção de informações sem entrar em contato direto com a área ou fenômeno sob investigação (IBGE, 2001).

Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2002).

Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. (MENESES et al., 2012). Ver figura 2.5 a representação esquemática de captação de dados por sensoriamento remoto.

Segundo o IBGE 2001, os tipos de sensores são classificados de acordo com: a sua fonte de energia (Passivos e Ativos), região espectral (Ópticos: refletivos e termais; Micro-ondas) e o seu sistema de captação dos dados (Fotográficos, eletroópticos e não-imageadores).

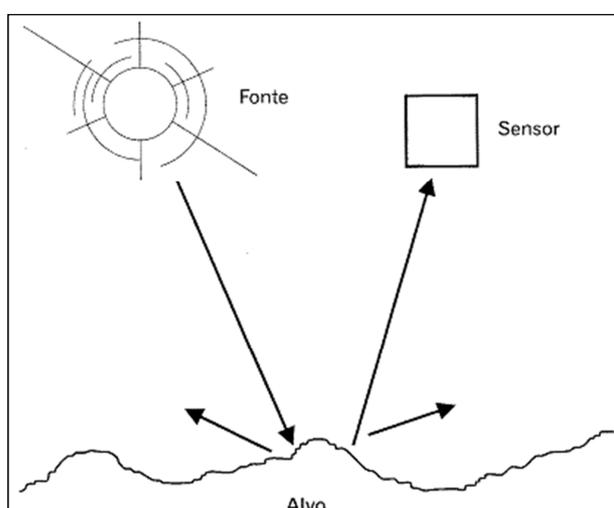


Figura 2.5: Representação esquemática da captação de dados por SR.

2.4.2 Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Os SIG são sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la.

A confecção dos mapas com índices de vulnerabilidade GOD segue os procedimentos adotados abaixo, podendo ser feito manualmente ou por meio de outra opção, cada vez mais utilizada, a tecnologia do SIG (Sistema de Informações Geográficas) (Figura 2.6).

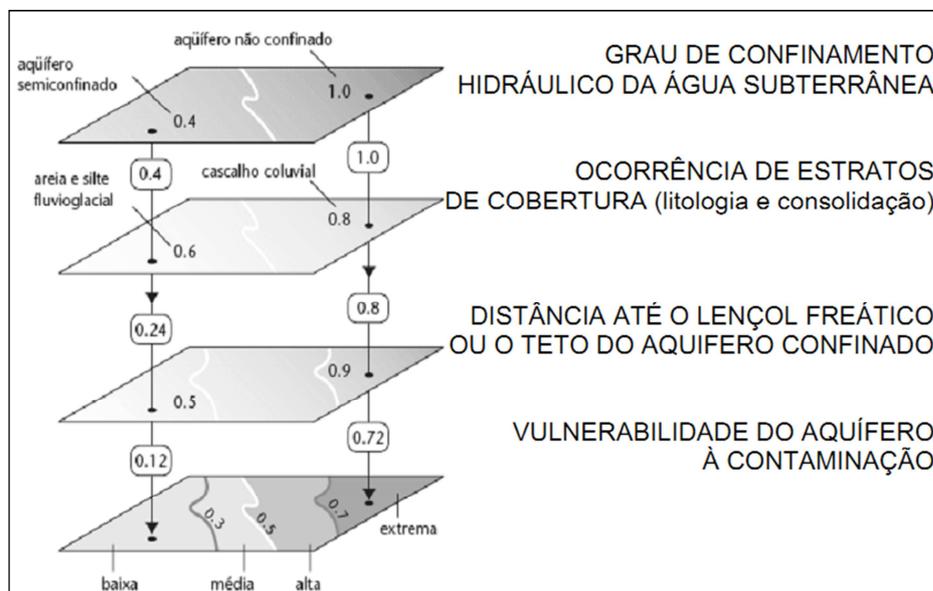


Figura 2.6: Procedimentos adotados na determinação do índice GOD
Fonte: Foster et al. (2006).

Foster et al. (2006) enfatiza que, na maioria dos casos, dispõe-se de mapas hidrogeológicos e/ou estudos de recursos hídricos subterrâneos, os quais geralmente contêm os dados básicos necessários. No entanto, com frequência é necessário suplementar essas informações com mapas geológicos, registros de perfuração de poços e, às vezes, com inspeção de campo.

2.4.3 Imagens de Satélites Landsat (TM)

As imagens de sensores remotos, como fonte de dados da superfície terrestre, são cada vez mais utilizadas para a elaboração de diferentes tipos de

mapas. No processo de interpretação os dados contidos em imagens são transformados em informação e apresentados em forma de mapas (FLORENZANO, 2002).

2.4.4 Justificativa para utilização do Método GOD

Este método possui como maior vantagem, a simplicidade de operação e o pequeno número de parâmetros requeridos para sua aplicação. Somente o método GOD contempla parcialmente o tipo de aquífero em relação a seu comportamento hidráulico e o grau de consolidação. É um dos métodos mais práticos de ser aplicados porque requer poucos valores paramétricos.

Esse tipo de metodologia de mapeamentos de vulnerabilidade de aquífero, generalizado e simplificado, vem sendo mundialmente desenvolvido de forma progressiva em áreas onde não existe informação suficiente ou dados adequados.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O município de Campo Formoso está situado na região Centro-Norte do Estado da Bahia, a uma distância aproximada de 413 km da Capital Salvador.

O acesso a partir de Salvador é feito através da rodovia BR-324 até a cidade de Feira de Santana, a partir de onde é adotada a BR-116, num pequeno trecho, onde retorna a BR-324 até a cidade de Capim Grosso, por onde se segue no sentido norte, através da BR-407 até a cidade de Senhor do Bonfim e, por fim, adota-se a BA-131 até a cidade de Campo Formoso, (Figura 3.1).

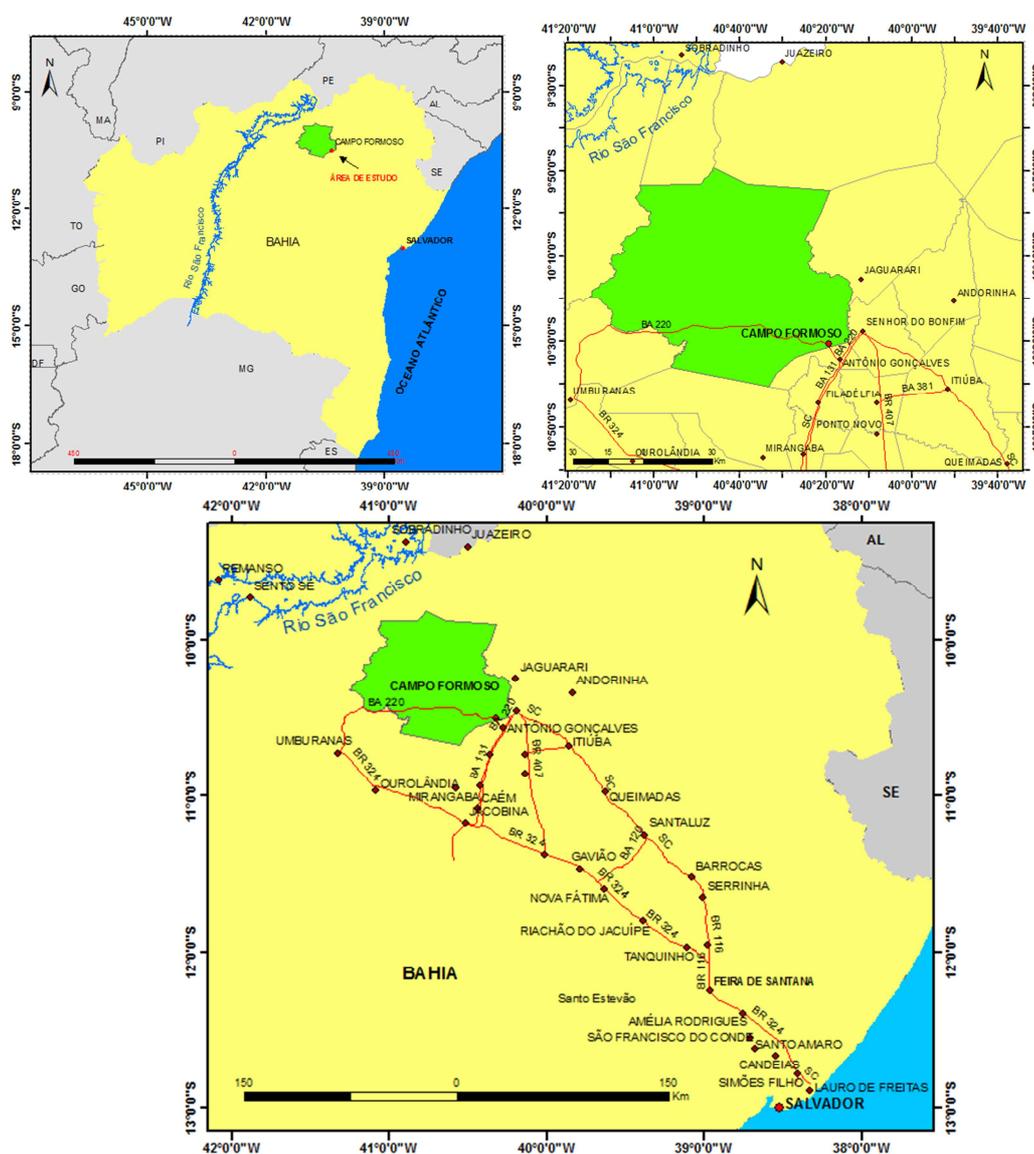


Figura 3.1: Mapa de localização e situação da área de estudo. Fonte: Modificado de CPRM, 2010.

3.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

3.2.1 Clima

O clima da região é caracterizado como semi-árido a seco e subúmido, com precipitações médias anuais variando entre 700 e 900 mm (BRASIL, 1981) e possui temperatura média anual de 24° C. A região faz parte do conhecido “Polígono das Secas” devido aos prolongados períodos de estiagem (Figura 3.2).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região pode ser considerado como Aw: Clima tropical úmido com inverno seco e BSwH: Clima semiárido, muito quente, com estação chuvosa no verão que se atrasa para o outono, podendo não ocorrer. A precipitação anual é normalmente inferior a 750 mm (AGEITEC, 2011).

Variações climáticas locais são provocadas pela grande diferença altimétrica entre as regiões serranas (mais elevadas) e as partes aplainadas (mais rebaixadas). Nas áreas de serras, o clima é do tipo subúmido, apresentando uma pluviosidade < 900 mm/ano. Nas zonas de pedimentos e aplainamentos e baixas encostas dos vales afluentes, com altitudes inferiores a 800 m, o tipo é seco a semi-árido (P= 700 a 800 mm/ano). Nas mais baixas altitudes, ou seja, na superfície de aplainamento o tipo é semi-árido (P<750 mm /ano).

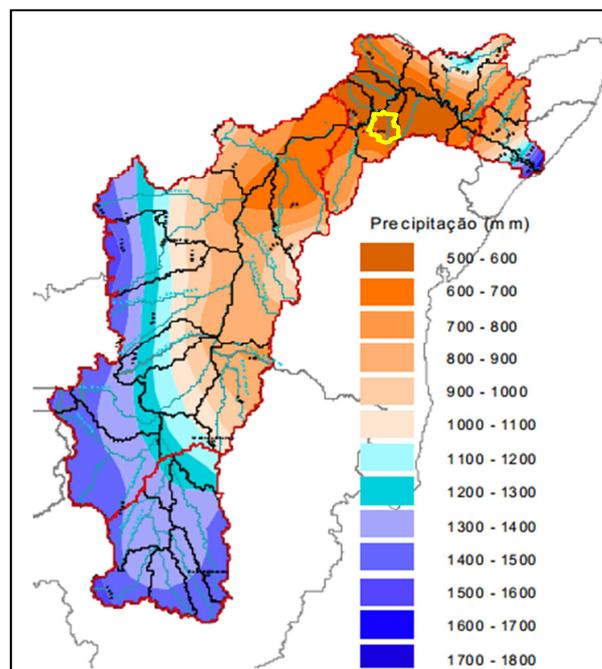


Figura 3.2: Precipitação média anual na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (1961 a 1990), com destaque da cidade de Campo Formoso.

Fonte: ANA/SPR e Programa de Ações Estratégicas – PAE (ANA/GEF/PNUMA/OEA)

3.2.2 Hidrografia

A área de estudo está inserida em menos de 40% do território na Bacia Hidrográfica do rio Itapicuru e em mais de 60% do seu território na Bacia Hidrográfica do rio Salitre que, faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (INEMA, 2013). Ver figura 3.3.

Os rios Açú, Itapicuru-Mirim, Rio do Peixe e Jacurici são os principais rios que integram a bacia do rio Itapicuru, sendo estes rios de regime perene. Os rios Vereda da Caatinga do Moura, Pacuí e Riacho Escurial agregam a bacia do rio Salitre.

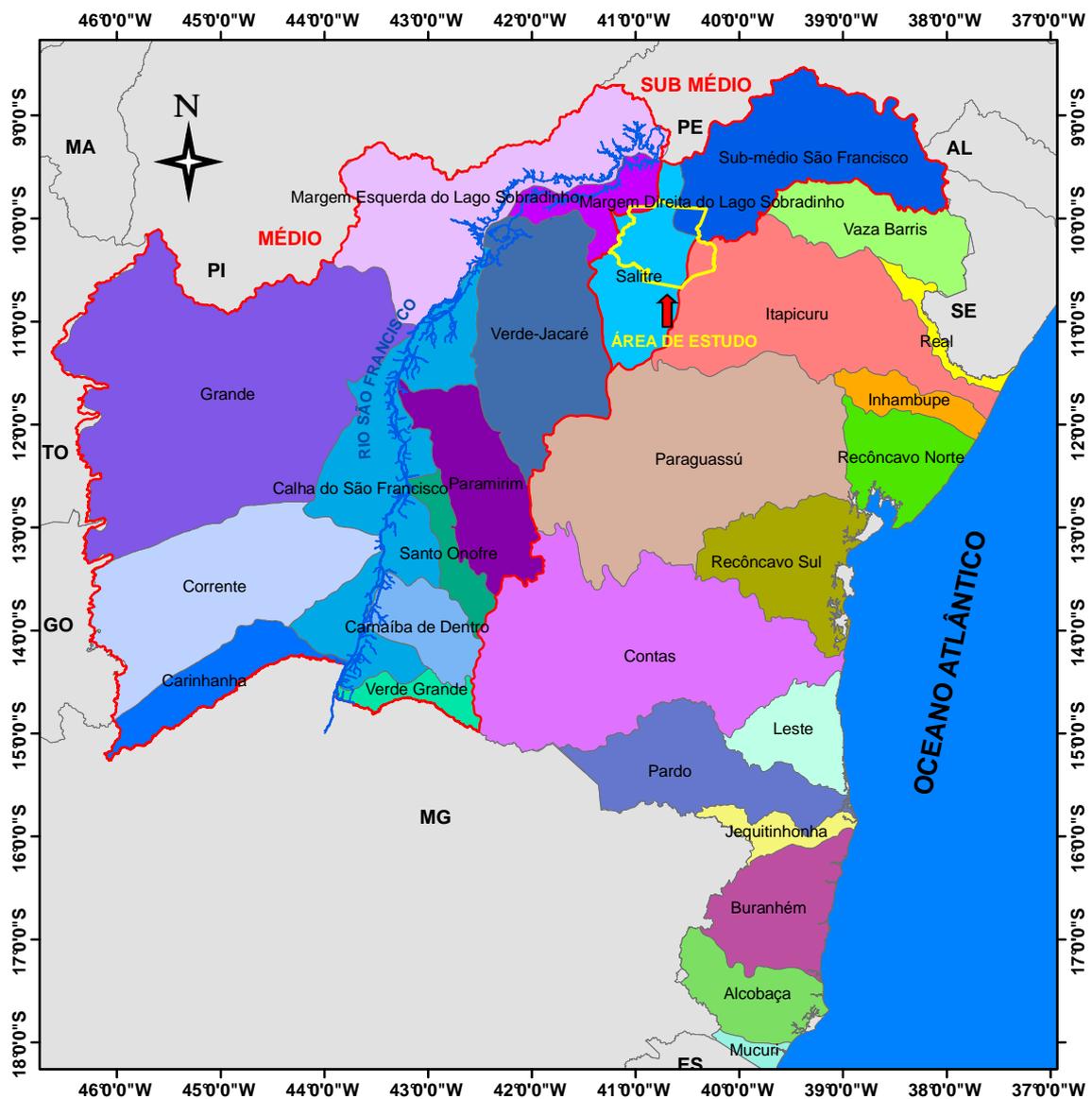


Figura 3.3: Mapa de localização das bacias hidrográficas e o município de Campo Formoso.
Fonte: ANA/SPR, 2004.

Segundo o GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (1995), o embasamento arqueano, o complexo metamórfico de Jacobina, o complexo vulcano-sedimentar Uauá-Serrinha, o Grupo Chapada Diamantina, a bacia sedimentar de Tucano, bem com as coberturas terciárias e quaternárias são as principais estruturas geológicas, de caráter regional, presentes na bacia do rio Itapicuru, sendo esta considerada bastante heterogênea em relação à sua geologia.

A temperatura média anual na bacia do rio Itapicuru é de 24°C, variando ao longo do ano a mais baixa 21,3°C em julho e nos meses de novembro a janeiro atingindo 25,5°C sendo as médias mais altas do ano.

O clima na bacia varia em relação à posição geográfica. Sendo que predomina o clima semi-árido em 81% da área, com chuvas anuais inferiores a 700 mm. Na parte superior da Região, já na Chapada da Diamantina, o clima torna-se mais ameno mudando para o tipo subúmido a seco, com os totais pluviométricos atingindo até 900 mm. No trecho inferior da bacia do Rio Itapicuru o clima muda para o tipo úmido a subúmido com precipitações variando de 1000 até 1400 mm/ano.

Segundo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado da Bahia – INEMA a bacia do rio Salitre tem sua maior parte pertencente ao compartimento de relevo das depressões periféricas e interplanálticas, entre o planalto de Irecê e a Serra de Jacobina, onde predomina a vegetação de Caatinga entremeada por pastagens e áreas com agricultura de subsistência.

Segundo o Plano Decenal da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (2004) a temperatura média é de 27°C, o trimestre mais chuvoso é de novembro a janeiro, contribuindo com 53% da precipitação anual, enquanto o período mais seco é de junho a agosto.

O clima predominante na bacia é semi-árido a árido, com precipitações variando de 800 mm/ano a 350 mm/ano.

3.2.3 Relevo

O relevo na área de estudo apresenta-se bastante variado, apresentando características morfológicas que se devem basicamente à heterogeneidade do conteúdo litogeológico (BRASIL, 1981) onde são observados 3 diferentes formas de relevo:

Relevo aplainado a ondulado com altitudes entre 500 e 700 metros, que corresponde aos terrenos gnáissico-migmatíticos do Complexo Saúde, em contraste com os contrafortes do Complexo Itapicuru e do Grupo Jacobina.

O relevo correspondente ao Complexo Itapicuru apresenta altitudes elevadas chegando a 800 m, representados pelas serras sustentados pelos quartzitos em seus topos (Serra da Lajinha, Serra do Pateiro, Serra da Mangabeira e Serra do Mocó).

A última forma de relevo é representada pelas planícies aluvionares, a sua origem está relacionada ao intemperismo físico proporcionado pelos rios e canais de drenagens. Nas épocas de cheia dos rios, predomina o modelado de acumulação, sendo desenvolvidas nas várzeas susceptíveis à inundações em épocas de chuva e ao longo das drenagens perenes, quando estas atingem um nível de energia mais baixo.

3.2.4 Solos

As características e as descrições dos solos do município de Campo Formoso foram realizadas com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006 apud INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2007).

De acordo com a (CPRM, 2010), foram identificadas localmente as seguintes classes de solos: argissolo vermelho-amarelo distrófico, argissolo vermelho-amarelo eutrófico, cambissolo háplico eutrófico, latossolo vermelho-amarelo distrófico, neossolos litólicos distróficos, neossolos litólicos eutróficos, neossolos regolíticos eutróficos, planossolo háplico eutrófico solódico (Figura 3.4).

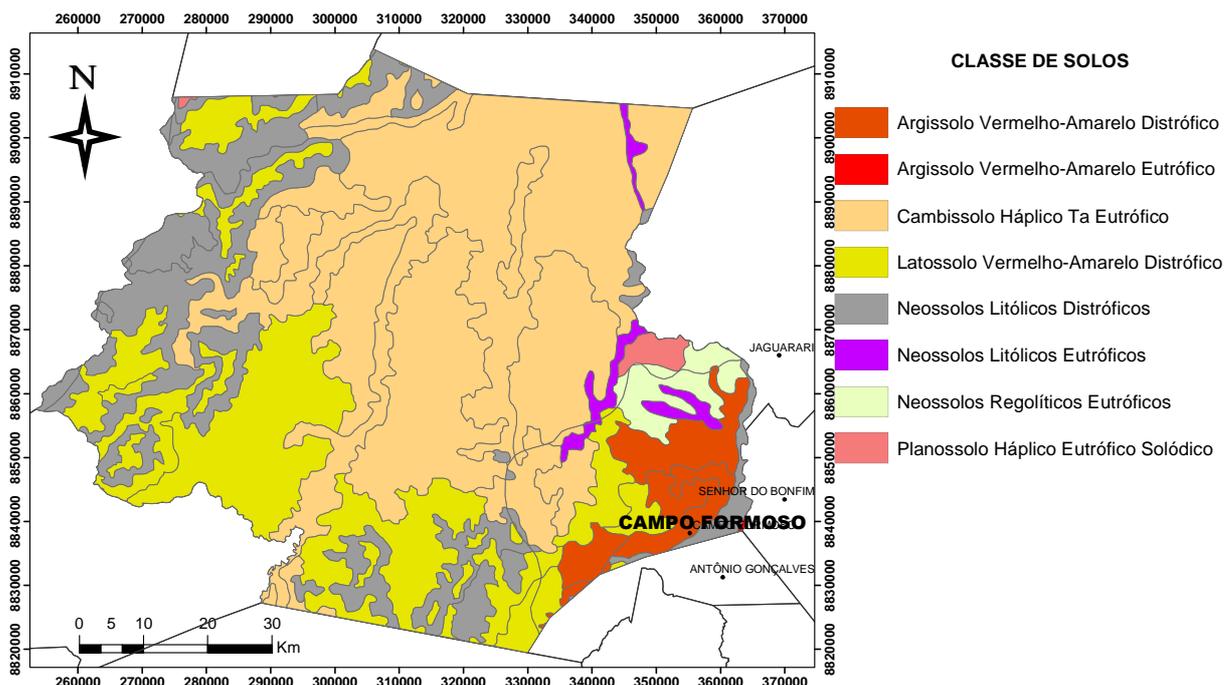


Figura 3.4: Mapa de solos do município de Campo Formoso, Bahia. Fonte: CPRM, 2010.

Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico

Esse tipo de solo possui como característica principal a presença de um horizonte B textural (Bt). Esse horizonte é formado pela movimentação de argila dos horizontes superiores para os inferiores. Como consequência, os horizontes acima do Bt ficam com teores menores de argila e maiores de areia. A coloração pode ter tons avermelhado e amarelado. Eles são menos profundos que os Latossolos. Os Argissolos tendem a ser mais férteis que os outros solos do Cerrado. Encontra-se associados aos Granitos calcialcalinos de alto K, peraluminosos, tardi a pós-tectônicos.

Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico

Ocorre na porção sudeste da área, relacionados às litologias do Complexo Itapicuru. Estes solos aparecem associados a áreas de relevo plano a suavemente ondulado, correspondendo a solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural e saturação de bases superior a 50% são solos de fertilidade alta.

Cambissolo Háptico Ta Eutrófico

Estes tipos de solos apresentam, na região, um matiz avermelhado, textura argilosa ou muito argilosa, rasos a moderadamente profundos e bem a moderadamente drenados.

Estudos realizados por Cunha, et al. (1999), neste tipo de solo na região de Irecê, apontam para o desenvolvimento deste solo sobre rochas calcárias que apresentam mergulhos de camadas sub-verticais. Estão associados às litologias das formações Caatinga e Salitre.

Destacam-se como os solos mais importantes sob o ponto de vista de utilização e extensão da região. Por apresentarem alta fertilidade natural e um relevo que favorece o uso de máquinas agrícolas, são os solos mais cultivados da área.

Latossolo vermelho amarelo distrófico

O relevo onde ocorre é predominantemente plano ou suave ondulado, morfologicamente apresenta cor amarelada homogênea em profundidade, e pode apresentar textura média ou argilosa ou muito argilosa. Por ser profundo poroso ou muito poroso. Estão associados aos arenitos das formações Tombador e Morro do Chapéu e aos sedimentos detrito-lateríticos.

São solos profundos ou muito profundos de textura muito argilosa a argilosa. Apresentam normalmente relevo plano e suave ondulado, ocorrendo também como relevo ondulado, forte ondulado e montanhoso. A baixa fertilidade natural inibe o uso deste tipo de solo para a agricultura.

Neossolo Litólico Distrófico

São solos jovens, em início de formação com horizonte A ou hístico, assentados diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matações), que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo. Tem saturação por bases baixa ($V < 50\%$).

Ou seja, são solos que apresentam pouca profundidade, além de ocorrerem em áreas de relevo fortemente ondulado a íngremes, o que lhes conferem as classificações como não irrigáveis.

Neossolos Litólicos Eutróficos

Solos pouco desenvolvidos, rasos ou muito rasos com horizonte A ou hístico, assentados diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões), que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, porém incipiente. Esses solos têm saturação por bases alta ($V \geq 50\%$).

Neossolos Regolíticos Eutróficos

Solos com contato lítico a uma profundidade maior que 50 cm e horizonte A sobrejacente a horizonte C ou Cr, admitindo horizonte Bi com menos de 10cm de espessura. Apresentam 4% de minerais primários alteráveis na fração areia total e/ou no cascalho ou 5% de fragmentos de rocha semi-intemperizada, saprolito ou fragmentos formados por restos da estrutura orientada da rocha que originou o solo. Solos com saturação por bases alta ($V \geq 50\%$).

Planossolo Háptico Eutrófico Solódico

São solos com feições associadas à umidade em face da drenagem imperfeita decorrente da situação topográfica baixa (relevo plano), permitindo um excesso de umidade durante o período de chuvas, sobre material rochoso, compactado ou argiloso e sob condições climáticas que, conjuntamente, resultam numa superfície sujeita à alternância de umedecimento e secagem (Oliveira et al., 1992).

Essas características somadas às anteriormente citadas atribuem a esses solos sérias limitações físicas, que impedem até mesmo a prática da irrigação, visto serem rasos e possuírem considerável teor de Na^+ na parte subsuperficial dos perfis, cuja tendência é aumentar, caso a irrigação não seja bem conduzida (Jacomine, 1996).

O relevo onde esses solos se inserem é do tipo ondulado, promove-se o desencadeamento de processos erosivos do tipo laminar, e o solo se desmancha facilmente pelos sulcos. Tal susceptibilidade impõe a esses solos procedimentos de práticas agropecuárias que sejam compatíveis com a sua preservação. Entretanto apresentam elevada fertilidade natural para uso agrícola (Oliveira, 2005).

Ocorre associados aos Granitos calcialcalinos de alto K, peraluminosos, tardi a pós-tectônicos.

3.2.5 Vegetação

A vegetação da região representa uma zona de transição entre a caatinga e o cerrado. Varia desde o contato caatinga-floresta estacional, até o cerrado-caatinga e cerrado-floresta estacional.

A caatinga é constituída por um tipo de vegetação estacional decidual e lenhosa, com espécies de plantas xerófitas, espinhentas, cactáceas (cactos e bromélias) eventualmente gramíneas, segundo o projeto BRASIL (1981). Em geral variam de gramíneas, arbustos e árvores de pequeno porte abertas a densas.

O cerrado é composto por uma vegetação rala e rasteira, descrita como herbácea entremeada por plantas lenhosas de pequeno porte, ocupando grandes porções nas regiões dissecadas e no alto das serras.

A floresta estacional constitui a vegetação típica do bioma da Mata Atlântica e é caracterizada por duas estações climáticas bem marcadas uma seca e outra chuvosa. Na época de seca, este tipo de vegetação tende a perder parte da folhagem. É dividida em dois grupos: 1- Floresta estacional decidual e 2- Floresta estacional semidecidual. Na primeira, a taxa de perda de folhagem na estação seca encontra-se entre 20 e 50%. No segundo grupo essa taxa é superior a 50%.

3.3 GEOLOGIA

3.3.1 Geologia Regional

A geologia da região em questão está inserida no contexto do Cráton do São Francisco, o qual abrange os estados da Bahia e Minas Gerais, constituindo-se a

unidade tectônica do embasamento da plataforma sul-americana mais bem exposta e estudada (BARBOSA & SABATÉ, 2003). Esta unidade evoluiu a partir de eventos tectônicos que se iniciaram no Arqueano e foi estabilizada no final do paleoproterozóico (ALMEIDA 1977). O evento orogênético foi responsável pela amalgamação de quatro paleocontinentes que o integram - Bloco Gavião, Bloco Jequié, Bloco Serrinha, encerrando o paleoceanos Itabuna-Salvador-Curaçá – (Barbosa & Sabaté, 2003), e que teve os seus limites redefinidos pela orogênese Brasileira, cujas faixas móveis apresentam-se contornando-o (Figura 3.5).

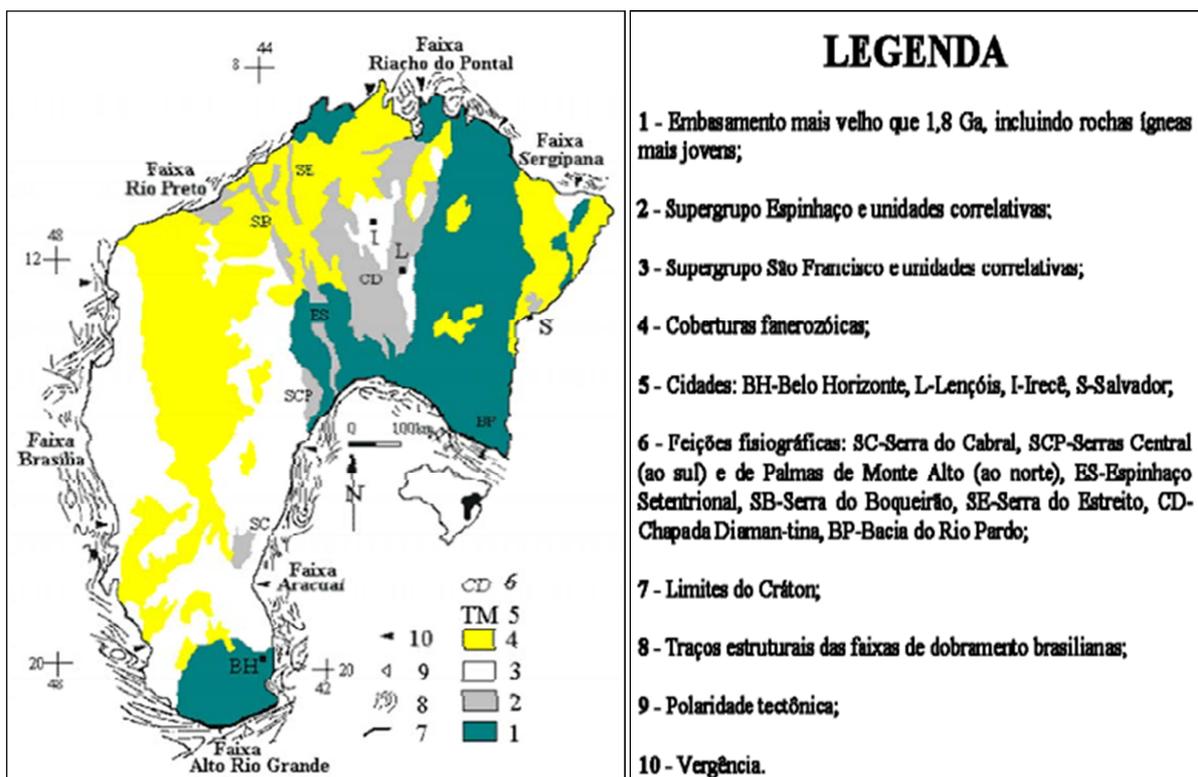


Figura 3.5: Esboço do Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais. Modificado de Alkimin et al. (1996).

A colisão de placas supracitada promoveu a estruturação de um grande lineamento, denominado Lineamento Contendas-Jacobina, o qual se estende por mais de 600 km, aproximadamente N-S, sendo interpretados como uma geossutura que limita os blocos arqueanos envolvidos no evento.

Nele distinguem-se três grandes conjuntos de rochas pré-cambrianas: o Supergrupo São Francisco e o Supergrupo Espinhaço, que representam coberturas plataformais dobradas neoproterozóicas e mesoproterozóicas, respectivamente, e a associação Pré-Espinhaço, de idade arqueana-paleoproterozóica, que constitui o embasamento do cráton. Nestas regiões ocorre um grande lineamento, denominado

de Lineamento Contendas–Jacobina, trata-se de um lineamento estrutural submeridiano com cerca de 500 km de comprimento, que separa os segmentos crustais correspondentes aos blocos de Jequié, a este, e o bloco Gavião ou Lençóis, a oeste. Essa feição estrutural registra o Evento Colisional Transamazônico entre os referidos blocos crustais (SAMPAIO, 1995). Conforme Sampaio, (2001) as unidades geotectônicas que integram a geologia da área de estudo estão representadas pelo Bloco Gavião, pelo Cinturão Salvador–Curaçá, Cinturão Jacobina–Mundo Novo, estando agrupados nesta última o Grupo Jacobina e o Greenstone Belt de Mundo Novo do Complexo Itapicuru. Completa a geologia da área o Complexo Saúde, a Formação Capim Grosso e os Sedimentos Quaternários, como mostra o mapa geológico regional (Figura 3.6).

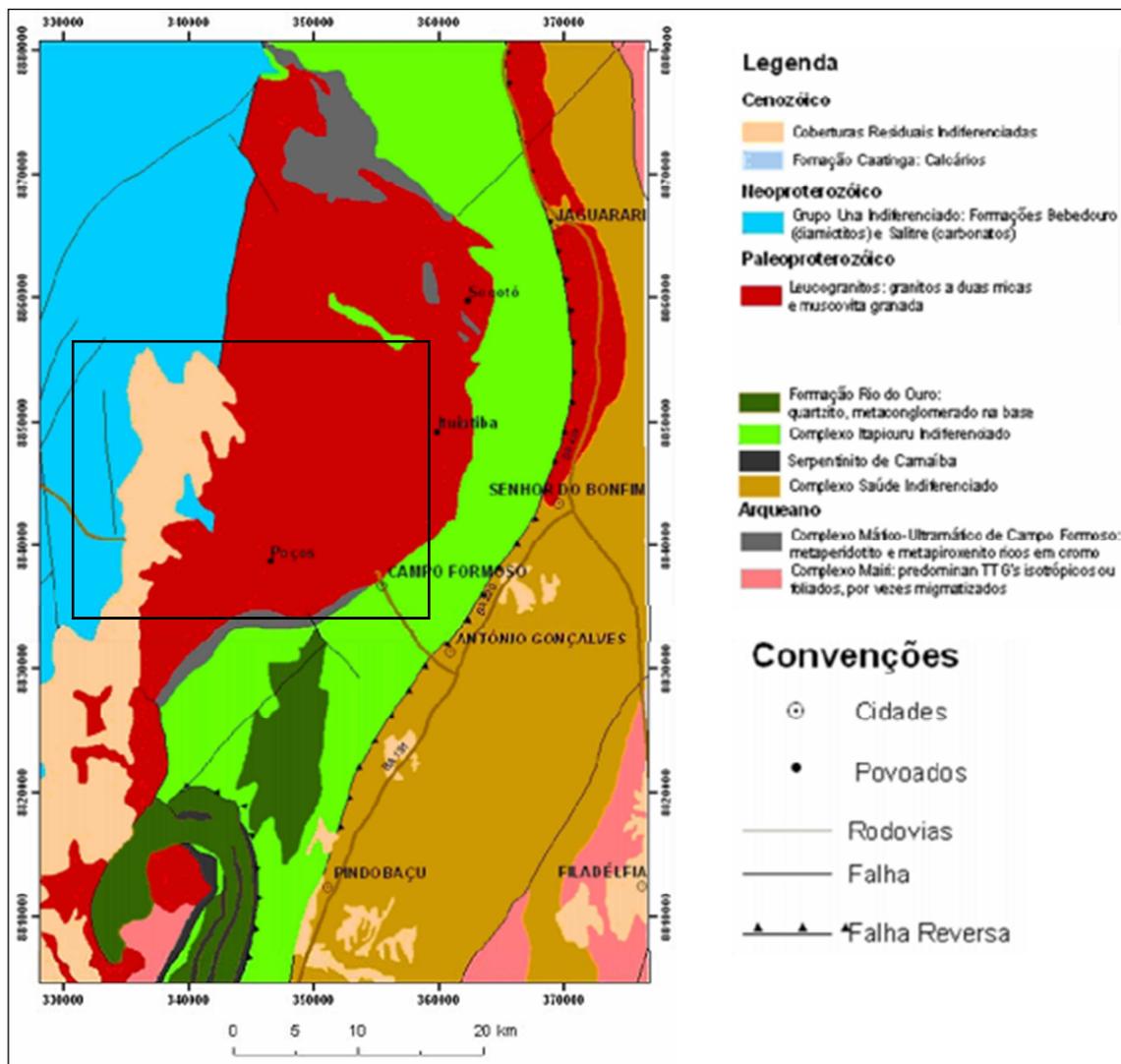


Figura 3.6: Mapa geológico regional simplificado. Fonte: Năpravnik, 2011.

A estratigrafia básica do Grupo Jacobina foi definida por Leo et al. (1964) com a seguinte constituição: Formação Bananeiras (xistos pelíticos com andaluzita-cianita-granada-cordierita, e quartzitos); Formação Serra do Córrego (quartzito, ortoconglomerado e camadas de xistos); Formação Rio do Ouro (ortoquartzitos); e Formação Cruz das Almas (xistos pelíticos com aluminossilicatos de metamorfismo e quartzitos). As litologias estão metamorfizadas nas fácies anfíbolito a xisto verde alto. Segundo Oliveira et al 2004 estudos com zircões detríticos nos quartzitos, possivelmente oriundos do Bloco Gavião, mostram idades de duas populações principais, uma mais antiga (3,45-3,35 Ga) e outra mais nova (280 Ma).

O Complexo Itapicuru compõe um cinturão de rochas vulcano-sedimentares metamorfizadas em baixo e médio grau, de idade presumivelmente arqueana, alongado na direção meridiana onde também aparecem suas relações de contato com as unidades adjacentes. O complexo é composto de tipos litológicos muito variados, tais como quartzitos, metacherts, filitos, metassiltitos, xistos, formações ferríferas, metaconglomerados, metarritmitos, metabasitos e metavulcânicas intermediárias

Unidade Greenstones Belts de Mundo Novo (Mascarenhas et al. 1998) representa seqüências vulcanossedimentares com intrusivas máficas-ultramáficas e granitóides diversos que balizam o bordo oriental do Bloco Gavião, adjacentes ao Lineamento Contendas-Jacobina. Este greenstones belts são constituídos por unidades metavulcânicas que variam de basaltos toleíticos a andesitos e dacitos calcialcalinos e por unidades metassedimentares formadas por arcóseos e grauvacas metamorfizadas nas fácies anfíbolito/xisto verde (Mascarenhas et al. 1998). Segundo Marinho (1991), o Greenstone Belt de Mundo Novo é datado em 3,3 Ga (Pb-Pb e U-Pb/ SHRIMP em zircão dos metadacitos).

Complexo Saúde constitui associações de rochas supracrustais do tipo paragneisses aluminosos que incluem quartzitos e rochas calcissilicáticas, além de kinzigitos que são rochas metamorfizadas na fácies granulito com granulação grossa de composição pelítica bastante aluminosa, geralmente apresentando bandamento gnáissico. Associam-se, também, anfíbolitos e maciços diversos de leucogranitos, (Couto et al. 1978). As litologias do Complexo Saúde estão equilibradas na fácies anfíbolito alto (Leite 2002). De acordo com Oliveira 2004 as idades modelo Nd para

gnaisses aluminosos do Complexo Saúde indicam idades máximas, respectivamente, de cerca 2600 Ma e 2700 Ma.

A Formação Capim Grosso é representada por sedimentos inconsolidados, mal selecionados, predominantemente arenosos podendo ser localmente areno-argiloso. A parte basal geralmente apresenta níveis cascalhosos e conglomeráticos. Esses sedimentos formam uma superfície em tabuleiro que recobre preferencialmente as unidades litológicas do Cinturão Salvador–Curaçá.

Os sedimentos quaternários são representados por depósitos de tálus, constituídos predominantemente por blocos de quartzito dispersos em matriz de cascalho, e por aluviões areno-argilosos, localmente cascalhosos.

3.3.2 Geologia Local

3.3.2.1 Complexo Mairi

Compreende terrenos TGG's (tonalito-granodiorito-granitos) migmatizados e gnaissificados, remanescentes isolados de seqüências supracrustais representadas por quartzitos e formações ferríferas, além de estreitos corpos de rochas máfica-ultramáficas, sendo todo o pacote polideformado e metamorfoisado em fácies anfibolito.

Datações através do método Rb-Sr forneceram idades em torno de 2,66 Ga (Sato, 1986 apud Mascarenhas et al., 1998). (Ver figura 3.7)

3.3.2.2 Complexo Itapicuru

Esse complexo compõe um cinturão de rochas vulcano-sedimentares metamorfoisadas em baixo e médio grau, de idade presumivelmente arqueana, alongado na direção meridiana (MELO, 1995). Este complexo estabelece também relações de contato com as unidades adjacentes.

O complexo é composto de tipos litológicos muito variados, tais como quartzitos, metacherts, filitos, metassiltitos, xistos, formações ferríferas, metaconglomerados, metarritmitos, metabasitos e metavulcânicas intermediárias.

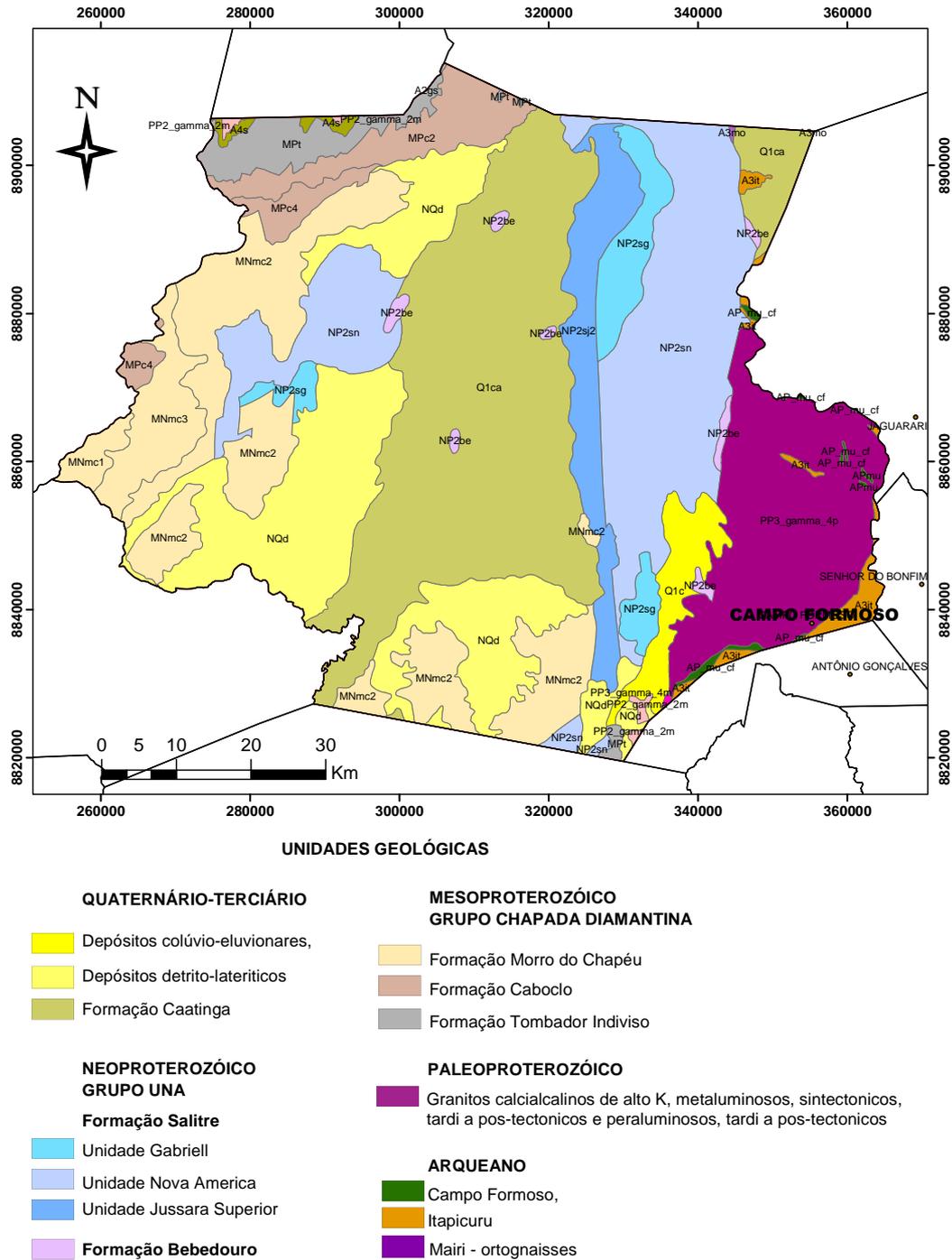


Figura 3.7: Mapa Geológico da área de estudo. Adaptado de CPRM, 2010.

Na área de estudo as rochas do Complexo Itapicuru que afloram são quartzitos e filitos. Os quartzitos predominam nos topos das serras e aparecem na base das mesmas intercaladas com filito. Os filitos predominam nas áreas rebaixadas e entalhadas em “vales” entre os quartzitos nos topos das serras.

3.3.2.3 Complexo Máfico-Ultramáfico de Campo Formoso

As rochas deste complexo possui contato entre o Complexo Itapicuru e o Granito de Campo Formoso e o Grupo Jacobina. São as rochas portadoras de mineralização de cromo. Segundo Topitsch (1993) são de idade Arqueana, entre 2.5 e 2.7 Ga, pois ocorrem como xenólitos no Granito de Campo Formoso, além da presença de cromita detrítica nos quartzitos basais do Complexo Itapicuru.

Este complexo foi inicialmente definido por Couto et. al. (1978) e consiste numa grande intrusão diferenciada, com aproximadamente 40 quilômetros de comprimento e 1,2 quilômetro de espessura, composta por uma associação de serpentinitos, talco-cloritaxistos, talco-tremolita-xistos e anfibolitos, provenientes de alterações hidrotermais resultantes da interação entre seus protólitos peridotíticos e piroxeníticos com os granitóides paleoproterozóicos. Toda a sequência apresenta-se intensamente deformada pelas falhas de empurrão, cujo transporte tectônico aponta, a grosso modo, para o sentido W, colocando-a sobre o embasamento arqueano e desmembrando-a em fatias, dificultando, deste modo, a sua reconstituição estratigráfica e sua variação lateral.

Contudo, Thayer (1970) apud Couto et al. (1978), com base em parâmetros fornecidos pelo padrão das camadas de cromitito estratiforme presentes neste complexo, inferiu que as porções mediana e superior desta sequência foram erodidas e que sua espessura original era de 4 quilômetros. Topitsch (1993) estimou sua idade, com base em comparações com intrusões máficas-ultramáficas de mesma natureza que ocorrem em outros crátons (Austrália Ocidental e Zimbábue), como arqueana (~ 2,5-2,7 Ga).

3.3.2.4 Granitos Calcálicos

Intrusão múltipla, com várias fácies graníticas dispostas concêntricamente sendo observados granitóides porfiríticos a muscovita, granitóides a duas micas e granitóides a muscovita, granada e albita. Datações Rb-Sr (Sabaté et al 1990) revelaram uma idade proterozóica inferior de 1,996 Ga.

Trata-se de um batólito com dimensões aproximadas de 25 km na direção N-S e 20 km na E-W, de forma elíptica, que, segundo Rudowski (1989), foi originado a partir de intrusões polifásicas constituídas de granitos a duas micas (biotita e

moscovita), granitos a moscovita-granada e aplopegmatitos. O mesmo autor admite duas séries não comagmáticas, evoluindo de granito a duas micas a granito a moscovita-granada, com uma série precoce (a qual sofreu um processo de contaminação de Mg, Ni, Co, Cr e V), em posição periférica, e uma série tardia, formando o núcleo do maciço, sendo que, em cada série, a evolução da composição química das rochas e dos minerais (em particular biotita e granada) pode ser descrita como resultado de um processo de cristalização fracionada e de processo de mistura entre um líquido silicático e um cumulático, próximo de um cumulado total, na maioria dos casos.

3.3.2.5 Supergrupo Espinhaço

Grupo Chapada Diamantina

O Grupo Chapada Diamantina pertence ao Supergrupo Espinhaço sendo formado da base para o topo, pelas Formações: Tombador, Caboclo e Morro do Chapéu.

A *Formação Tombador* (Branner, 1910), consiste em conglomerados e arenitos; suas fácies são características de ambientes continentais (leque aluvial, fluvial e eólico) e transicionais (deltaico, estuarino, costeiro, etc.). Em algumas seções situadas nas escarpas setentrional e norte oriental da Chapada Diamantina, a Formação Tombador começa por conglomerados de leque aluvial.

A *Formação Caboclo* (Branner, 1910), que também ocorre em toda a Chapada Diamantina, é composta por sedimentos finos (argilito, siltito, folhelho) e carbonatos, tendo sido depositada essencialmente em ambiente marinho plataformar. Em seu interior, duas discordâncias caracterizando rebaixamentos relativos bruscos do nível do mar, dão lugar à deposição de arenitos continentais. As subidas subseqüentes do nível do mar recobriram esses arenitos com argilitos, siltitos e carbonatos.

A *Formação Morro do Chapéu* (Leal & Brito Neves, 1968), que aflora desde os arredores da cidade homônima até próximo à escarpa setentrional da Chapada

Diamantina, compõe-se de conglomerados, arenitos e rochas de granulação fina (argilitos, siltitos) depositados em ambientes fluvial, de planície de maré e deltaico.

3.3.2.6 Supergrupo do São Francisco

Grupo Una

Formação Bebedouro

Litologicamente a Formação Bebedouro compreende de diamictitos com matriz grauváquica, arcossiana e quartzo-arenítica, na qual flutuam grânulos, seixos e matacões de composições variadas; arenitos (grauvacas, arcóseos e quartzo-arenitos), com ou sem clastos associados; e pelitos com ou sem clastos associados (Guimarães & Dominguez 1995).

Formação Salitre

Formação Salitre é constituída quase inteiramente de carbonatos e cujo perfil estratigráfico se inicia com freqüência, com um nível dolomítico.

Segundo Barbosa et. al. (1992), Leão & Dominguez (1992) e Dominguez (1993) a Formação Salitre foi depositada em uma bacia do tipo rampa carbonática e em ambiente marinho raso com frequente ação de ondas e marés. Os sedimentos carbonáticos (calcários e dolomitos) da Formação Salitre podem alcançar espessuras superiores a 1.000m (Misi 1993), foram datados por métodos radiométricos e bio-estratigráficos (estudo de estromatólitos).

Na área de estudo a Formação Salitre está dividida em três unidades: a *Nova América* (de ciclo regressivo (II) caracterizado pela presença constante de estruturas sedimentares típicas de ambiente de submaré a supramaré, tais como tapetes algais, estruturas “tepees”, intraclastos, laminação cruzada e estruturas de “bird eyes”, Bonfim et al., 1985); a *Gabriel* (composta por estreitas intercalações de calcissiltitos, calcilutito e calcarenito fino, caracterizados por uma coloração rósea, creme e cinza, laminação plano-paralela e presença constante de cristais cúbicos de pirita e/ou limonita. Em alguns locais seus litotipos ocorrem em camadas e bancos maciços, cortados geralmente por veios e filmes de calcita. Pequenos corpos de

rochas dolomitizadas, de coloração cinza a creme, aspecto maciço, sempre com fraturamento superficial acentuado ocorrem associados aos litotipos da unidade. Bonfim et al., 1985.); e a *Jussara Superior*, que segundo Bonfim et al.(1985), esta unidade está relacionada ao ciclo transgressivo (I), correspondente a um tipo característico de calcarenito oncolítico intraclástico de coloração cinza escura a preta, interacamadado e interlaminado com calcilutitos e calcissiltitos de mesma coloração. A estratificação plano-paralela é uma constante por toda a área de ocorrência dos calcarenitos. Estes calcarenitos também apresentam por toda sua área de ocorrência nódulos de sílex com forma esferoidal acompanhando o aleitamento das camadas, de composição similar a da rocha encaixante.

3.3.2.7 Formação Caatinga

São coberturas superficiais, que foram separadas em dois subconjuntos principais de sedimentos: um subconjunto é representado por calcários esbranquiçados, pulverulentos, pertencentes à Formação Caatinga, de idade quaternária, resultantes de processos de dissolução química e reprecipitação in-situ (Branner, 1911).

A Formação Caatinga, designação original de Branner (1910a), se encontra presente majoritariamente nas calhas dos rios Salitre e Jacaré, estando sendo dissecado pelo ciclo erosivo atual, e assim aflorando por sob a cobertura aluvial mais jovem. Trata-se, em geral, de um calcário branco, pulverulento, e de algumas argilas calcárias. Correspondem a calcretes que foram formados pela dissolução e reprecipitação das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

3.3.2.8 Depósitos detrítico-lateríticos

Constitui-se de areias finas a grossas, localmente síltico-argilosa e mais raramente conglomeráticas, intimamente relacionadas a superfícies de aplainamento, formando terraços argilo-arenoso com cascalhos dispersos e níveis de material transportado e ferruginoso (CPRM, 2010).

3.3.2.9 Depósitos colúvio-eluvionares

Trata-se de coberturas areno-argilosas podendo chegar no máximo a 10 metros de espessura, desenvolvidas sobre substrato predominantemente arenoso. São depósitos irregulares, contínuos e mal selecionados demonstrando uma dinâmica caótica de transporte e deposição, sem estruturas sedimentares presentes, embora contenham um nível basal de acumulação de clastos de quartzo. As ocorrências destes depósitos tanto em topos quanto em encostas sugerem que resultem da combinação de processos autóctones e alóctones e podem ser compostos por areia, argila e cascalho (CPRM, 2010).

3.4 HIDROGEOLOGIA

Segundo Negrão (2010), o Estado da Bahia com cerca de 564.000 km² de área territorial é constituído dos seguintes domínios hidrogeológicos: Coberturas Detríticas, Bacias Sedimentares, Metassedimentos, Calcários e Embasamento Cristalino, submetidos a condições climáticas variáveis com precipitações médias anuais de 400 a 2.600 mm/ano.

As características referentes aos domínios hidrogeológicos da área de estudo foram compiladas de CPRM (2005) referentes aos municípios de Jacobina e Antônio Gonçalves, pois ambos possuem aspectos fisiográficos e geológicos similares. Ainda não foi publicado no “Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Diagnóstico” para o Município de Campo Formoso.

O contexto hidrogeológico do município de Campo Formoso engloba quatro Domínios Hidrogeológicos: as coberturas detríticas, o embasamento cristalino, a dos calcários e a dos metassedimentos. (Ver figura 3.8)

3.4.1 Domínio das Coberturas Detríticas

Esse domínio faz parte das formações superficiais Cenozóicas, as quais são constituídas por pacotes de rochas sedimentares de naturezas diversas, que recobrem as rochas mais antigas. Em termos hidrogeológicos, comporta-se como “aqüífero granular”, caracterizado por possuir uma porosidade primária, e nos

terrenos arenosos uma elevada permeabilidade, o que lhe confere, no geral, excelentes condições de armazenamento e fornecimento d'água. Na área do município, este domínio está representado por depósitos relacionados temporalmente ao Terciário-Quaternário (coberturas detrítico lateríticas). A depender da espessura e da razão areia/argila dessas unidades, podem ser produzidas vazões significativas nos poços tubulares perfurados, sendo, contudo, bastante comum, que os poços localizados neste domínio, captem água dos aquíferos subjacentes.

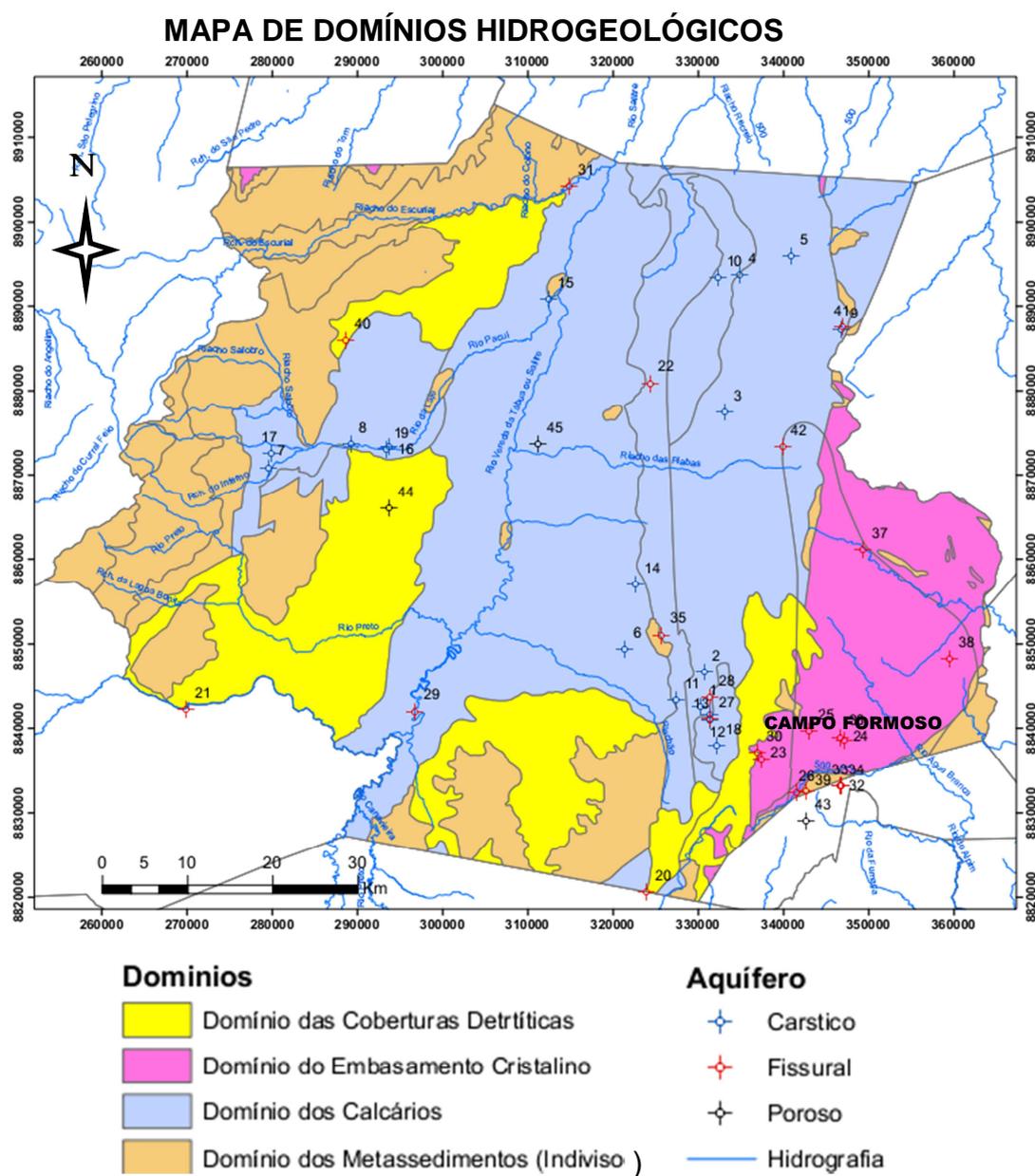


Figura 3.8: Mapa de Domínios Hidrogeológicos da área de estudo com os poços plotados. Fonte: CPRM, 2010.

3.4.2 Domínio dos carbonatos/metacarbonatos (calcários)

Constituem um sistema aquífero desenvolvido em terrenos com predominância de rochas calcárias, calcárias magnesianas e dolomíticas, que têm como característica principal, a constante presença de formas de dissolução cárstica (dissolução química de rochas calcárias), formando cavernas, sumidouros, dolinas e outras feições erosivas típicas desses tipos de rochas. Fraturas e outras superfícies de descontinuidade, alargadas por processos de dissolução pela água propiciam ao sistema porosidade e permeabilidade secundária, que permitem acumulação de água em volumes consideráveis. Infelizmente, essa condição de reservatório hídrico subterrâneo, não se dá de maneira homogênea ao longo de toda a área de ocorrência. Ao contrário, são feições localizadas, o que confere elevada heterogeneidade e anisotropia ao sistema aquífero. A água, no geral, é do tipo carbonatada, com dureza bastante elevada.

Os calcários propiciam a ocorrência de aquíferos com um sistema de elevada heterogeneidade e anisotropia, por serem rochas solúveis, apresentando feições morfo/estruturais típicas: dolinas, sumidouros, estruturas de desabamentos, canais de dissolução e cavernas. (GUERRA 1986; NEGRÃO, 1987)

3.4.3 Domínio dos metassedimentos/metavulcanitos

O domínio dos metassedimentos cobre maior percentual em áreas de precipitações inferiores a 800 mm/anuais. Os metassedimentos formam aquíferos livres de natureza fissural, similarmente aos aquíferos cristalinos. Diferenciam-se destes, entretanto, por vazões mais elevadas e por menor salinização de suas águas, em parte, devido à sua composição litológica rica em quartzo e, por ocorrerem em regiões de topografia e pluviosidade elevadas, como, por exemplo, a Chapada Diamantina. (GUERRA e NEGRÃO, 1996).

3.4.4 Domínio do Embasamento Cristalino

Comportam-se como “aquífero fissural”. Como basicamente não existe uma porosidade primária nestes tipos de rochas, a ocorrência de água subterrânea é condicionada por uma porosidade secundária representada por fraturas e fendas, o

que se traduz por reservatórios aleatórios, descontínuos e de pequena extensão. Dentro deste contexto, em geral, as vazões produzidas por poços são pequenas e a água, em função da falta de circulação, dos efeitos do clima semi-árido e do tipo de rocha, é na maior parte das vezes salinizada. Essas condições definem um potencial hidrogeológico baixo para as rochas, sem, no entanto, diminuir sua importância como alternativa no abastecimento nos casos de pequenas comunidades, ou como reserva estratégica em períodos de prolongadas estiagens.

Esse domínio pode ser composto essencialmente por granitos, gnaisses, migmatitos e granulitos; de reduzida potencialidade hídrica, subdividido em função da pluviosidade em dois subgrupos: subdomínio de pluviometria <800 mm/ano - localizam-se as áreas de maior carência hídrica do Estado e maior aridez, decorrentes da baixa capacidade de armazenamento das rochas e do elevado índice de evaporação. Como resultado, tem-se, além da baixa produção dos poços, maior índice de salinidade das águas. E o subdomínio >800 mm/ano representa o embasamento cristalino das regiões úmidas. Em consequência da maior pluviosidade, tem-se um manto de intemperismo mais espesso, uma sensível melhoria nas condições de recarga, influenciando na produção dos poços e qualidade química de suas águas. (GUERRA e NEGRÃO, 1996).

4 METODOLOGIA

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Carta Topográfica

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizada a carta topográfica de Campo Formoso SC-24-Y-B-IV na escala 1:100.000 (IBGE, 1967). A carta foi utilizada para georreferenciar as imagens de satélites.

4.1.2 Imagem de satélite LANDSAT 5-TM

A imagem de satélite do sensor TM Landsat 5 foram adquiridas do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE que se encontra disponível em sua página na internet, cuja órbita no ponto é 217-067 e a captura da cena foi no dia 24 de setembro de 2009.

4.1.3 Software

Os aplicativos de Sistema de Informação Geográfica empregados neste trabalho foram:

- a) ArcGis 9.3, (Esri Software, 2008) utilizado na modificação dos mapas geológico, hidrogeológico, situação, localização, solos, a carta imagem com a localização dos poços.
- b) Spring 5.2, (INPE, 2012) empregado no processamento das imagens dos sensores TM do LANDSAT-5.
- c) Surfer 9.0, (Golden Software Inc., 2011) usado na confecção dos mapas temáticos e no mapa de Índice de Vulnerabilidade.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Sensoriamento Remoto

- Pré-processamento digital

As imagens Landsat-5 foram pré-processadas visando a correção geométrica e atmosférica e posteriormente realizaram-se as operações visando à discriminação

de feições geológicas, hidrogeológica, canais de drenagens, ocupação urbana, atividades antrópicas, etc.

A correção geométrica foi realizada utilizando-se pontos de controle selecionados nas imagens e na carta topográfica na escala 1:100.000 (sistema de coordenadas UTM, Zona 24 Sul, Datum SAD 69).

Segundo Crosta (2002), quando o objeto da análise da imagem é a confecção de mapas, deve ser feita uma correção necessária, a geométrica. Esta correção tem o objetivo de reduzir erros não sistemáticos introduzidos no momento de aquisição da imagem pelo satélite, além de permitir o seu georreferenciamento, que vai relacionar a imagem com a superfície terrestre.

A correção geométrica é feita através da aplicação de um polinômio, cujos coeficientes são determinados a partir da relação entre pontos de controle definidos na imagem e num mapa. Depois, faz-se uma interpolação do brilho, podendo-se aplicar um dos diversos métodos descritos na literatura. O método mais utilizado é o dos vizinhos mais próximos (CROSTA, 2002).

A correção radiométrica tem por objetivo a redução de erros e distorções introduzidas pelos sensores e pela atmosfera. Geralmente só é realizada quando se faz necessário converter os números digitais (ND) originais em refletância para que os dados de imagem possam ser relacionados com medições no terreno.

No entanto, uma das correções radiométricas que se deve fazer em áreas com topografia acentuada é a redução do efeito topográfico. Esta correção é necessária para minimizar as diferenças introduzidas pela topografia na quantidade de radiação solar que chega a um determinado ponto, pois esta afeta a quantidade da radiação refletida pela superfície e, necessariamente, a quantidade de energia que chega ao sensor.

- Processamento digital

As principais técnicas de processamento digital de imagem, utilizadas na imagem da área de trabalho, foram:

Aplicação de aumentos de contrastes: foram aplicadas em função da forma do histograma e do objetivo desejado: como o aumento linear e aumento de contraste balanceado - BCET (Liu 1991).

Filtragens espaciais: Apenas a filtragem por convolução foi aplicada na imagem Landsat 5-TM da área. Três tipos de filtros foram utilizados: passa baixa, passa alta e direcional. (Lillesand & Kiefer 1994).

Composições coloridas: As composições coloridas foram obtidas por um processo que combinou simultaneamente três bandas da imagem multiespectral com as três cores primárias - RGB, vermelho, verde e azul. A seleção dos melhores tripletes foi realizada através do método de Chavez et al. (1982) e por observação visual. Ver figura 4.1 a localização dos poços na imagem de satélite georreferenciada.

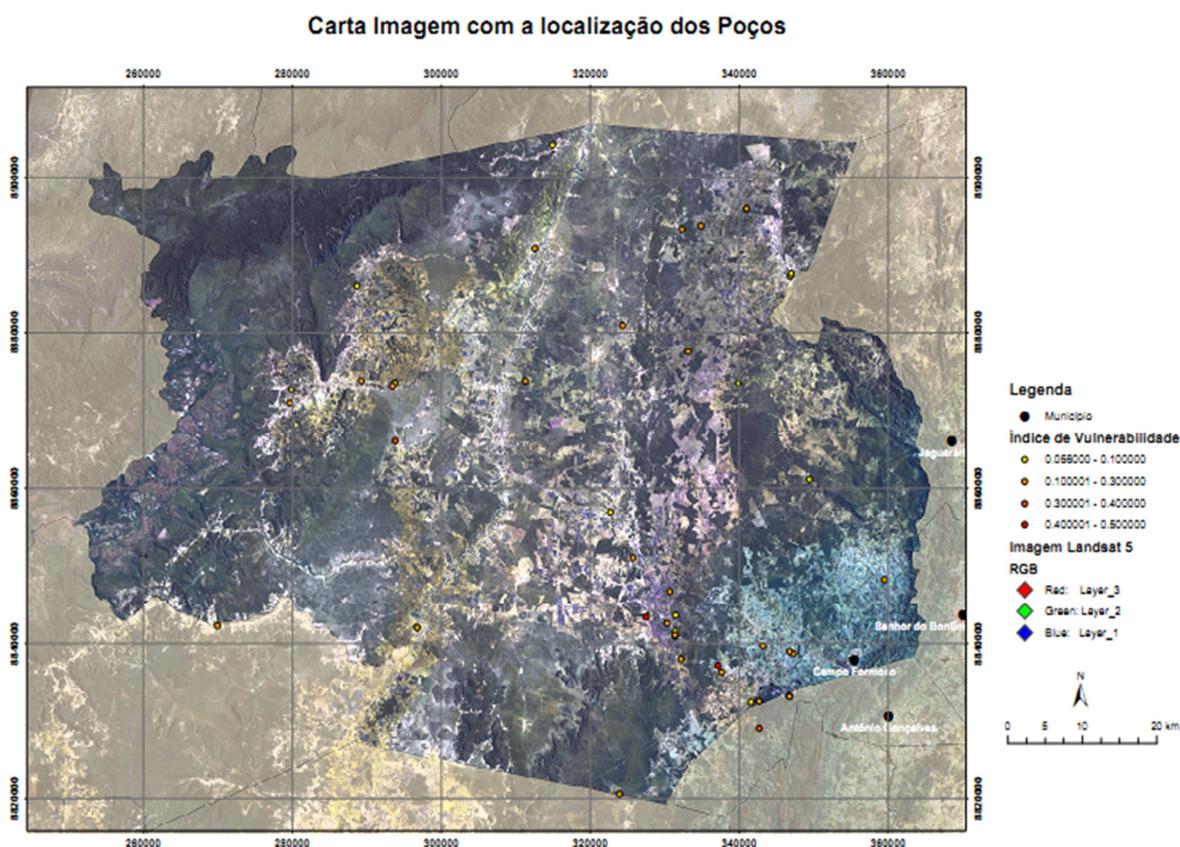


Figura 4.1 Imagem Landsat 5 com poços plotados.

O resultado do processamento digital da imagem de satélite Landsat 5, será discutido no próximo capítulo em que foram selecionadas 4 setores da imagem de grande relevância. O setor 1 destaca-se o município de Campo Formoso; os setores 2, 3 e 4 mostram poços de vulnerabilidades diferentes com atividades antrópicas diferentes.

4.2.2 Aplicação do Método de GOD

O mapeamento da vulnerabilidade natural dos aquíferos do município de Campo Formoso foi realizado através do Método GOD (G – groundwater occurrence, O – overall lithology of aquifer e D - depth of water).

Objetivando a determinação destes parâmetros, foram coletadas informações referentes a 45 poços, cadastrados pelo Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS disponível no site da CPRM.

Para cada poço, foram determinadas as coordenadas em UTM (Datum SAD 69), a tipologia do aquífero, a litologia e a profundidade do nível estático do aquífero. O resultado foi colocado em uma planilha eletrônica e ao lado de cada parâmetro físico, foi atribuído um parâmetro numérico de entrada de acordo com o diagrama para aplicação do Método GOD segundo Foster & Hirata (1991). Ver figura 4.2 e tabela 4.1.

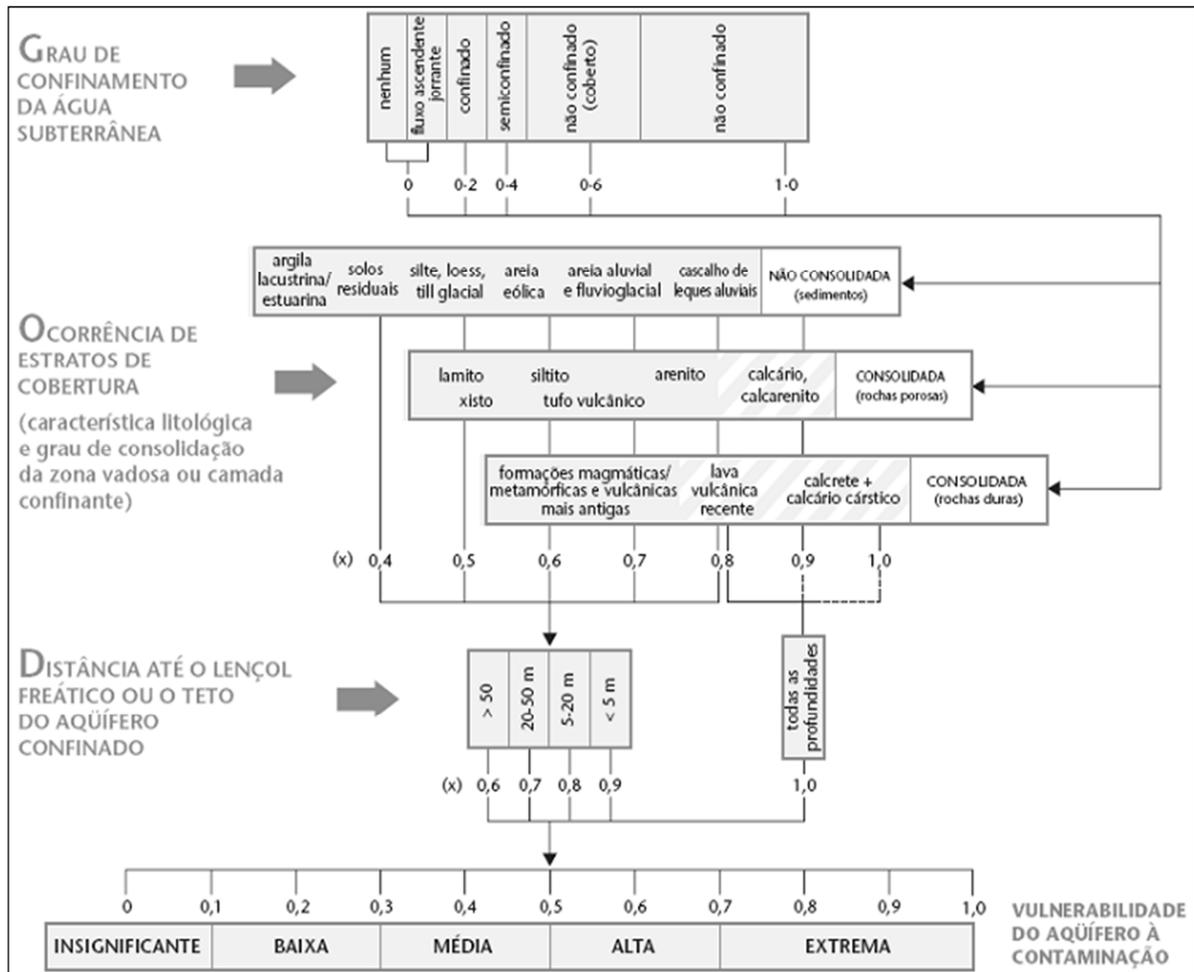


Figura 4.2: Diagrama para aplicação do Método GOD. Fonte: Foster & Hirata (1991).

Tabela 4.1 Informações utilizadas para interpolação dos dados

Poços	UTME (X)	UTMN (Y)	Aquífero	G	Litologia do Aquífero	O	NE (m)	D	índice	Vuln.aquífero	esp (m) solo
1	330355	8842570	Carstico	0,4	Grupo bambui/Arq	0,9	7.00	0,8	0,29	Baixa	5,00
2	330699	8846719	Carstico	0,2	Quat/Fm. Salitre	0,95	23.32	0,7	0,13	Baixa	1,00
3	333169	8877485	Carstico	0,2	Quat/Fm. Salitre	0,95	35.24	0,7	0,13	Baixa	1,00
4	334890	8893715	Carstico	0,2	Quat/Fm. Salitre	0,95	20.54	0,7	0,13	Baixa	2,00
5	341001	8895955	Carstico	0,2	Quat/Fm. Salitre/Arq	0,9	25.36	0,7	0,13	Baixa	2,00
6	321379	8849345	Carstico	0,6	Quat/Fm. Caatinga/Arq	1	0.0	0,9	0,54	Alta	1,00
7	279659	8870894	Carstico	0,2	Fm salitre	0,9	7.82	0,8	0,14	Baixa	1,00
8	289262	8873719	Carstico	0,2	Fm salitre	0,9	52.29	0,6	0,11	Baixa	1,00
9	346886	8887163	Carstico	0,2	Solo/Calcário	0,9	21.25	0,7	0,13	Baixa	1,00
10	332334	8893304	Carstico	0,2	Grupo bambui	0,9	27.04	0,7	0,13	Baixa	6,00
11	327523	8843355	Carstico	0,6	Fm salitre	0,9	0.00	0,9	0,49	Média	2,00
12	331424	8841561	Carstico	0,2	Solo areno-argiloso	0,4	12.88	0,8	0,06	Insignificante	2,00
13	331458	8840915	Carstico	0,2	Solo argiloso	0,9	20.64	0,7	0,13	Baixa	2,00
14	322740	8856941	Carstico	0,2	Solo argiloso	0,4	6.49	0,8	0,06	Insignificante	2,00
15	312581	8890871	Carstico	0,6	Areia fina	0,4	0.90	0,9	0,22	Baixa	4.00
16	293769	8873407	Carstico	0,2	Grupo bambui	0,4	22.00	0,7	0,06	Insignificante	2,00
17	279922	8872617	Carstico	0,2	Grupo bambui	0,4	7.11	0,8	0,06	Insignificante	2,00
18	332202	8837970	Carstico	0,2	Grupo bambui/Arq	0,9	37.00	0,7	0,13	Baixa	1,00
19	293497	8873068	Carstico	0,2	Quat/Ter-quat/Fm. salitre	0,9	12.11	0,8	0,14	Baixa	2,00
20	323930	8820538	Fissural	0,2	Quat/Fm Caboclo	0,85	14.38	0,8	0,14	Baixa	2,00
21	269953	8842250	Fissural	0,2	Fm Morro do Chapéu	0,7	11.00	0,8	0,11	Baixa	3,00
22	324385	8880884	Fissural	0,2	Gr bambui/Fm salitre	0,9	7.52	0,8	0,14	Baixa	1,00
23	337652	8836306	Fissural	0,2	Prot inferior	0,75	11.50	0,8	0,12	Baixa	1,00
24	347279	8838654	Fissural	0,4	Proterozoico inferior	0,75	2.00	0,9	0,27	Baixa	3,00
25	343231	8839650	Fissural	0,6	Manto alteração, cinza	0,4	3.47	0,9	0,22	Baixa	1,00
26	341592	8832392	Fissural	0,2	Solo areno-argiloso	0,7	25.32	0,7	0,10	Insignificante	1,00
27	331397	8841069	Fissural	0,2	Grupo bambuí	0,9	20.86	0,7	0,13	Baixa	1,00
28	331475	8843589	Fissural	0,2	Solo argiloso	0,4	42.35	0,7	0,06	Insignificante	2,00
29	296783	8841988	Fissural	0,2	Solo calcífero	0,9	6.16	0,8	0,14	Baixa	1,00
30	337161	8837134	Fissural	0,6	Areia média	0,75	1.41	0,9	0,41	Média	4,00
31	314950	8904188	Fissural	0,2	Xisto	0,5	5.20	0,8	0,08	Insignificante	30,00
32	346696	8833184	Fissural	0,2	Solo	0,7	33.86	0,7	0,10	Insignificante	16,00
33	346787	8833153	Fissural	0,2	Solo arenoso	0,7	12.45	0,8	0,11	Baixa	4,00
34	346758	8833091	Fissural	0,2	Solo arenoso	0,7	5.00	0,8	0,16	Baixa	10,00
35	325750	8851027	Fissural	0,2	Eluviao/Gr Jacobina	0,7	11.70	0,8	0,11	Baixa	1,00
36	346792	8838960	Fissural	0,2	Solo/Granito	0,6	0.70	0,9	0,11	Baixa	2,00
37	349432	8861091	Fissural	0,2	Areia/Gnaisse	0,6	17.00	0,8	0,10	Insignificante	4,00
38	359524	8848230	Fissural	0,4	Rc intemperizadas	0,6	6.00	0,8	0,19	Baixa	20,00
39	342686	8832489	Fissural	0,2	Quat/Prot inferior	0,6	1.50	0,9	0,11	Baixa	2,00
40	288703	8885946	Fissural	0,2	Solo/conglom/Quartzito	0,6	8.68	0,8	0,10	Insignificante	3,00
41	346976	8887532	Fissural	0,2	Fm salitre/Bebed/Arq	0,6	24.10	0,7	0,08	Insignificante	2,00
42	339914	8873400	Fissural	0,2	Fm salitre/Arq	0,6	33.18	0,7	0,08	Insignificante	1,00
43	342702	8829018	Poroso	1	Solo argilo-arenoso	0,4	2.95	0,9	0,36	Média	1,00
44	293843	8866002	Poroso	0,6	Solo arenoso	0,75	21.16	0,7	0,32	Média	1,00
45	311302	8873689	Poroso	0,6	Terc-quaternario	0,4	3.23	0,9	0,22	Baixa	11,00

A multiplicação destes parâmetros de entrada fornece o parâmetro de saída relacionado a uma categoria de vulnerabilidade. Com as informações obtidas, foram elaborados os mapas de ocorrência de água subterrânea, de litologia da zona não saturada, de profundidade do lençol freático e o mapa resultante de vulnerabilidade.

4.2.3 Método de interpolação (Krigagem)

Segundo Jakob, 2002 a Krigagem é considerada uma boa metodologia de interpolação de dados. Ela utiliza o dado tabular e sua posição geográfica para calcular as interpolações. Utilizando o princípio da Primeira Lei de Geografia de

Tobler, que diz que unidades de análise mais próximas entre si são mais parecidas do que unidades mais afastadas, a krigagem utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, e criar assim os novos pontos interpolados com base nessas combinações lineares de dados.

Existem na literatura vários métodos de interpolação de dados para a construção de mapas de isovalores e superfícies de tendência, porém, o mais recomendado e considerado o melhor na minimização do erro é o método geoestatístico da krigagem.

Os dados foram tabulados no programa Microsoft *Excel*, sendo posteriormente transferidos para o programa *Surfer 9.0*, para avaliação dos parâmetros. Utilizou-se como interpolador o método da “Krigagem”. Abaixo se encontram os mapas temáticos confeccionados a partir do método de interpolação (Krigagem).

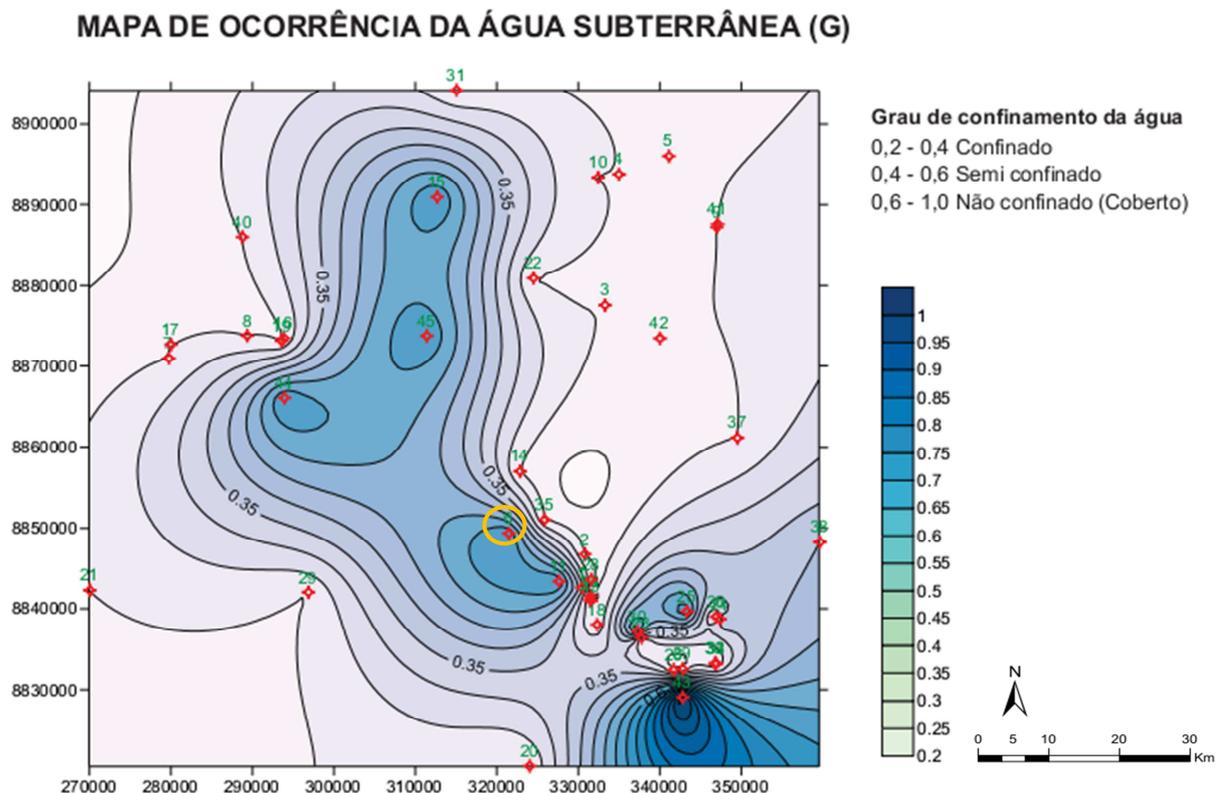


Figura 4.3: Mapa Temático do plano de informação G.

MAPA DE LITOLOGIA DA ZONA NÃO SATURADA (O)

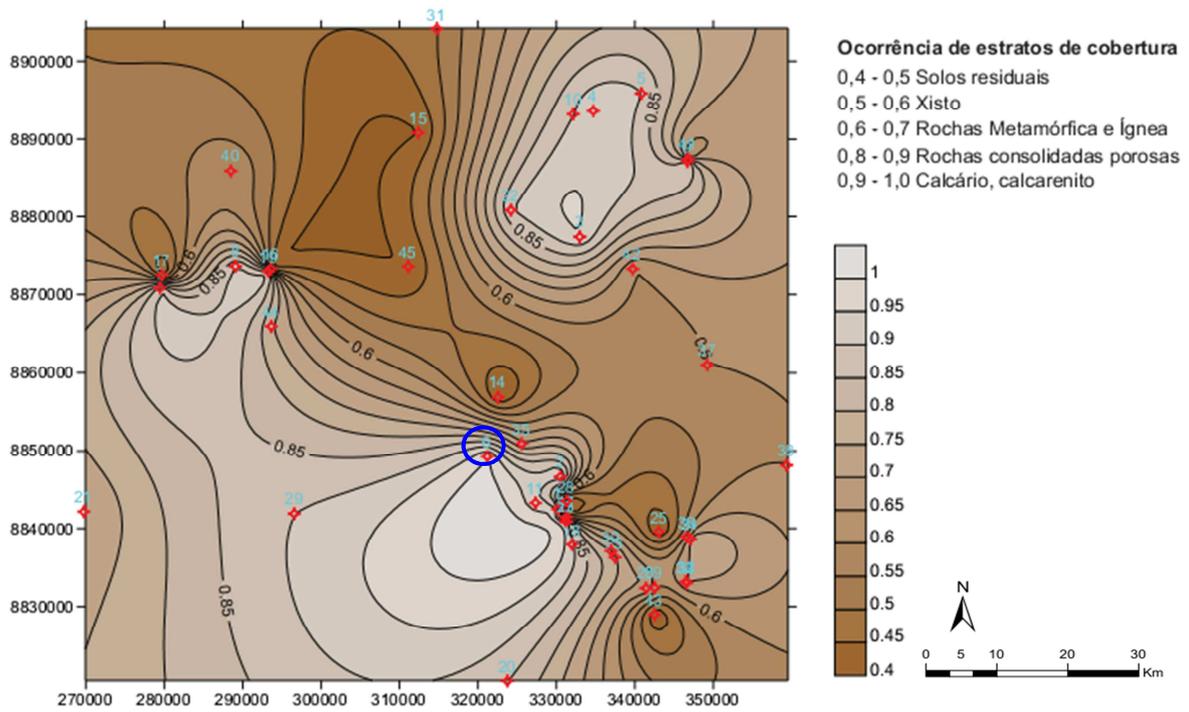


Figura 4.4: Mapa Temático do plano de informação O.

MAPA DE PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO (D)

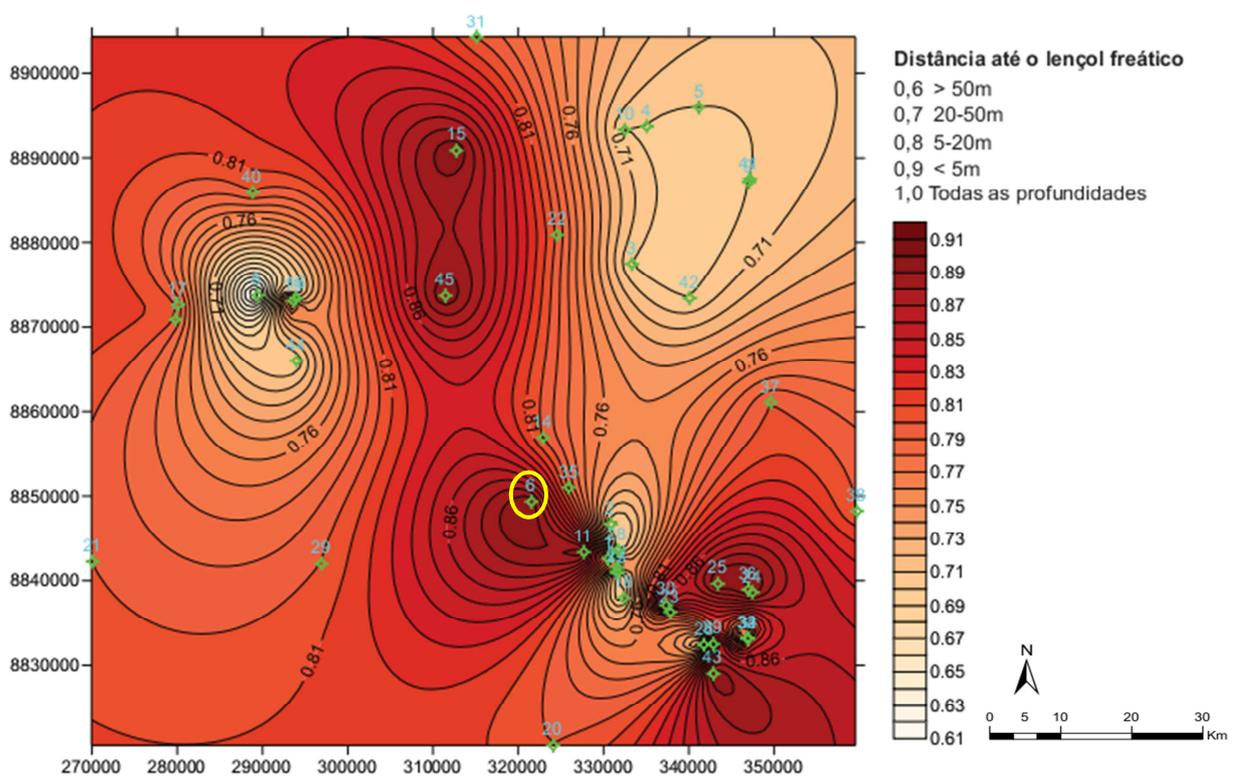


Figura 4.5: Mapa Temático do plano de informação D.

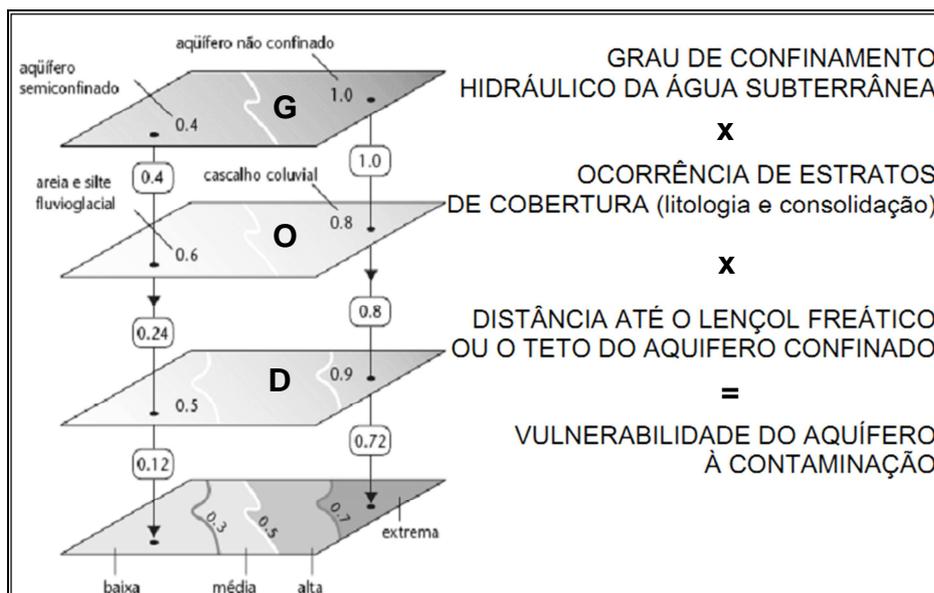


Figura 4.6: Procedimentos adotados na geração dos mapas temáticos e o mapa de índice de vulnerabilidade de GOD.
Fonte: Foster et al. (2006).

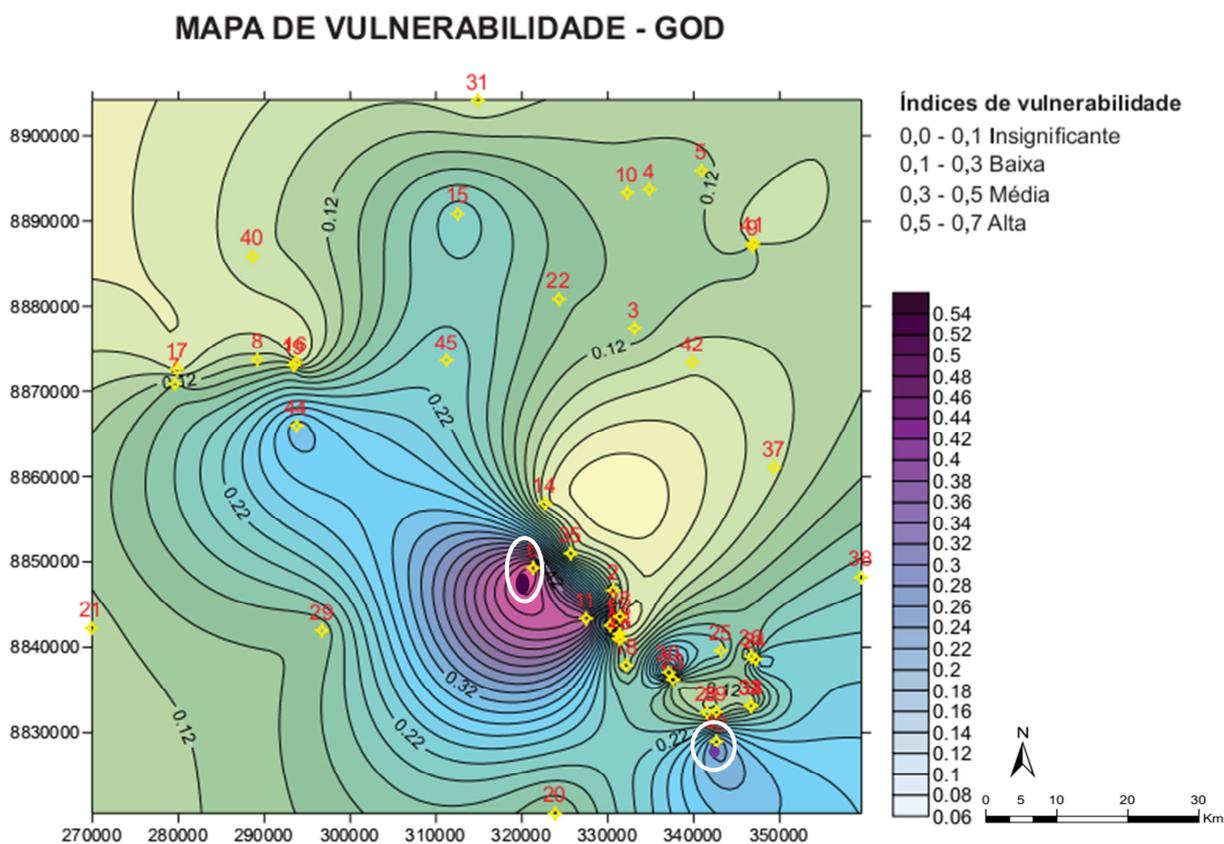


Figura 4.7: Mapa de índice de Vulnerabilidade de GOD.

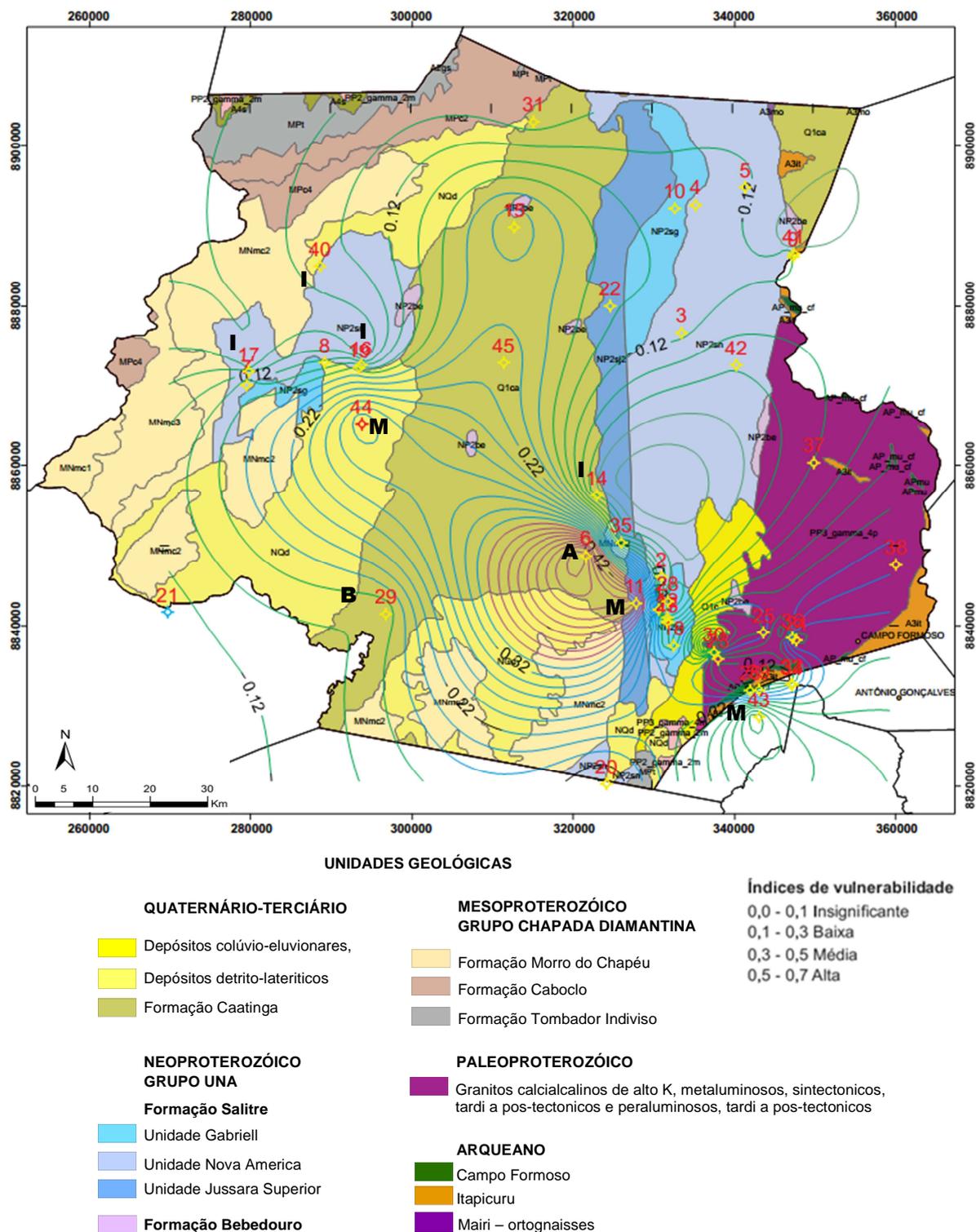


Figura 4.8: Mapa geológico com índices de vulnerabilidade plotados.

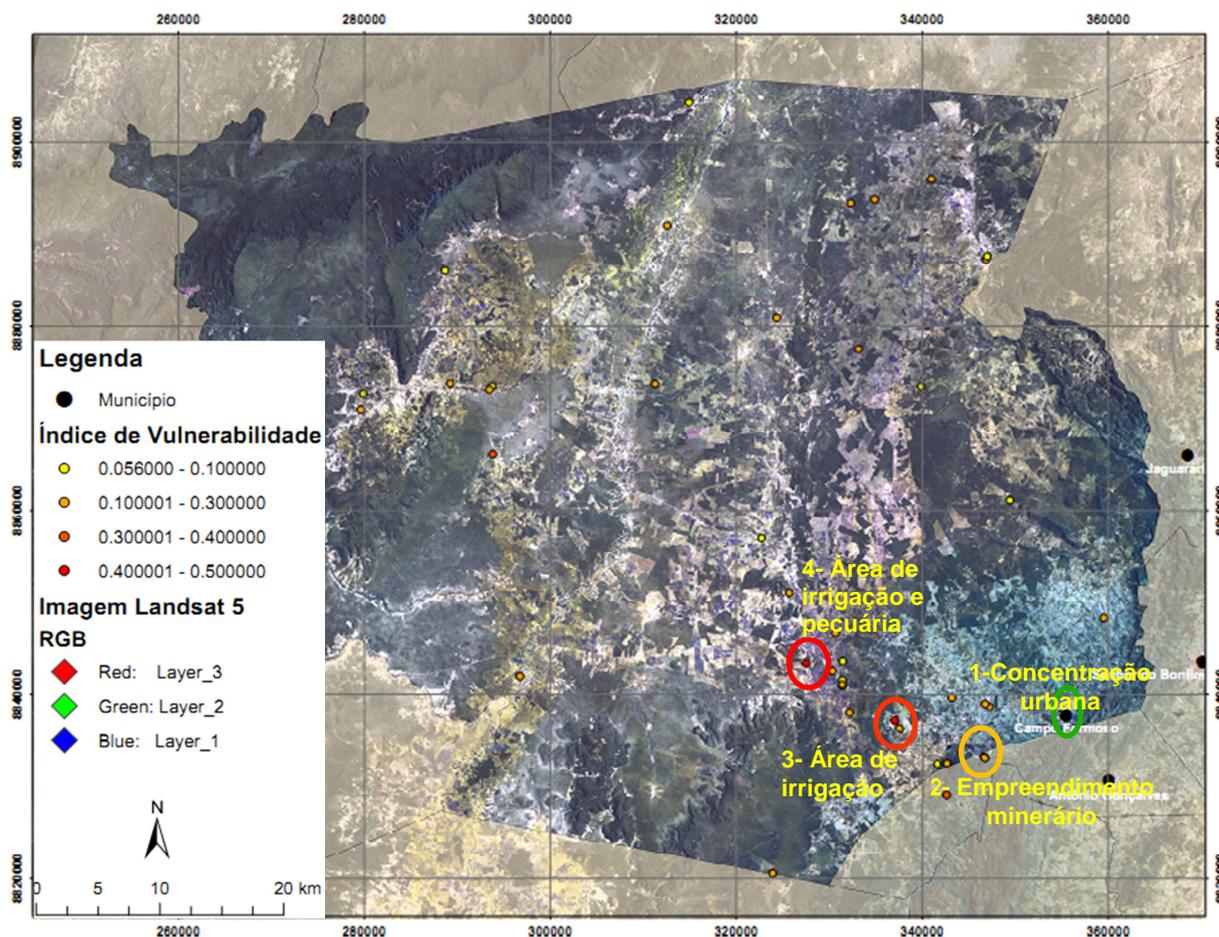


Figura 4.9: Imagem de satélite com setores selecionados.

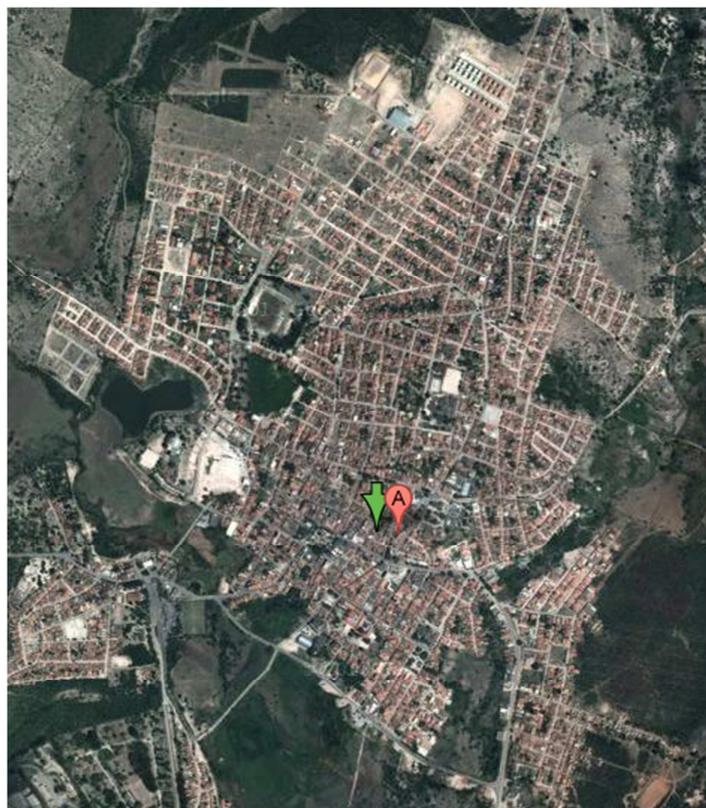


Figura 4.10: Setor 1- Município de Campo Formoso



Figura 4.11: Setor 2 – Atividade minerária no município de Campo Formoso.



Figura 4.12: Setor 3 – Atividade agrícola no município de Campo Formoso.

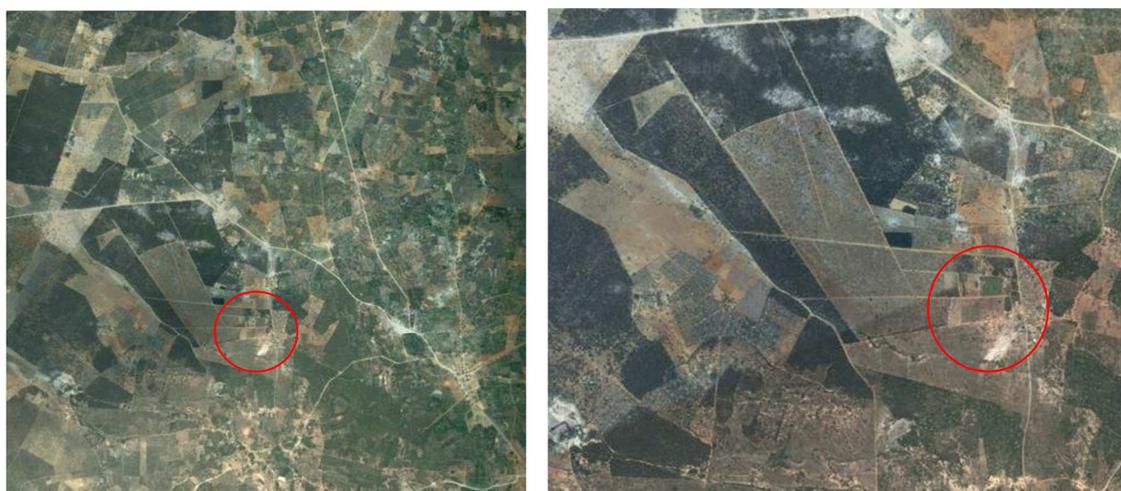


Figura 4.13: Setor 4 – Atividade agrícola e pecuária no município de Campo Formoso.



Figura 4.14: Setor 4 – Atividade agrícola e pecuária no município de Campo Formoso.
Fonte: Google Maps - ©2013 Google

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No mapa (Figura 4.7) os índices de vulnerabilidade encontrados foram insignificante, baixa, média e alta. Na parte sudoeste, noroeste e nordeste apresentam vulnerabilidades insignificante e baixa, enquanto que na parte centro-sul e sudeste indicam índices de vulnerabilidade média e alta. Esses índices mais elevados estão relacionados aos parâmetros estabelecidos pelo método GOD. Também podem ser relacionado principalmente com o nível estático e ao confinamento dos poços, como o uso e ocupação do solo (concentração urbana, atividade mineraria, área de agricultura irrigada, pecuária, etc.).

Na figura 4.8 apresenta um mapa geológico com os poços e os índices de vulnerabilidade plotados, onde podem ser identificadas as possíveis litologias que contribuem para a formação e a qualidade desses os aquíferos.

O processamento digital da imagem de satélite Landsat 5, contribuiu para o reconhecimento e seleção de áreas na imagem de grande relevância na região de estudada. As áreas foram denominadas de setores 1, 2, 3 e 4 onde mostram aquíferos vulneráveis a diversas atividades antrópicas. O setor 1 representa o centro urbano de Campo Formoso; o setor 2 destaca um empreendimento minerário; o setor 3 apresenta atividade agrícola irrigada e o setor 4 reforça a atividade agrícola irrigada e a pecuária.

Nesse contexto ressalta-se a importância da proteção dos recursos hídricos subterrâneos, com o intuito de minimizar os possíveis impactos ambientais em áreas com média e/ou alta vulnerabilidade. Sugere-se um planejamento do uso e ocupação do solo associada à gestão eficaz dos recursos hídricos para o município em questão.

O poço mais próximo do setor 1 apresenta índice de vulnerabilidade baixo, os poços localizados nas proximidades do setor 2 os índices de vulnerabilidade variam de insignificante a médio; o setor 3 mostra um poço com índice de vulnerabilidade médio e o setor 4 encontra-se um poço com índice de vulnerabilidade alto.

A utilização de geoprocessamento apresenta-se como uma ferramenta útil na tomada de decisão, pois através de técnicas espaciais obteve-se o mapa de vulnerabilidade com delimitações de áreas conforme seu grau de suscetibilidade, além de extrapolar informações em locais sem dados.

6 CONCLUSÃO

O método GOD, neste caso, mostrou-se válido para a área de estudo. Outros métodos de aquisição de vulnerabilidade de aquíferos devem ser utilizados e comparados os seus resultados para uma tomada de decisão melhor apoiada na gestão dos recursos hídricos subterrâneos do município de Campo Formoso.

Vale salientar que para um mapa mais confiável e adequado, em qualquer método, dever-se-ia utilizar um maior número de poços cadastrados (amostras) com as informações necessárias e mais completas para a confecção dos mapas temáticos ou criar parâmetros para satisfazer cada tipo de aquíferos ou todos os domínios hidrogeológicos de acordo com a caracterização da área.

7 REFERÊNCIAS

- ALKMIM F.F., CHEMALE JR F., ENDO, I. 1996. **A deformação das coberturas proterozóicas do Cráton do São Francisco e seu significado tectônico**. Revista da Escola de Minas 49 (1): 22-38.
- ALMEIDA, F. F. M. **O cráton do São Francisco**. Revista brasileira de geociências. São Paulo, v. 7, n. 4, p. 349-364, 1977.
- ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Projeto de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco, Subprojeto 4.5C** – Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco – PBHSF (2004-2013). Resumo Executivo. Proposta para apreciação do Plenário do CBHSF. Brasília: SPR/ANA, 2004. 25p.
- ANDREO, B. et al. **Karst groundwater protection: First application of a Pan-European Approach to vulnerability, hazard and risk mapping in the Sierra de Líbar (Southern Spain)**. Science of the Total Environment, 357 (2006) 54 – 76.
- ARTUSO, E.; OLIVEIRA, M.M.; FERREIRA, J.P.C. - **Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas no setor de Évora do Sistema Aquífero de Évora - Montemor - Cuba**. IN: ÁGUA SUBTERRÂNEA: AQUÍFEROS COSTEIROS E ALUVIÕES, VULNERABILIDADE E APROVEITAMENTO. Editora Universitária da UFPE, p. 277 - 331, v.4, 446 p; 2004.
- AUGE, M. **Primer Curso de Posgrado de Hidrogeología Ambiental**. UBA: 1-65. Buenos Aires. 1995.
- AUGE, M. **Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos y metodos**. Buenos Aires: Universidade de Buenos Aires, 2003. Disponível em: <http://www.tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>>. Acesso em: 4 jan.2013.
- AUGE, M. **Vulnerabilidad de Acuíferos**. Universidad de Buenos Aires – Departamento de Ciencias Geológicas. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, n.4, p.85-103, 2004.
- BARBOSA, J. F.; DOMINGUEZ, J. M. L.; LEÃO, Z. M. A. N. 1992. **Bacia de Irecê - uma rampa carbonática no Proterozóico Superior no Estado da Bahia**. In: Simp. Geol. Minas Gerais, 6, Ouro Preto, 1991. Anais Ouro Preto, SBG/NMG: 97-98.
- BARBOSA J.S.F. & DOMINGUEZ & LANDIM J.M. 1996. **Texto Explicativo para o Mapa Geológico do Estado da Bahia** – Esc. 1:1000.000. Secretária da Indústria, Comércio e Mineração do Estado da Bahia, SGM/PPPG/FAPEX/CPGG. Salvador-BA, 295p.
- BARBOSA, J. S. F. & SABATÉ, P. Colagem Paleoproterozoica de Placas Arqueanas do Cráton do São Francisco na Bahia. In: *Revista Brasileira de Geociências*, 2003, **33(1-Suplemento): 7-14**.

BONFIM, L.F.C.; ROCH, A.J.D.; PEDREIRA, A.J.; MORAIS, J.C., P; GUIMARES, J.T.; TESCH, N.A. 1985. **Projeto Bacia de Irecê**. Salvador, CPRM. (Relatório Final).

BRANNER, J.C. **The Tombador Escarpment in the State of Bahia**. Amer.Jour.Sci., New Haven, v. 30, n. 179; 335-343, 1910a.

BRANNER, J. C. 1911. **Aggraded Limestone Plains of the interior of Bahia and Climatic Changes Suggested by them**. Geological Society of America Bulletin, v. 22 (2): 187-206.

BRANNER, J.C. Resumo da Geologia do Brasil para acompanhar o Mapa Geológico do Brasil. Geol.Soc.Am.Bull., v.30, n.2, p.189-338. 1919. il. Trad de: Outlines of the geology of Brazil to ac-company the geological map of Brasil.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL Folha SD. 24 Salvador**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981.

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. **Poços Tubulares e outras captações de águas subterrâneas - orientação aos usuários**. Rio de Janeiro, Brasil: SEMADS, SEINPE, 2001. 67 p.

CARBONELL, A. **Groundwater vulnerability assessment: predicting relative contamination potential under conditions of uncertainty**. Washington: National Research Council, 1993.

_____. **Catálogo de Imagens**. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br>>. Acessado em: 24 setembro 2009.

CHAVEZ, P.S, Jr.; BERLING, G.L.; SOWERS, L.B. 1982. **Statistical method for selecting Landsat MSS ratios**. Journal of Applied Photographic Engineering. 8:23-30.

COUTO, P. A. A.; SAMPAIO, A. R.; GIL, C. A. A.; LOUREIRO, H. C.; ARCANJO, J. B.; FERNANDES FILHO, J. F.; GUIMARÃES J. T. **Projeto Serra de Jacobina**: geologia e prospecção geoquímica, relatório final. Salvador: Companhia e pesquisa de recursos minerais, 1978. Convênio Departamento Nacional de Produção Mineral – Companhia de Pesquisa Mineral.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) – Serviço Geológico do Brasil (2005). **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Diagnóstico do Município de Antônio Gonçalves, Estado da Bahia**. Salvador. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 10 de janeiro de 2013.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) – Serviço Geológico do Brasil (2005). **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Diagnóstico do Município de Jacobina, Estado da Bahia**. Salvador. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso em: 10 de janeiro de 2013.

CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) – Serviço Geológico do Brasil (2010). **Geobank**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acessado em: 01 de Dezembro de 2012.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 4 ed. , 2002.

CRÓSTA, A.P. 1992. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas - SP: IG /UNICAMP. 170p.

CUNHA, T. J. F; MANZATTO, C. V.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI, F.; FILHO, B. C. **Diferenciação Pedológica e Alteração de Rochas Calcárias na Região de Irecê, BA**. Estado da Arte. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária N°6, dezembro 1999, p.1-6.

CUSTÓDIO, E. Consideraciones sobre el concepto de vulnerabilidad de los acuíferos a la polución. In: _____. **Seminário Hispano – Argentino sobre temas actuais de hidrologia subterrânea**, 2., 1995, San Miguel de Tucumán. Anais... San Miguel de Tucumán: [s. n.], 1995. p. 99-122.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA) 1991. *Integrated Risk Information System (IRIS)*, Washington, D.C.

DOMINGUEZ, J. M. L. 1993. **As Coberturas do Cráton do São Francisco: Uma Abordagem do Ponto de Vista da Análise de Bacia**. In: Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo (Bahia-Sergipe), p. 137-159.

DOMINGUEZ, J. M. L. **As Coberturas Plataformais do Proterozoico Médio e Superior**. In: BARBOSA, J.S.F .& DOMINGUEZ, J.M.L. (eds). Mapa Geológico do Estado da Bahia, Texto Explicativo, 1996, p. 109-112.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 33 p.

FOSTER, S. S. D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In: _____. **Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e protecção dos aquíferos de Portugal**. IV Congresso da Água. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Lisboa, 1987.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R. C. A. **Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data**. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual, Lima, Peru. 81pp, 1988.

FOSTER, S; HIRATA, R. **Determinación del riesgo da contaminación de águas subterrâneas: uma metodologia baseada em dados existentes**. Lima: CEPIS, 1991.

FOSTER, S. S. D.; HIRATA, R.; GOMES D.; D' ELIA M.; PARIS M. **Groundwater quality protection: a guide for water service companies, municipal authorities and environment agencies**, 2002. The International Bank for Reconstruction and

Development/The World Bank. Edição brasileira: Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. São Paulo Brasil, 2006.

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** 3ª ed. Washington: Banco Internacional de Reconstrução e desenvolvimento - Banco Mundial, 2006. 114 p

FOSTER, S. et al. **Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais.** São Paulo: SERVIMAR, 2006. 114 p.

GOVERNO DO ESTADO DA BAHIA (1995). **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Itapicuru** - Documento síntese. Salvador, 242p.

GUERRA, A. M. e NEGRÃO F. I. **Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia.** Anais do IX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Salvador, Bahia. 1996.

GUIMARÃES, J. T. & DOMINGUEZ, J. M. L. 1995. **Caracterização Faciológica da Formação Bebedouro (Proterozóico Superior) no Estado da Bahia.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 8, 1995, Diamantina. Anais... Diamantina: SBG - Núcleo Minas Gerais, Instituto de Geociências da UFMG, (Boletim, 13) 148p. il. p. 107-108.

HIRATA, R. C. A. & REBOUÇAS A. **La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, basada en perímetros de protección de pozos y vulnerabilidad de acuíferos.** Noviembre 2001. Disponível em: <<http://www.medioambienteonline.com>> Acessado em: 15 jan. 2012.

HIRATA, R, ZOBBI, J., FERNANDES, A. & BERTOLO, R. 2006. **Hidrogeología del Brasil: una breve crónica de las potencialidades, problemática y perspectivas.** Boletín Geológico y Minero 217(1): 25-36.

HIRATA, R. C. A. - **Oito perguntas e oito tentativas de respostas sobre a Vulnerabilidade à poluição de aquífero.** In: _____ . Seminário Taller, 1. 2001, São Paulo.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, IBGE. **Noções Básicas de Cartografia.** Rio de Janeiro, 1998.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Manuais Técnicos em Geociências número 4. **Manual Técnico de Pedologia.** 2ª edição. Rio de Janeiro: 2007. Não paginado. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/...tecnicos/manual_tecnico_pedologia.pdf. Acessado em: 03 de janeiro de 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Folha Cartográfica Campo Formoso (SC.24-Y-B-IV). Escala 1:100.000, 1967.

IBGE - **Instituto Brasileiro de Geografia Estatística**, 1986. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acessado em: 13 nov 2012.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, IBGE. **Introdução ao Processamento de Digital de Imagens**. Primeira Divisão de Geociências do Nordeste. Rio de Janeiro, 2001.

JACOMINE, P. K. T. **Solos sob caatinga: características e uso agrícola**. In: ALVAREZ, V.; F., V. H.; FONTE, M. F. P. (Eds.). O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MG: SBCS/UFV, 1996. p. 95-112.

JAKOB, A. A.E. A. **Krigagem como Método de Análise de Dados Demográficos**. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais. Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil de 4 a 8 de novembro de 2002.

LEAL, A. S. & BRITO NEVES, B. B. 1968. Elementos da estratigrafia do médio São Francisco. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 4º. Recife 1968. Resumo das Comunicações. Recife, SBG. P. 17-19.

LEÃO, Z. M. A. N. & DOMINGUEZ, J. M. L. 1992. **O Caráter da Sedimentação Carbonática no Proterozóico Superior: o exemplo da Bacia de Irecê**. Rev. Bras. Geoc, no prelo.

LEITE C. de M.M. **A Evolução Geodinâmica da Orogênese Paleoproterozóica nas regiões de Capim Grosso-Jacobina e Pintadas-Mundo Novo (Bahia-Brasil): Metamorfismo, Anatexia e Tectônica**. 2002. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Tese de Doutorado, 411p.

LEO, G. W.; COX, D. P.; CARVALHO, J. P. P. **Geologia da parte sul da Serra de Jacobina, Bahia, Brasil**. In: Boletim 209. Salvador: Departamento Nacional de Produção Mineral, DGM, 1964, 87p.

LILLESAND, M.T. & KIEFER, R.W. 1994. **Remote sensing and image interpretation**. 3ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 750p

LIU, J. G. 1991. **Balance contrast enhancement techniques and its application in image colour composition**. Int. J. Remote Sensing. 12(10):2133-2151.

MAIA, P.H.P. **Um novo método para avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos**. 2011. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, UFBA, 2011.

MASCARENHAS J. F., LEDRU P., SOUZA S. L., CONCEIÇÃO FILHO V. M., MELO L. F. A., LORENZO C. L., MILÉSI J. P. 1998. **Geologia e recursos minerais do Grupo Jacobina e da parte sul do Greenstone Belt de Mundo Novo**. Série Arquivos abertos, nº13, CBPM. 58 p.

MARINHO M. M. 1991. **La séquence volcano-sédimentaire de Contendas-Mirante et la bordure occidentale du bloc Jequié (Cráton du São Francisco, Brésil): Un exemple de transition Archéean- Proterozóique**. Universidade Blaise Pascal, Clermont Ferrand II, França. Tese de Doutorado. 388 p.

MEDEIROS, M. M., et al. Mapeamento da vulnerabilidade de parte da Bacia Sedimentar do Baixo Curso do rio Paraíba utilizando o método GOD. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, XV, 2011 Curitiba, PR, Brasil. **Anais**. INPE, 30 de abril a 05 de maio de 2011. p.3822.

MELO, R. C.; LOUREIRO, H. S. C.; PEREIRA, L. H. M. (Org.) Mapa geológico (1:250.000), folha Serrinha SC. 24-Y-D, Estado da Bahia. Salvador: SMM, 1995. (Programa de Levantamento básico do Brasil, CPRM).

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Organizadores). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília 2012.

Disponível em: <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acessado em: 12 de fevereiro de 2013.

MISI, A. 1993. **A Sedimentação Carbonática do Proterozóico Superior no Cráton do São Francisco: Evolução Diagenética e Estratigrafia Isotópica**. II Simp. Cráton São Francisco. Anais, p. 192-193.

MONTEIRO, A. B.; FREIRE, P. K. C.; BARBOSA, G. F.; CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, S. R. **DRASTIC: Vulnerabilidade do Aquífero Barreiras nos Bairros de Ibura e Jordão - Recife - Pernambuco**. In: XV Congresso Brasileiro de Águas subterrâneas e XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 2008, Natal - RN. XV Anais do Águas subterrâneas e XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. São Paulo: ABAS, 2008. v. 1. p. 1-20.

NÁPRAVNÍK, L.A.P. **Características Geoquímicas, Petrográficas e Metalogenéticas dos Flogopititos de Carnaíba e Socotó, Bahia**. 2011, 10p. Trabalho Final de Graduação, Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

NEGRÃO F. I. **Caracterização Hidrogeoquímica e Vulnerabilidade do Sistema Hidrogeológico Cárstico da Região de Irecê-Ba**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP, 1987.

NEGRÃO, F. I. et al. **Hidrogeologia como um dos Critérios de Desertificação**. Anais do XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. São Luís/MA. 31 de agosto a 03 de setembro de 2010.

NOBRE, R.C.M. – **Avaliação de Risco para o Uso e Proteção de Aquíferos. Estudo de Caso: Região Metropolitana de Maceió**. Tese de Doutorado, Dep. Eng. Civil, COPPE/UFRJ, 296, 2006. Disponível em: www.coc.ufrj.br. Acesso em: 28 de dezembro de 2012.

OLIVEIRA, L. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos no Brasil: guia auxiliar para o seu reconhecimento**. 2ª ed. Jaboticabal. FUNEP, 1992. 201p.

OLIVEIRA, E.P., CARVALHO, M. J, MCNAUGHTN, N. J. 2004. Evolução do Segmento Norte do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá: Cronologia da Acresção de Arcos, Colisão Continental e Escape de Terrenos. Geologia USP: Série Científica, v. 4, n. 1, 2004, p. 41-53.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 2ª Edição. Piracicaba, FEALQ, 2005. 574p

PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF.** Salvador, 28 de junho 2004.

ROSA. Roberto, **Revista do Departamento de Geografia**, 16 (2005) 81-90.

RUDOWSKI, L. **Petrologie et geochemic des granites transamazoniens de Campo Formoso et Carnaíba (Bahia, Brésil), et des philogopitites a emeraudes associees.** 1989. 342 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Université Paris VI, França.

SABATÉ, P., LEDRU, P., MILESE, J.P., SILVA, H. M., MELO, L. F. A. **Evolução Estrutural da Bacia de Jacobina (Bahia, Brasil).** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Camboriú, Boletim de resumo expandido, Camboriú: SBG, 1994. v.1, p. 228-229.

SABATÉ, P., MARINHO, M.M., VIDAL, P., CAEN-VACHETTE, M. **The 2 - Ga peraluminous magmatism of the Jacobina-Contendas Mirante belts (Bahia, Brazil): geology and isotopic constrains of the sources.** Chemical Geology, Amsterdam, v.83, n.3/4, p.325-338, 1990.

SAMPAIO A. R.(org.) 1995. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.** Jacobina. Folha SC-24-Y-C. Escala 1: 250.000. DNPM/CPRM/SUREG-SA. 64 p.

SAMPAIO, A.R. (org) Geologia. In: _____(org) et al. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB. Jacobina – Folha SC.24-Y-C, Estado da Bahia:** Escala 1:250.000.Brasília:CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001, cap .1, p.1-44.

SANTOS, P.R.P. **Estudo da vulnerabilidade à poluição do aquífero Marizal na região de influência do Pólo Industrial de Camaçari (PIC).** Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica - UFBA. Salvador, 2010

SATO, K. **Síntese geocronológica do Estado da Bahia e evolução crustal, com base no diagrama de evolução Sr e razões iniciais Sr87/ Sr86.** 1986. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SIAGAS - **Sistema de Informação de Águas Subterrâneas** (2010). Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>. Acessado em: 02 de Dezembro de 2012.

THAYER, T. P. **Notes on the geology resources of some peridotites and related rocks in Brasil.** USGS/AID, 1970. 24p (Project Report Brazilian Investigation - BR - 32).

TOPITSCH, W. M. Geoquímica e petrologia dos ultramafitos e mafitos da Serra de Jacobina, Bahia: komatiitos, basalto de alto Mg e toleítos numa bacia oceânica intracontinental. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DE SÃO FRANCISCO, 2, 1993, Salvador, **Anais**, Salvador: SBG/SGM, 1993. p. 109-111.

TROLEIS, A.L., *et al.* **Uso de geotecnologias na definição da localização de uma barragem e suas implicações legais.** Sociedade e Território, Natal, v. 24, nº 2, p. 189 - 208, jul./dez. 2012.

VRBA, J. & ZAPOROZEC, A. – **Guidebook on mapping groundwater vulnerability.** International Association of Hydrogeologist. Verlag Heinz Heise, v 16. 131 pp; 1994.

AGEITEC - **Agência Embrapa de Informação Tecnológica.** Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/especies_arboreas_brasileiras/arvore/. Acesso em: 01 de fevereiro de 2013.

INEMA – Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: www.inema.ba.gov.br. Acesso em: 28 de janeiro de 2013.

COLÉGIO 7 FONTES. Disponível em: <http://7fbiolugar.blogspot.com.br/2012/06/fontes-de-poluicao-aquatica.html>
Acesso em: 10 de março de 2013.

CPRM 2010 – GEOBANK. CPRM - GEOBANK - Download de arquivos vetoriais. Disponível em: <http://geobank.sa.cprm.gov.br/>. Acessado em: 05 de janeiro de 2013.

<http://www.dpi.inpe.br/spring/>

<http://www.goldensoftware.com/products/surfer>

<http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis>

<https://maps.google.com/maps>