

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA: CARACTERIZAÇÃO
REGIONAL E PROPOSTAS DE GESTÃO**

MARCIA TEREZA PANTOJA GASPAR

TESE DE DOUTORADO Nº 76

Orientador

JOSÉ ELOI GUIMARÃES CAMPOS

BRASÍLIA

2006



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA: CARACTERIZAÇÃO
REGIONAL E PROPOSTAS DE GESTÃO**

MARCIA TEREZA PANTOJA GASPAR

TESE DE DOUTORAMENTO

Orientador

JOSÉ ELOI GUIMARÃES CAMPOS

Co-Orientador

ROBERTO ALEXANDRE VITÓRIA DE MORAES

Banca Examinadora:

José Eloi Guimarães Campos (Orientador)

Gerson Cardoso da Silva Junior

Leila Nunes Menegasse Velásquez

Carlos Tadeu Carvalho do Nascimento

Carlos José Souza de Alvarenga

BRASÍLIA

2006

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família e amigos

*"É preciso de saber os trechos de se descer para
Goiás, o chapadão por lá vai terminando, despenha.*

*Tem quebra-cangalhas e ladeiras vermelhas
terríveis...Por aí estremando, se chegava até no
Jalapão."*

*"O chapadão é sozinho – largueza...Ali chovia?
Chove - e não encharca poça, não rola enxurrada,
não produz lama: a chuva inteira se sorvete em um
minuto terra a fundo, feito um azeitinho entrador."*

Grande Sertão: Veredas

João Guimarães Rosa

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, minha força e garra interior e pelas bênçãos em minha vida.

Quero expressar meus sinceros agradecimentos a todos que foram essenciais para a realização deste trabalho, em especial:

A toda minha família pelo incentivo, compreensão, investimento, educação, amor. Em especial ao André, que foi meu alicerce profissional e pessoal nesse trabalho; pela sua dedicação ao trabalho e pelo seu amor.

Ao CNPq pela concessão da bolsa e pelo financiamento do projeto Edital Universal 472575/03-1.

Ao professor José Eloi pela sua orientação e ativa participação em todas as etapas deste trabalho; pela sua companhia nos trabalhos de campo, pela transmissão de conhecimento, pela sua presteza na orientação.

Ao professor Roberto de Moraes pela sua orientação e atenção nos assuntos da geofísica.

Aos fazendeiros da região do oeste da Bahia que nos atenderam com gentileza e nos forneceram informações e relatos importantes para o desenvolvimento desta pesquisa, além de nos acolherem em suas propriedades com acampamento. Ao agrônomo Rildo.

A Mauerberg Poços Artesianos Ltda, nas pessoas do Sr. Edgar, Edson e da Sra. Sueli, pela sua simpática recepção e pela cessão de fotos e relatórios de poços perfurados na região.

A CERB pela cessão dos dados de poços perfurados pela empresa na região.

Ao INMET pela cessão de dados meteorológicos da região.

A HGEO pela disponibilidade de uso de computadores e software e ao geólogo Heitor pela sua ajuda com o software de geofísica.

Aos funcionários Osmar, "Serjão", "Tião", Estela, Bubu, Francisca, Marcos, Rômulo, Rogério e Abel, Fátima, e todos do Instituto de Geociências que me deram apoio técnico nessa empreitada.

Ao João Pacheco pela sua amizade e profissionalismo; pela transmissão de seus conhecimentos e práticas de geofísica e do nosso Cerrado. A toda equipe de geofísica Mauro, Vilmes, Sandoval, Eduardo, Eloi, Márcio, pela dedicação, respeito e responsabilidade nos trabalhos de campo e acampamentos.

Ao Zilberto e Correa pelo seu profissionalismo, responsabilidade e amizade que cativamos ao longo das campanhas de campo.

Aos meus queridos amigos: Luciana, Maria, Sandrine, Glória, Andréa, Ana Maria, Sandra, Fátima, Cíntia, Bárbara, Poliana, Eristelma, Fátima; Wilton, Enéas, Caio, Marcos, Cláudio, Magno, Luciano, e todos os amigos que fiz na UnB.

RESUMO

O Sistema Aquífero Urucuia (SAU) representa um manancial subterrâneo de extensão regional, composto por subtipos de aquíferos inter-relacionados. O aquífero é constituída de quartzo arenitos e arenitos feldspáticos eólicos, bem selecionados, com presença de níveis silicificados, e em menor proporção níveis conglomeráticos, relacionados ao Grupo Urucuia, Neocretáceo da Bacia Sanfranciscana, cobertura fanerozóica do Cráton São Francisco.

A área efetiva do SAU estende-se por 76.000 km² desde o sul do Piauí até o noroeste de Minas Gerais, com maior expressão no oeste da Bahia. Apresenta um eixo divisor longitudinal que separa o fluxo subterrâneo para o oeste (bacia hidrográfica do Tocantins) e para leste (bacia hidrográfica do São Francisco). À oeste do divisor há um aumento progressivo da profundidade da superfície potenciométrica, caracterizada por níveis estáticos profundos. Os dados disponíveis admitem a proposição de quatro subtipos de aquíferos no SAU: aquífero livre regional; aquífero suspenso local; aquífero confinado ou semiconfinado e aquífero livre profundo.

Os parâmetros hidrodinâmicos são os seguintes: condutividade hidráulica (K) de 10⁻⁶ a 10⁻⁷ m/s e transmissividade (T) de 10⁻⁴ a 10⁻⁵ m²/s para o aquífero livre regional; K=10⁻⁶ m/s e T=10⁻³ m²/s para o aquífero livre profundo; K=10⁻⁵ m/s, T=10⁻³ a 10⁻² m²/s e coeficiente de armazenamento (S) de 10⁻⁴ para o aquífero confinado ou semiconfinado.

As espessuras das rochas do Grupo Urucuia variaram da ordem de 100 a 600 metros nos 27 pontos avaliados pelo estudo geofísico, com uso do método de sondagem eletromagnética. As espessuras saturadas no SAU variam de cerca de 80 a 460 metros.

O balanço hidrogeológico realizado em uma área específica do SAU no período de 1982 a 2002 mostrou que a recarga na zona saturada do SAU representa cerca de 24% da precipitação. O fluxo de base representa em média 90% do escoamento total registrado nas estações no período avaliado. No balanço que avaliou a zona saturada do SAU como sistema obteve-se o valor da soma do armazenamento na zona saturada com o volume transmitido para os aquíferos subjacentes (embasamento). Esse valor representa 17% em relação a recarga na zona saturada do SAU nessa área e apenas 4% em média da precipitação, para o período considerado.

A reserva permanente do SAU totaliza 3,77·10¹² m³; a reserva reguladora obtida foi de 30,78·10⁹ m³/ano, enquanto que a reserva explorável foi de 4,0778·10¹¹ m³. Como contribuição para o sistema de gestão sugere-se: monitoramento sazonal dos níveis estáticos; implantação efetiva da outorga pra todos os poços; cadastramento universal do número e tipos de usuários da água subterrânea; implantação da cobrança pelo uso da água; melhoria na fiscalização ambiental no que tange à manutenção das reservas legais; realização de campanhas educativas quanto ao uso racional e valor econômico da água e incentivo à aplicação da técnica de captação da água da chuva e armazenamento para uso na pulverização ou para usos menos exigentes.

ABSTRACT

The Urucuia Aquifer System (UAS) represents a groundwater reservoir of regional extension, composed by related aquifers subtypes. The aquifer is constituted by aeolian quartz and feldspatic sandstones, well selected, with the presence of silicified levels, and in smaller proportion conglomeratic levels, related to the Urucuia Group, Upper Cretaceous of the Sanfranciscana Basin, the Phanerozoic São Francisco Craton cover.

The effective area of UAS extends for 76.000 km² from the south of PiauÍ state to the northwest of Minas Gerais state, with the larger expression in the west of Bahia state. It presents a longitudinal divisor axis that separates the flow to the west (Tocantins river watershed) and to east (São Francisco river watershed). Westward of the divisor there is a progressive increase in the depth of the potentiometric surface, characterized by deep static levels. The available data allows the proposition of four aquifers subtypes in the UAS: regional free aquifer; perched local aquifer; confined or semi-confined aquifer and deep free aquifer.

The hydrodynamic parameters are: hydraulic conductivity (K) of 10⁻⁶ to 10⁻⁷ m/s and transmissivity (T) of 10⁻⁴ to 10⁻⁵ m²/s (regional free aquifer); K=10⁻⁶ m/se T=10⁻³ m²/s (deep free aquifer); K=10⁻⁵ m/s, T=10⁻³ to 10⁻² m²/s and storage coefficient (S) of 10⁻⁴ (confined or semi-confined aquifer).

The thickness of the Urucuia Group rocks vary from 100 to 600 meters in the 27 points submitted by geophysics study, with use of the electromagnetic vertical sounding. The saturated thickness in the UAS, vary from 80 meters up to 460 meters.

The hydrogeologic budget applied to a specific area of the UAS for the period from 1982 to 2002 showed that the recharge in the saturated area of the system is about 24% of the rain precipitation. The base flow represented 90% of the total discharge registered in the stations in the period. The budget that evaluated the saturated area as the observation system it was obtained the sum of the storage in the saturated area plus the volume transmitted for the underlying aquifers (basement rocks). This value represents 17% of the recharge in the saturated area of the UAS in that area and only 4% of the precipitation, for the considered period.

The permanent reserve of the UAS is 2.46·10¹² m³, the renewable reserve was of 3.13·10¹⁰ m³/year, while the exploitable reserve was about 3.13·10¹⁰ m³. The following activities are suggested to the management of the system: seasonal monitoring of the static levels; data collection for the majority of the wells including the number and types of users of the groundwater; application of economic parameters to the use of water; improvement in the environmental monitoring with respect to the maintenance of natural areas; observe the rational use of the water and to develop the technique of storage of rainwater to use in plantation pulverization.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVAS	1
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	3
1.3 OBJETIVOS	4

CAPÍTULO II

MÉTODOS E ASPECTOS TEÓRICOS	6
2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS	6
2.2 GEOLOGIA	8
2.3 GEOFÍSICA	8
2.4 HIDROGEOLOGIA	9
2.4.1 Zona Vadosa	9
2.4.2 Caracterização do Sistema Aquífero	11
2.4.3 Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos	12
2.4.3.1 <i>Aquífero Confinado</i>	13
2.4.3.2 <i>Aquífero Livre</i>	15
2.4.4 Elaboração do Balanço Hidrogeológico	17
2.4.5 Estimativas das Reservas Hídricas Subterrâneas	19

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	21
3.1 CONTEXTO GEOLÓGICO	21
3.1.1 Embasamento	21
3.1.2 Bacia Sanfranciscana	26
3.2 GEOMORFOLOGIA	38
3.3 PEDOLOGIA	42
3.4 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS	43
3.5 HIDROLOGIA	47
3.6 HIDROGEOLOGIA	53

CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA	56
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	56
4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA VADOSA DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA	57
4.3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA	67

4.4 SUBTIPOS DE AQUÍFEROS E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL	74
4.5 PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	79
4.5.1 Produtividade dos Poços	88
CAPÍTULO V	
BALANÇO HIDROGEOLÓGICO	90
5.1 SISTEMA E VARIÁVEIS DO BALANÇO	90
5.2 O BALANÇO	94
5.3 FLUXO DE BASE (SISTEMA AQUÍFERO X SISTEMA DE DRENAGEM)	99
CAPÍTULO VI	
GEOFÍSICA	105
6.1 ESTUDOS ANTERIORES	105
6.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	108
6.2.1 Aplicações em hidrogeologia	113
6.3 RESULTADOS	114
6.3.1 Aquisição dos dados	114
6.3.2 Tratamento e interpretação dos dados	117
6.3.3 Apresentação dos resultados finais	122
CAPÍTULO VII	
CONSIDERAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	130
7.1 ASPECTOS GERAIS DE USO E OCUPAÇÃO	130
7.2 RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS	137
7.3 SUGESTÕES PARA INTERVENÇÕES E MONITORAMENTO	141
CAPÍTULO VIII	
DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	144
CAPÍTULO IX	
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149

ANEXOS

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SIGLAS

AIBA – Associação de Agricultores e Irrigantes do Oeste da Bahia.

ANA – Agência Nacional de Águas

APA – Área de Proteção Ambiental

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral.

CERB – Companhia de Engenharia Rural da Bahia

CPRM – Companhia Brasileira de Pesquisas Minerais/Serviço Geológico do Brasil.

DOS – Disk Operating System (sistema operacional)

EE – Estação Ecológica

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

FUAD RASSI – Fuad Rassi Engenharia, Comércio e Indústria Ltda.

FGV – Fundação Getúlio Vargas.

FN/FLONA – Floresta Nacional

FUNATURA – Fundação Pró-Natureza (organização não-governamental)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

LEM – Luís Eduardo Magalhães (BA)

MAUERBERG – Mauerberg Poços Artesianos Ltda.

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PN – Parque Nacional

PNRH – Política Nacional dos Recursos Hídricos

RVS – Refúgio da Vida Silvestre

SAU - Sistema Aquífero Urucuia

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SRH BA – Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia

UC's – Unidades de Conservação

UFBA – Universidade Federal da Bahia

SÍMBOLOS

K_v – Condutividade hidráulica vertical (m/s)

K_h – Condutividade hidráulica horizontal (m/s)

T – Transmissividade (m^2/dia)

Q – Vazão (m^3/s)

K – Condutividade Hidráulica (m/s)

Q/s – Vazão ou Capacidade Específica ($m^3/h/m$)

S – Coeficiente de armazenamento ou armazenamento (adimensional)

S_y – Coef. de armazenamento específico ou armazenamento específico (adimensional)

s – Rebaixamento (m)

s' – Recuperação (m)

NE - Nível estático (m)

ND - Nível Dinâmico (m)

P – Precipitação (mm)

I – Infiltração

LVA – Latossolos Vermelho-Amarelos

NQ – Neossolos Quartzarênicos

ETP – Evapotranspiração Potencial (mm)

E_s – Escoamento superficial (m^3/s)

Q_i – Interfluxo ou fluxo subsuperficial (m^3/s)

Q_b – Fluxo de Base (m^3/s)

V – Volume (m^3)

R – Recarga (m^3)

Ω - Ohm

ρ - Resistividade

ρ_a – Resistividade Aparente

B - indução magnética ($Wb/m^2=$ Tesla)

H - intensidade do campo magnético (A/m)

E - intensidade do campo elétrico (volts/m)

D - deslocamento elétrico (Coulomb/ m^2)

J - densidade de corrente elétrica (A/ m^2)

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1 – Mapa de localização da área de estudo. 4

CAPÍTULO II

Figura 2.1 – Organograma metodológico aplicado ao desenvolvimento da presente tese de doutoramento. 7

Figura 2.2 – Vista esquemática do método dos anéis concêntricos. 10

Figura 2.3 – Exemplo de gráfico utilizado para interpretação de dados de aquífero livre pelo método de Neuman (1975), no software Aquifer Test Pro 3.5®. 17

CAPÍTULO III

Figura 3.1 – Mapa de contextualização tectônica da Bacia Sanfranciscana. Fonte: (Campos & Dardenne, 1997b). I – Arco do Alto Paranaíba; II – Alto do Paracatu; III – Arco do São Francisco) .22

Figura 3.2 – Mapa geológico simplificado da área em estudo. Modificado de CPRM (2002). 23

Figura 3.3 - Coluna estratigráfica da Bacia Sanfranciscana. 27

Figura 3.4 – Conglomerado da Formação Serra das Araras, observado ao longo da BR-020. 35

Figura 3.5 – Afloramentos de arenitos do Grupo Urucuia, na rodovia GO – 463, de acesso à cidade de São Domingos. 36

Figura 3.6 - Unidades de relevo da área de estudo e adjacências. Modificado de IBGE (1993). 38

Figura 3.7 - Vista da borda oeste da Serra Geral de Goiás, região do vale do rio São Domingos (GO).. 39

Figura 3.8 – Vista do limite norte do Chapadão Central, na região do Jalapão (TO).. 40

Figura 3.9 – "Morro do Moleque". Feição de relevo da Serra Geral de Goiás. Vista da GO -463, região de São Domingos (GO) 40

Figura 3.10 - Colunas ruineformes na borda oeste da Serra Geral de Goiás, na região de Roda Velha (BA). 41

Figura 3.11 – Feições ruineformes em arenitos do Grupo Urucuia, comuns na região do aeroporto de Barreiras (BA). 41

Figura 3.12 - Mapa de isoietas do oeste da Bahia. Período de 1982 à 2002. 44

Figura 3.13 - Gráfico das precipitações médias mensais para o período de 1982 a 2002, nas estações pluviométricas Posse, Correntina, Fazenda Prainha e Ponte Serafim-Montante. 44

<i>Figura 3.14 - Gráficos dos balanços hídricos climatológicos das estações meteorológicas de Barreiras (a) e Posse (b), para o período de 1995 a 2005.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 3.15 - Contexto hidrográfico da região de ocorrência do Sistema Aquífero Urucuia.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 3.16- Vereda do rio Arrojado, com captação de água para irrigação por pivôs centrais.</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3.17 - Área de nascente do rio do Sono, região do Jalapão (TO).</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.18 - Rio das Balsas, próximo do limite ocidental do SAU.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.19 - Cachoeira no rio Sobrado, afluente do rio Palma, Taguatinga (TO). Instalações da PCH Sobrado.</i>	<i>49</i>
<i>Figura 3.20 - Rede de drenagem da região do oeste da Bahia, médio São Francisco.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 3.21- Enquadramento para os corpos de água para a região do médio rio São Francisco. Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004).</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3.22- Províncias hidrogeológicas e principais aquíferos brasileiros. Fonte: BRASIL/MMA/SRH/ANA, 2003.</i>	<i>53</i>

CAPÍTULO IV

<i>Figura 4.1 – Mapa de localização dos ensaios de infiltração realizados em Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) e Neossolos Quartzarênicos na região do Sistema Aquífero Urucuia, oeste baiano. .</i>	<i>58</i>
<i>Figura 4.2 –Sítios de realização dos ensaios de infiltração. A – área de leito de estrada bastante compactado; B – área de reflorestamento por eucalipto e C – área de cerrado nativo.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 4.3- Gráfico dos valores de Kv superficiais obtidos em Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Vermelho-Amarelos na região do oeste baiano.</i>	<i>61</i>
<i>Figura 4.4- Diagrama de textura dos solos dos pontos 03, 06, 08, 12 e 23 na região do oeste baiano. ...</i>	<i>62</i>
<i>Figura 4.5 - Gráfico dos valores Kv em nas profundidades (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros), dos pontos 6, 7 e 26, realizados em NQ no oeste baiano.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 4.6 - Gráfico dos valores de Kv nas profundidades (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros), dos pontos 10, 11, 13 16, 17, 18, 28, 29 e 30, realizados em LVA, com vegetação preservada no oeste baiano.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 4.7- Gráfico dos valores de Kv nas profundidades (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros), dos pontos 8, 12, 14, 22, 23, 24 e 27, realizados em LVA localizados em áreas com diversos tipos de manejos, no oeste baiano.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 4.8- Gráfico dos valores de Kv em diferentes profundidades (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros), realizados em LVA localizados em áreas com cerrado modificado, no oeste baiano</i>	<i>65</i>
<i>Figura 4.9- Correlação entre a condutividade hidráulica vertical e a composição granulométrica em latossolos.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 4.10 - Perfil leste-oeste esquemático do contexto geológico do Sistema Aquífero Urucuia no oeste da Bahia.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 4.11 - Área efetiva do Sistema Aquífero Urucuia, com representação dos poços do cadastro utilizados nesta pesquisa.</i>	<i>69</i>

<i>Figura 4.12 - Poços representativos da presença de arenitos do Grupo Urucuia sobre o sistema aquífero Bambuí. Poço à esquerda (Vereda dos Cocos) e poço à direita (Vereda do Sapé), São Desidério (BA). Fonte: cadastro CERB.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 4.13- Posicionamento aproximado do eixo divisor do fluxo subterrâneo no SAU.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4.14 – Mapa das áreas de recarga do Sistema Aquífero Urucuia e áreas de agricultura.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 4.15 – Mapa de delimitação espacial preliminar dos subtipos de aquíferos dentro da área efetiva do Sistema Aquífero Urucuia.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 4.16 – Exemplo de área indicativas da presença de aquíferos suspensos locais. Feições indicadas com setas. Recorte de fotografia (esquerda) e cena 220/68 da imagem Landsat 7/ETM (direita), composição RGB 5,4,3, de 2000.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 4.17 – Exemplo de poço perfurado em aquífero semiconfinado no SAU. Poço Nº 3 instalado na Fazenda Poletto (LEM). Modificado de Schuster et al. (2002).</i>	<i>78</i>
<i>Figura 4.18 - Modelo esquemático dos subtipos de aquíferos presentes no SAU. Perfil composto de uma seção EW e NS. Linha tracejada representa a superfície potenciométrica regional.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 4.19 – Gráfico de interpretação do ensaio de bombeamento do poço 1 da Fazenda Trijunção, pelo método de Neuman (1975).</i>	<i>81</i>
<i>Figura 4.20 – Gráfico de interpretação do ensaio de bombeamento do poço 2 da Fazenda Trijunção, pelo método de Neuman (1975).</i>	<i>81</i>
<i>Figura 4.21 - Gráfico de rebaixamento versus tempo do ensaio de bombeamento do poço CERB Nº 2 da Vila Rosário, Correntina (BA).</i>	<i>82</i>
<i>Figura 4.22 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço CERB Nº 2 na Vila Rosário, Correntina (BA), pelo método Neuman (1975).</i>	<i>83</i>
<i>Figura 4.23 – Gráfico do $s \times t$ referente aos ensaios com vazões de 510 e 631 m³/h no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 4.24 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro, pelo método Theis (1935).</i>	<i>85</i>
<i>Figura 4.25 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro, pelo método Cooper & Jacob (1946).</i>	<i>86</i>
<i>Figura 4.26 – Gráfico do $s \times t$ referente aos ensaios com vazões de 350 e 460 m³/h no poço nº 1 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 4.27 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 1 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas, pelo método Theis (1935).</i>	<i>87</i>
<i>Figura 4.28 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas, pelo método Cooper & Jacob (1946).</i>	<i>87</i>
<i>Figura 4.29 – Exemplos de poços de pivôs da Fazenda Hirata (a e b), São Desidério e da Fazenda Espírito Santo (c), Luís Eduardo Magalhães. Fotografias cedidas por: Mauerberg Poços Artesianos Ltda.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 4.30 – Exemplos de poços de uso doméstico, comuns nas sedes das fazendas.</i>	<i>89</i>

CAPÍTULO V

<i>Figura 5.1 – Área do SAU utilizado como sistema de observação para o balanço hidrogeológico.</i>	<i>91</i>
<i>Figura 5.2 – Apresentação esquemática das variáveis de entrada e saída do balanço hidrogeológico na zona vadosa (sistema) da área selecionada.</i>	<i>93</i>
<i>Figura 5.3 – Área do sistema do balanço hidrogeológico em interseção com as isoietas.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 5.4 – Gráfico de $Q \times t$ com ilustração da separação gráfica de Q_b na estação Mocambo.</i>	<i>99</i>
<i>Figura 5.5 – Gráfico de $Q \times t$ com ilustração da separação gráfica de Q_b na estação Correntina.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 5.6 – Gráficos de $Q \times t$ com ilustração da separação gráfica de Q_b na estação Arrojado.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 5.7 – Gráficos de $Q \times t$ com ilustração da separação gráfica de Q_b na estação Gatos.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 5.8 – Apresentação esquemática das variáveis de entrada e saída do balanço hidrogeológico na zona saturada (sistema) da área selecionada.</i>	<i>102</i>

CAPÍTULO VI

<i>Figura 6.1 - Perfis AA', BB' e CC', interpretados por Bonfim & Gomes (2004), baseados no projeto do levantamento gravimétrico do estado da Bahia, CPRM de 1980.</i>	<i>106</i>
<i>Figura 6.2 – Localização da bacia do rio das Fêmeas. Centro das SEV's. Fonte: Amorim Jr. (2003). .</i>	<i>107</i>
<i>Figura 6.3 - Esquema generalizado do princípio utilizado nos levantamentos dos métodos eletromagnéticos. Modificado de Reynolds (1997).</i>	<i>109</i>
<i>Figura 6.4 – Formas de onda no TEM. Fonte: McNeil (1990).</i>	<i>110</i>
<i>Figura 6.5 – Ilustração esquemática do fluxo das contra-correntes (eddy currents): (a) imediatamente após a interrupção da corrente, (b) algum tempo depois. Modificado de McNeil (1990).</i>	<i>110</i>
<i>Figura 6.6– Comportamento da "taxa de difusão" da máxima intensidade de corrente para um meio uniforme, a diferentes valores de resistividade. Fonte: McNeil (1980) apud Mills et al. 1988.</i>	<i>112</i>
<i>Figura 6.7 – Equipamentos utilizados na aquisição geofísica. (a) Sistema transmissor (GGT-10 e XMT-32); (b) Sistema receptor (antena TEM/3 e GDP-32).</i>	<i>115</i>
<i>Figura 6.8 – Configuração esquemática do arranjo in loop, quadrado de 350 x 350 metros, com a bobina receptora centralizada, utilizada no levantamento geofísico.</i>	<i>116</i>
<i>Figura 6.9 - Mapa de localização das estações geofísicas.</i>	<i>117</i>
<i>Figura 6.10 – Exemplos de gráficos brutos de campo, com frequência de 0,5; 1,0 e 2,0 Hz.</i>	<i>118</i>
<i>Figura 6.11 – Exemplos de gráficos brutos e modificações feitas, com indicação da área utilizada no tratamento final.</i>	<i>119</i>
<i>Figura 6.12 – Exemplos de pseudo-seções de loops alinhados aproximadamente na direção leste-oeste.</i>	<i>120</i>
<i>Figura 6.13 – Pseudo-seção integrada dos loops 17, 21, 22, 25 e 26.</i>	<i>121</i>
<i>Figura 6.14 - Exemplos de curvas de resistividade aparente ($\Omega.m$) versus tempo (s).</i>	<i>123</i>

<i>Figura 6.15 - Curvas interpretadas e modelos dos loops 02 e 06, Formosa do rio Preto (BA).</i>	124
<i>Figura 6.16- Curvas interpretadas e modelos dos loops 12 e 17, município de São Desidério (BA), parte central da área.</i>	125
<i>Figura 6.17 - Curvas interpretadas e modelos dos loops 12 (teste) e 24, município de Jaborandi (BA), parte sul da área.</i>	125
<i>Figura 6.18 – Mapa de isópacas das rochas do Grupo Urucuia, na sub-bacia Urucuia, parte norte da Bacia Sanfranciscana.</i>	126
<i>Figura 6.19 – Perfis geológicos integrados pelos resultados da investigação geofísica.</i>	128

CAPÍTULO VII

<i>Figura 7.1 – Gráfico de representação da área total de cobertura nativa na região do oeste da Bahia, nos anos de 1985 e 2000. Fonte EMBRAPA (2003).</i>	131
<i>Figura 7.2 – Vista aérea de uma típica lavoura (a) e pivôs de irrigação (b) na região do oeste baiano. Fonte: Fotografia tomada por satélite ou avião, Google Earth®.</i>	132
<i>Figura 7.3 – Gráfico representativo da quantidade de outorgas de águas concedidas pela SRH-BA, na região do oeste da Bahia, nos anos de 2003, 2005 e 2006. Fonte: SRH-BA (2006).</i>	133
<i>Figura 7.4 – Gráfico representativo do aumento da vazão outorgada pela SRH-BA, referente à água subterrânea, na região do oeste da Bahia, nos anos de 2003, 2005 e 2006. Fonte: SRH-BA (2006).</i>	133
<i>Figura 7.5 – Representação percentual de outorgas de águas subterrâneas no SAU, destinados a diferentes usos. Fonte: SRH-BA.</i>	134
<i>Figura 7.6 – Mapa de localização das unidades de conservação na região do oeste baiano. Limites das aproximados produzidos pelo IBAMA/DIREC/SIUC (exceto APA da Bacia do rio de Janeiro).</i>	136
<i>Figura 7.7 – Exemplo de sistema de captação e reservação de água da chuva para uso em aspersão de agrotóxico, Fazenda São Luiz.</i>	142
<i>Figura 7.8 – Disposição irregular em solo "nu" de embalagens de agrotóxicos, em lavoura de soja situada próximo à Vila Rosário, Correntina (BA).</i>	143

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 3.1 - Parâmetros hidrodinâmicos obtidos do SAU no oeste baiano.</i>	<i>55</i>
<i>Tabela 4.1 - Valores de K_v e breve descrição da área e tipo de solo no oeste baiano.</i>	<i>60</i>
<i>Tabela 4.2 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em poços do aquífero livre regional.</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 4.3 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no poço CERB Nº 2 (Vila Rosário, Correntina-BA). ..</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 4.4 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em poços do aquífero confinado ou semiconfinado, obtidos com o método de Theis (1935).</i>	<i>83</i>
<i>Tabela 4.5 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em poços do aquífero confinado ou semiconfinado, obtidos com o método de Cooper & Jacob (1946).</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 4.6 – Valores de vazão específica obtidos de ensaios realizados em poços de pivôs.</i>	<i>88</i>
<i>Tabela 5.1 – Relação das estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas no balanço hidrogeológico.</i>	<i>92</i>
<i>Tabela 5.2 - Variáveis de entrada e saída consideradas para o balanço hidrogeológico tendo como sistema a zona vadosa do SAU nas áreas das bacias dos rios Formoso, Arrojado, Correntina e Guará.</i>	<i>93</i>
<i>Tabela 5.3 - Relação dos cálculos das precipitações médias pelo método das isoietas, consideradas no balanço hidrogeológico.</i>	<i>96</i>
<i>Tabela 5.4 – Balanço hidrogeológico para o período de 1982 a 2002 na zona vadosa da área da bacia hidrogeológica do SAU, região de Correntina (BA).</i>	<i>98</i>
<i>Tabela 5.5 – Valores de fluxo de base (Q_b) e percentuais em relação a precipitação(P) e ao escoamento total (E) para o período de 1982 a 2002.</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 5.6 – Percentuais do escoamento superficial (E_s) em relação a precipitação(P) e ao escoamento total (E) para o período de 1982 a 2002.</i>	<i>101</i>
<i>Tabela 5.7- Variáveis de entrada e saída consideradas para o balanço hidrogeológico tendo como sistema a zona saturada do SAU, nas áreas das bacias dos rios Formoso, Arrojado, Correntina e Guará.</i>	<i>102</i>
<i>Tabela 5.8 – Balanço hidrogeológico para o período de 1982 a 2002 na zona saturada da área da bacia hidrogeológica do SAU - região de Correntina (BA).</i>	<i>103</i>
<i>Tabela 6.1 – Resistividades de alguns tipos de rochas. Fonte: Telford et al. 1990.</i>	<i>111</i>
<i>Tabela 6.2 – Profundidade de investigação teórica investigadas, segundo (Zonge 2005).</i>	<i>123</i>
<i>Tabela 7.1 – Relação das Unidades de Conservação existentes na região do oeste baiano.</i>	<i>135</i>

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E JUSTIFICATIVAS

A água é importante para os diversos processos biológicos e geológicos e foi fundamental inclusive para própria geração da vida, a qual não poderia ter ocorrido na Terra sem a presença dessa substância. A ocupação humana do território é controlada pela distribuição da água desde os primórdios da civilização, quando os homens locomoviam-se em função da presença e abundância de água e, conseqüentemente de alimentos. Mesmo na sua fixação, o homem sempre buscou regiões onde havia, sobretudo, disponibilidade de água.

A água tem importância essencial para toda forma de vida na Terra. Ela pode ser observada em todo o ciclo hidrológico como fator primordial nas interações na atmosfera, como na determinação dos tipos climáticos; na superfície, pelo seu controle na distribuição e densidade da biomassa vegetal, animal e humana; e até mesmo em subsuperfície, quando da sua utilização por microorganismos e interação com as raízes de plantas. E é nessa fase do seu ciclo, no domínio das águas subterrâneas, que ocorre importantes controles naturais para a vida humana, a filtragem, o armazenamento e a circulação da água em rochas e sedimentos.

As águas subterrâneas têm um valor estratégico em muitas regiões, enquanto que em outras são consideradas como único recurso disponível, na maioria das vezes devido à escassez de águas superficiais ou até mesmo à sua total indisponibilidade. Atualmente já é raro qualquer sistema de abastecimento público de água de médias e grandes cidades, que não conte com o manancial subterrâneo, pelo menos de forma complementar.

A água subterrânea vem despertando a atenção que lhe é devida junto aos diversos setores da sociedade brasileira. A demanda crescente de água para as necessidades básicas do homem, na indústria e, sobretudo para produção de alimentos, tem buscado na água subterrânea uma alternativa mais econômica e de melhor qualidade, substitutiva ao uso da água superficial, a qual está mais vulnerável às ações de contaminação pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais dos grandes centros urbanos e mesmo do meio rural.

Essa crescente demanda tem despertado a ação e interesse de pesquisadores e dos órgãos governamentais frente às necessidades de um maior número de dados técnicos para embasar as ações administrativas do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH,

que se integram com a gestão ambiental. As outorgas de direito de uso de recursos hídricos estão entre os instrumentos previstos pela Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei N° 9.433/97) que mais necessitam de informações técnicas.

Tais informações técnicas são, no âmbito das águas subterrâneas, nada menos do que as características intrínsecas dos aquíferos, quanto ao seu regime de fluxo, reservas, parâmetros hidrodinâmicos e inter-relações no ciclo hidrológico. A disponibilidade desses dados é imprescindível para o bom gerenciamento, com vistas à regulamentar o seu uso, sua proteção e garantir um equilíbrio dos usos múltiplos, conforme fundamentado na PNRH.

No Brasil, as pesquisas de águas subterrâneas têm avançado no sentido da ampliação do conhecimento dos ecossistemas hidrológicos e para a criação de fundamentos, que assegurem um manejo ecologicamente eficiente dos recursos (Rebouças, 1991). Tanto ao nível de centros de pesquisas como nos órgãos governamentais as pesquisas avançam no sentido de suprir a carência ou até ausência de informações.

Na região do oeste baiano a água subterrânea tem sido progressivamente procurada como fonte de abastecimento, haja vista a baixa densidade de drenagem da região e a crescente demanda de água para o suprimento das sedes de fazendas, vilarejos e projetos de irrigação. O órgão governamental de gestão de recursos hídricos do estado da Bahia, a Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH-BA), tem concedido números crescentes de outorgas de uso da água subterrânea.

Esse número crescente de concessão de outorgas de direitos de uso da água subterrânea, segundo Silva *et al.* (2005), ocorre pelo fato de que alguns rios da região já atingiram o limite legal máximo outorgável, não havendo, portanto, disponibilidade para novas emissões de outorgas de águas superficiais, o que ocasiona uma maior procura pela água subterrânea. Essa procura crescente é justificável também devido ao aumento de áreas de culturas irrigadas e pelas adversidades climáticas sofridas pela região, prejudicando a produtividade das lavouras.

Essa região encontra-se em pleno desenvolvimento econômico, desde o início da sua ocupação, no início de década de 80; quando teve início uma progressiva e sistemática supressão do cerrado, em detrimento da instalação de extensas lavouras de monoculturas. Seu quadro de ocupação e manejo do solo desperta para sustentabilidade da área de recarga do Sistema Aquífero Urucuia (SAU).

O SAU representa nessa região um manancial estratégico, não somente pela crescente demanda de água para o desenvolvimento econômico, mas principalmente por sua visível contribuição direta por meio do fluxo de base, para os afluentes da margem esquerda do rio São Francisco, os rio Corrente e Grande, nos períodos de estiagem; e pela alimentação de nascentes

de tributários da margem direita do rio Tocantins, na borda ocidental da Serra Geral de Goiás.

A SRH-BA vem apresentando diversos estudos localizados no aquífero em busca de dados reais para basear suas propostas de gestão, em áreas com maior demanda de água subterrânea e, sobretudo naquelas onde já se instalou um quadro de conflitos de usuários. Esta pesquisa, entretanto, apresenta um estudo de caráter regional desenvolvido no Sistema Aquífero Urucuia, buscando uma visão holística do sistema como parte integrante de uma província hidrogeológica adjacente a regiões do semi-árido brasileiro, onde há uma constante e presente adversidade climática, com escassez sistemática de água.

A apresentação e desenvolvimento deste trabalho consistem primeiramente na apresentação da área de estudo, com sua contextualização regional; os objetivos almejados desta pesquisa; e, os métodos utilizados para obtenção dos dados. Posteriormente apresenta-se uma caracterização do meio físico da área, incluindo a geologia, relevo, solos, clima e hidrografia, bem como uma revisão bibliográfica de estudos hidrogeológicos desenvolvidos na região.

A apresentação segue com a definição do Sistema Aquífero Urucuia, com sua zona vadosa, subtipos de aquíferos e caracterização hidrodinâmica; um balanço hidrogeológico na região; a apresentação de estudos geofísicos desenvolvidos e uma estimativa das reservas hídricas subterrâneas do sistema; e, por fim, considerações e sugestões sobre a gestão dos recursos hídricos no oeste baiano.

1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Sistema Aquífero Urucuia ocorre principalmente na região do oeste do Estado da Bahia, estendendo-se desde o extremo sul do Maranhão e Piauí, até o extremo noroeste de Minas Gerais. Seus limites meridionais são balizados à oeste pelo limite da Serra Geral de Goiás, desde a região nordeste de Goiás até o sudeste de Tocantins; e, à leste na altura das sedes dos municípios como Barreiras (BA), Correntina (BA), Cocos (BA), Formosa do Rio Preto (BA) e Gilbués (PI) (Figura 1.1).

O acesso à área pode ser feito pela BR-020 ou pelas BR-242 e BR-349, na região de Barreiras e Correntina, respectivamente. O trânsito na área por vias pavimentadas é feito apenas nas rodovias citadas, na BA-462 que liga o município de São Desidério (BA) à BR-020, e na BA 825, conhecido como "Anel da soja ou rodovia da soja". As demais formas de trânsito são realizadas por estradas não-pavimentadas, entre as limitações das fazendas.

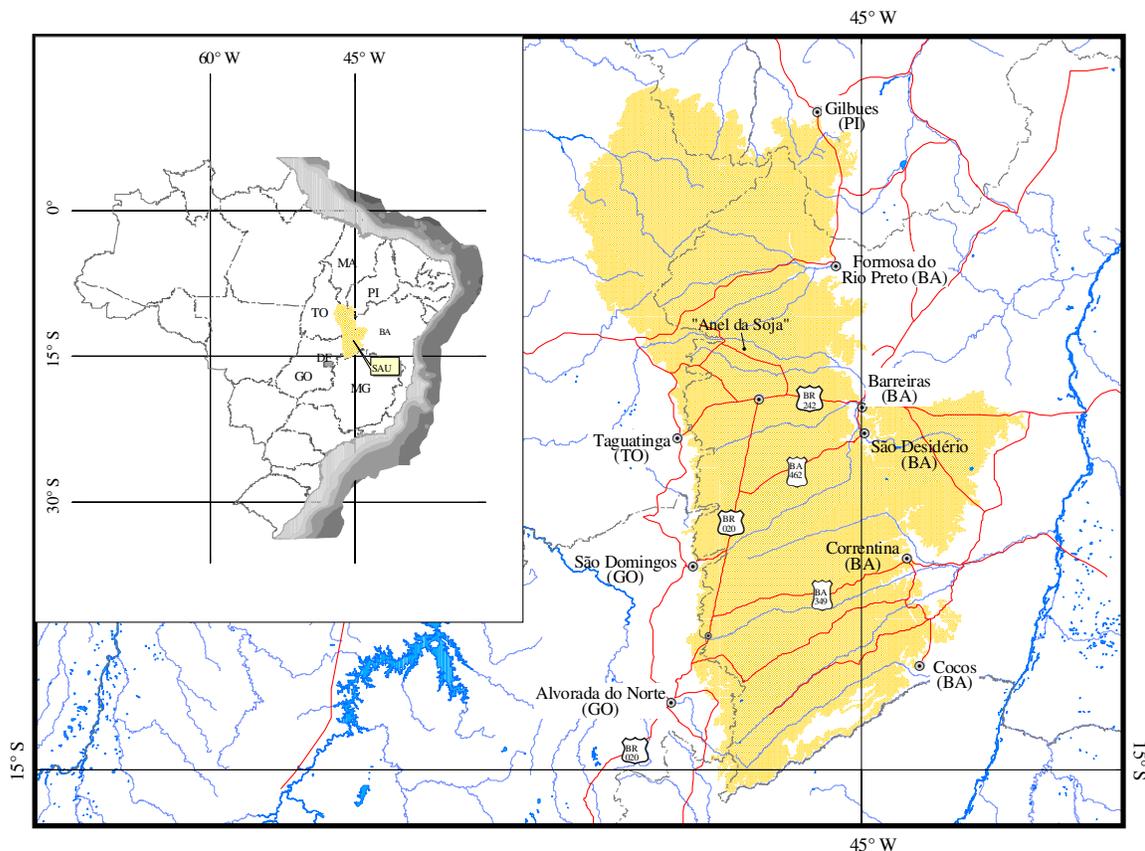


Figura 1.1 - Mapa de localização da área de estudo.

1.3 OBJETIVOS

O principal objetivo da presente pesquisa é realizar uma caracterização regional do Sistema Aquífero Urucuaia, com vistas à otimização da gestão dos recursos hídricos na região do oeste baiano.

Na busca do desígnio principal espera-se alcançar as seguintes metas:

- Identificar os subtipos de aquíferos e seus comportamentos relativos dentro do Sistema Aquífero Urucuaia;
- Obter os parâmetros hidrodinâmicos dos subsistemas aquíferos identificados;
- Delimitar de forma preliminar a área efetiva do sistema aquífero, bem como as áreas de abrangência dos subtipos;
- Definir a importância das coberturas de regolito no funcionamento hídrico, bem como avaliar os diferentes impactos dos usos na superfície dos solos;
- Avaliar por meio de balanço hidrogeológico a relação entre os aquíferos e rios que drenam a região;

- Obter a espessura do Grupo Urucuia, identificar a presença de barreiras hidráulicas, aquitardes e relações diversas dentro do sistema aquífero, com base no levantamento geofísico e dados de campo;
- Apresentar uma estimativa das reservas hídricas subterrâneas do sistema aquífero em estudo;
- Sugerir procedimentos e diretrizes necessárias para aperfeiçoar o sistema de planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos na região do Sistema Aquífero Urucuia.

Ao contrário dos trabalhos até então desenvolvidos no Sistema Aquífero Urucuia, que partem de áreas específicas em bacias ou sub-bacias dos afluentes do rio São Francisco, a presente pesquisa objetiva alcançar um conhecimento macro do aquífero, em termos de definição de modelos aquíferos conceituais, distribuição, disponibilidades hídricas e sustentabilidade de sua exploração. Os resultados deverão subsidiar futuras pesquisas de detalhe nas áreas a serem detalhadas.

CAPÍTULO II

MÉTODOS E ASPECTOS TEÓRICOS

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os métodos empregados nesta pesquisa consistiram preliminarmente na realização de uma revisão bibliográfica do meio físico da região, levantamentos de trabalhos anteriores, e estudo dos métodos que seriam empregados para a obtenção dos dados enumerados nos objetivos do trabalho. A Figura 2.1 apresenta a organização geral da metodologia aplicada no desenvolvimento do presente estudo.

As apresentações das características e dos dados de investigação da área foram apoiadas na base cartográfica da CPRM (2002), CPRM & CBPM (2003) e da ANA, disponíveis na forma digital em SIG, por meio de arquivos bases do *software* Arcview 3.1®, em CD-ROM e no *site* do sistema de informações da ANA - Hidroweb. Os arquivos constituem um universo maior de dados do meio físico, dentre eles as redes hidrográfica e rodoviária, sedes e limites municipais, base geológica, entre outras informações, que finalizam em mapas temáticos com edição inédita.

A área foi estudada por meio dos SIG's anteriormente citados, associados com a visualização de imagens de satélite Landsat 7/ETM⁺ da área, com combinação de bandas espectrais para composição de falsa cor, para observação dos padrões de drenagem, forma e grau de ocupação da área, bem como para subsidiar os trabalhos de campo. As cenas utilizadas foram: 220/70, 220/69, 220/68, 220/67, de 1987 e 2001. Ressalta-se também o uso de modelos digitais de elevação, obtidos pelo processamento de imagens de radar, disponibilizados no *site* do CGIAR (*The Consortium for Spatial Information*).

Utilizou-se também para os planejamentos de logística de trabalhos de campo, sobretudo para o cadastro de poços e para o levantamento geofísico, as imagens disponíveis no Google Earth®, todos com o auxílio das cartas plani-altimétrica na escala 1:100.000 da região e GPS.

Muitas informações referentes à hidrogeologia da área foram obtidas junto aos órgãos governamentais do estado da Bahia, com destaque para a SRH-BA e a CERB, que cederam dados dos seus cadastros de poços, com informações importantes para a caracterização do Sistema Aquífero Urucuia. Também foram obtidos dados de diversos poços da região, perfurados pela empresa Mauerberg Poços Artesianos Ltda. e pela empresa Fuad Rassi. Esses dados foram reunidos e organizados de forma a facilitar o manuseio e seu melhor aproveitamento.

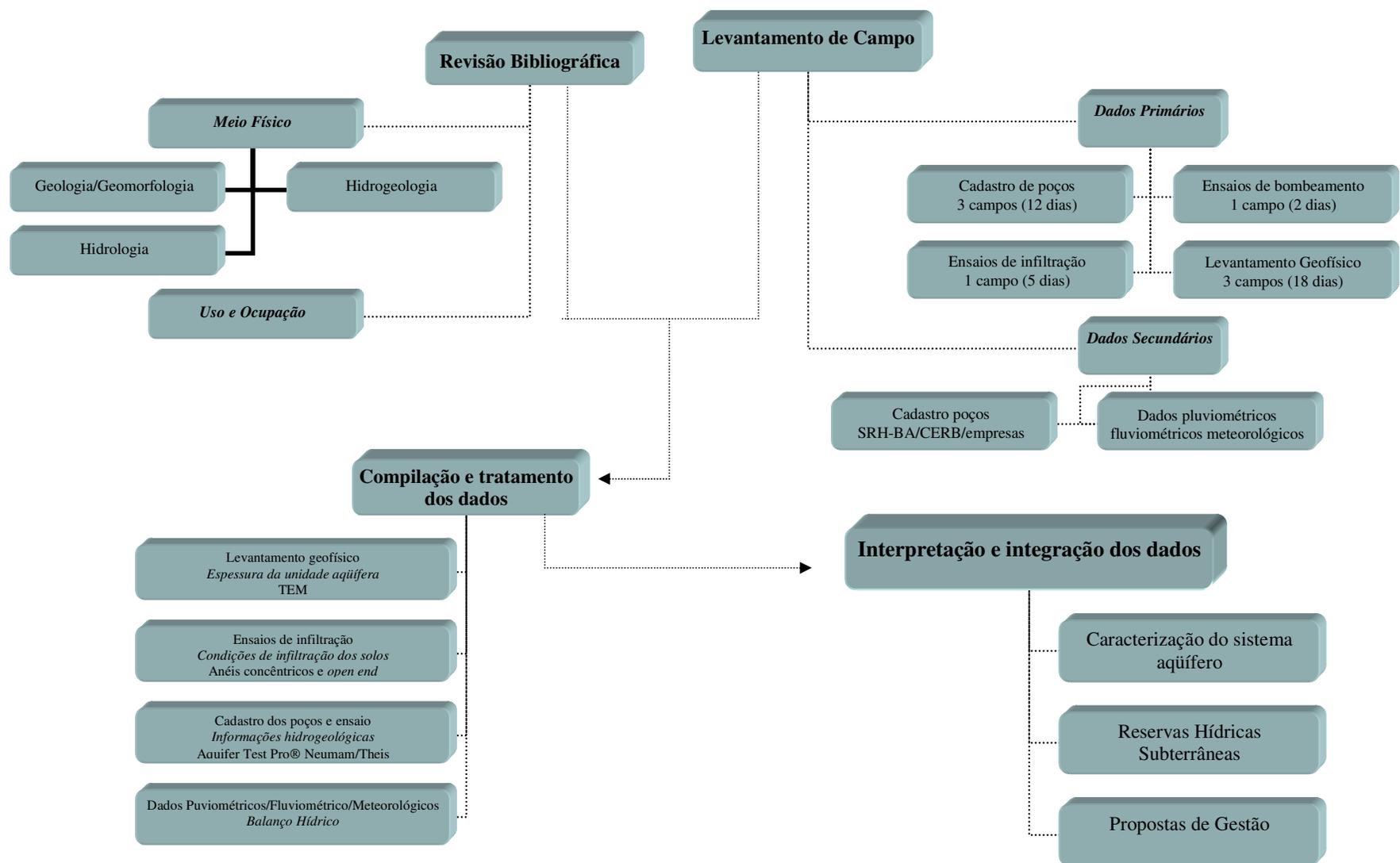


Figura 2.1 – Organograma metodológico aplicado ao desenvolvimento da presente tese de doutoramento.

Realizou-se ainda, no âmbito desta pesquisa, um cadastro próprio de poços em campo, com o intuito de conhecer de forma mais ampla a área, e complementar as informações cedidas pelas empresas mencionadas. Ressaltam-se as dificuldades inerentes a esse levantamento, que dificultaram a obtenção de um maior número de informações.

2.2 GEOLOGIA

O reconhecimento geológico da região do oeste baiano foi focado na geologia do Grupo Urucuia que constitui a unidade hidrogeológica que ocupa a área mais ampla da poligonal estudada. Realizou-se por meio de um levantamento bibliográfico atualizado, com consulta a diversos autores. O contexto geológico regional fundamentou-se, sobretudo na base cartográfica geológica da CPRM (2002). A geologia no contexto de ocorrência do aquífero em estudo baseou-se em levantamentos de campo, com visitas a afloramentos do Grupo Urucuia; perfis litológicos de poços perfurados na região; e, nos trabalhos do levantamento bibliográfico mais atuais desenvolvidos na área.

2.3. GEOFÍSICA

Os estudos geofísicos no âmbito desta pesquisa buscaram principalmente a obtenção da espessura das rochas do Grupo Urucuia, com vistas ao cálculo das reservas hídricas subterrâneas do sistema aquífero e definição mais precisa de seu potencial. Utilizou-se para este fim, uma avaliação dos valores de resistividade das rochas, que constituem na área de estudo um contraste entre arenitos mais resistivos, do Grupo Urucuia, com um substrato pelito-carbonatado menos resistivo, do Grupo Bambuí ou das rochas do embasamento cristalino. O método empregado nesta pesquisa foi o eletromagnético com medições no domínio do tempo (TEM *Time-Domain ou Transient Eletromagnetic*), reportado por Fitterman & Stewart (1986) para utilização em hidroestratigrafia regional.

As apresentações dos fundamentos teóricos e das configurações do levantamento geofísico serão apresentadas no capítulo VI, que discorre especificamente sobre o uso da geofísica como ferramenta de pesquisa neste trabalho.

Estudos de levantamentos geofísicos anteriores na área de pesquisa foram utilizados como complementação e discussão dos dados obtidos, como os de Tschiedel (2004), Bonfim & Gomes (2004), Amorim Junior & Lima (2003), e Amorim Junior (2003).

2.4 HIDROGEOLOGIA

A pesquisa em hidrogeologia envolveu o uso de métodos de interpretação de dados dos aquíferos, balanço hídrico, cálculo de reservas, estudo da zona vadosa, com o intuito de fazer uma eficiente caracterização do sistema aquífero, com integração de dados de climatologia, solos, hidrologia, bem como as informações hidrogeológicas propriamente ditas. Essa característica multidisciplinar da pesquisa hidrogeológica deve-se principalmente ao comportamento integrado dos aquíferos no ciclo hidrológico, que interagem com as condições climáticas, regimes fluviais, condições de uso e ocupação do solo.

Todo manuseio, análise e interpretação dos dados neste trabalho focaram o uso de métodos de avaliação do fluxo em meio poroso. Os dados foram avaliados por meio da observação, leitura e/ou coleta de alguns parâmetros em poços tubulares perfurados na região, por meio dos relatórios dos poços dos cadastros ou em observações de campo.

Os métodos de interpretação englobaram a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero: condutividade hidráulica (K), transmissividade (T), coeficiente de armazenamento (S), rebaixamento (s) e nível dinâmico (ND), por meio de ensaios de bombeamento, também disponibilizados nas fichas de poços perfurados pelas empresas Mauerberg, Fuad Rassi e CERB.

Os métodos usados nesta pesquisa e apresentados a seguir referem-se à obtenção de toda informação pertinente para a caracterização hidrogeológica do SAU e inclui o estudo da zona vadosa e da zona saturada, a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos, a confecção do balanço hidrogeológico e o cálculo das reservas hídricas subterrâneas.

2.4.1 Zona Vadosa

Os estudos dos solos desenvolvidos sobre o SAU foram realizados para o conhecimento superficial da zona vadosa dos aquíferos, e para obter informações sobre os solos da área de recarga, dispostos na região do chapadão do oeste baiano.

Os estudos desses solos enfocaram os seus manejo e uso, por meio de observações em imagens de satélites e de campo. Realizou-se uma avaliação dos valores de condutividade hidráulica verticais (K_v) dos solos em superfície e em diferentes profundidades dos perfis dos mesmos. Para tanto foram feitos ensaios de infiltração pelos métodos do infiltrômetro de duplo anel ou anéis concêntricos e testes tipo *open end hole*.

Em cada ponto foram realizados ensaios de infiltração para a estimativa dos valores da condutividade hidráulica vertical (K_v) dos solos, sendo cada ponto testado em superfície, com

aplicação do método do infiltrômetro de duplo anel e, em profundidade, com aplicação de testes tipo *open end hole*. Conforme ABGE (1996) esses ensaios são classificados como ensaios de rebaixamento, realizados com carga variável (flutuação do nível d'água) e com injeção de água, na zona não saturada do aquífero. Esses métodos têm como principal característica direcionar a infiltração da água verticalmente, possibilitando a avaliação do potencial superficial dos solos à recarga nos períodos de excedente hídrico.

Os ensaios com infiltrômetro de duplo anel foram realizados com um cilindro duplo, concêntrico, de aço, de 25 cm de altura, com diâmetro de 35 cm do anel interno e de 45 cm do externo, cravados entre 5 e 10 cm nos solos, para os testes superficiais (figura 2.2). Nesse tipo de infiltrômetro a água é adicionada nos dois compartimentos do anel, sendo que a função do anel externo é evitar a dispersão da água a partir do anel interno e garantir a verticalidade do movimento da água no solo. Para tanto, o anel externo deve ter o nível d'água sempre acima do nível no anel interno (Bernardo 1986).

O cálculo dos valores da condutividade hidráulica vertical (K_v) com esse método, considerando a carga variável, foi determinado pela seguinte equação:

$$K_v = U \cdot \frac{I}{\Delta t} \cdot \ln \frac{h_0}{h_t} \quad , \text{ onde:}$$

K_v = condutividade hidráulica vertical (m/s);

U = fator de conversão de mm/min para m/s = 1/60000;

I = profundidade de penetração do anel no solo (mm);

Δt = o intervalo de tempo do ensaio (s);

h_0/h_t = razão entre os níveis d'água inicial e final no anel interno.

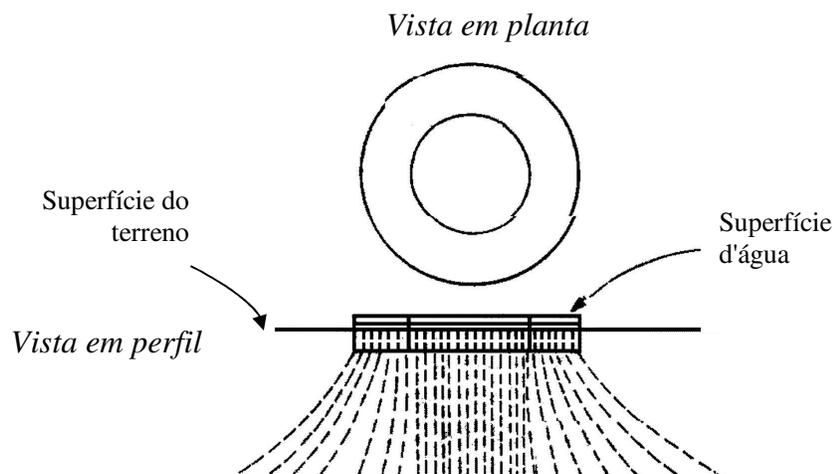


Figura 2.2 – Vista esquemática do método dos anéis concêntricos.

Os ensaios do tipo *open end* foram utilizado para a avaliação de K_v nas profundidades de 50, 100, 150 e 200 cm, por meio da utilização de poços de observação revestidos por tubos de PVC de 100 mm. Para a determinação da K_v utilizou-se a seguinte equação (adaptada de *Earth Manual* 1974):

$$K_v = \frac{r_1}{4 \cdot \Delta t} \cdot 2,303 \log \frac{h_0}{h_t}$$

, onde:

K_v = condutividade hidráulica vertical (m/s);

r_1 = raio interior do tubo de PVC (m);

Δt = o intervalo de tempo do ensaio (s);

h_0/h_t = razão entre os níveis d'água inicial e final no anel interno.

As medidas do nível inicial da água (h_0 em m) foram realizadas após uma pequena estabilização do rebaixamento. Após um intervalo de tempo (Δt em s) verifica-se o nível final da água (h_t em m).

Em alguns locais de realização dos ensaios foram feitas amostragens dos solos em diferentes profundidades para a realização de análises granulométricas, com intuito de verificar possíveis variações na granulometria ao longo dos perfis.

2.4.2 Caracterização do Sistema Aquífero

A caracterização do Sistema Aquífero Urucua e seus subtipos de aquíferos foi feita com base em informações geológicas, hidrogeológicas obtidas durante o estudo e de trabalhos anteriores desenvolvidos na área.

A partir de dados coletados, informações dos cadastros e de campo foi possível reconhecer no SAU subtipos de aquíferos, ao considerar a existência de características hidrogeológicas diferenciadas entre aquíferos inter-relacionados dentro do sistema maior, de dimensão regional. Obteve-se uma delimitação geográfica preliminar desses subtipos e da área efetiva do aquífero. As fichas de poços perfurados pelas empresas da Mauerberg, Fuad Rassi e da CERB foram fundamentais para essa caracterização, pela disponibilidade de perfis litológicos, construtivos, entre outras informações.

Trabalhos anteriores desenvolvidos na região também serviram de base para a definição do SAU, sobretudo pelos estudos de Nascimento (2003), Amorim Jr & Lima (2003), Schuster *et al.* (2002), Nascimento (2002), Schuster (2003).

2.4.3 Determinação dos Parâmetros Hidrodinâmicos

Os parâmetros hidrodinâmicos fornecem informações sobre o comportamento hidráulico das unidades aquíferas dentro do sistema, que no Sistema Aquífero Urucuia são representadas pelos arenitos eólicos do Grupo Urucuia. Essas informações refletem o tamanho, arranjo e interconexão entre os grãos da rocha das unidades aquíferas, combinado com a influência do relevo no fluxo subterrâneo.

A obtenção desses parâmetros para o desenvolvimento desta etapa da pesquisa contou com os dados disponíveis em relatórios de poços perfurados pelas empresas de perfuração Mauerberg, Fuad Rassi na região, e alguns do cadastro da CERB. Desses relatórios foram obtidos os perfis litológicos da seqüência sedimentar, que fornecem as espessuras e descrição das camadas interceptadas; perfis construtivos dos poços, revestimentos, posição de filtros; níveis estático e dinâmico, e testes de bombeamento que compõem o cadastro deste trabalho.

Esse cadastro consiste de um conjunto de informações de 361 poços, sendo 257 disponibilizados de cadastro de terceiros (SRH-BA, CERB, Mauerberg, Fuad Rassi) e 104 de informações obtidas em campo, junto às empresas e fazendas. O cadastro da CERB contou com cerca de 700 poços, entretanto, apenas 142 foram utilizados diretamente nesta pesquisa.

A determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos incluiu o uso de dados de testes de bombeamento disponibilizados pelas empresas. Esses dados de testes de bombeamento fornecidos pelas empresas consistem de teste de poço ou de produção, ou seja, as medições do rebaixamento do nível d'água foram feitas no próprio poço bombeado. Essa prática não é ideal para a obtenção dos parâmetros do aquífero, uma vez que o teste de aquífero que deveria ser utilizado para este fim, utiliza pelo menos um poço de observação para a obtenção dos parâmetros do aquífero. Portanto, utilizou-se um poço com características iguais ao bombeado, afastado a uma distância do mesmo valor do raio do poço bombeado, para simular a presença do poço piezométrico. Apesar de não ser o ideal, essa prática é comum nas pesquisas, devido a corrente dificuldade de realização e da não disponibilidade de dados de testes de aquífero.

Esses dados foram processados e interpretados no *software* Aquifer Test Pro 3.5®, da Waterloo Hydrogeologic Inc. Os métodos de interpretação utilizados para a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos foram os seguintes: Neuman (1975), Theis (1935) e Cooper & Jacob (1946), assim como a confecção de gráficos de rebaixamento versus tempo de bombeamento.

O processo de análise matemática desses diversos métodos de interpretação do comportamento do fluxo subterrâneo baseia-se nos fundamentos da Lei de Darcy (equação 1)

associado aos princípios de conservação de massa e energia (Freeze & Cherry, 1979; Fetter, 1994).

A lei que descreve o fluxo subterrâneo, conhecida como *Lei de Darcy*, foi anunciada por Henry Darcy em 1856, que conduziu uma série de experimentos sobre o movimento da água em meio poroso e constatou experimentalmente que a vazão entre dois pontos é proporcional a diferença de carga hidráulica, h , numa seção de área A , e inversamente proporcional à distância, L , entre esses pontos (Castany 1963; Freeze & Cherry 1979; Driscoll 1986).

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{h_1 - h_2}{L} \quad \text{Equação 1}$$

Na equação 1, Q é a vazão, A é a área da seção considerada (m^2), $h_1 - h_2 / L$ é o *gradiente hidráulico* (i), ou seja a diferença de carga hidráulica por unidade de comprimento; e, K é uma constante de proporcionalidade denominada *condutividade hidráulica*.

Os métodos de interpretação utilizados para a obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos por meio de ensaios de bombeamento assumem as suposições gerais apresentadas abaixo, além de outras específicas para cada tipo de aquífero considerado (Fetter 1994).

- a) O aquífero é limitado na base por uma camada confinante;
- b) Todas as formações geológicas são horizontais e de extensão infinita;
- c) A superfície potenciométrica do aquífero é horizontal antes do início do bombeamento;
- d) A superfície potenciométrica do aquífero não muda antes do início do bombeamento;
- e) Todas as mudanças na posição da superfície potenciométrica são devidas apenas ao efeito do bombeamento;
- f) O aquífero é homogêneo e isotrópico;
- g) Todo o fluxo é radial em direção ao poço;
- h) O fluxo subterrâneo é horizontal;
- i) A Lei de Darcy é válida;
- j) A água subterrânea tem densidade e viscosidade constante;
- l) Os poços bombeados e observados são totalmente penetrantes no aquífero;
- m) O poço bombeado tem diâmetro infinitesimal e é 100% eficiente.

2.4.3.1 Aquífero Confinado

O método de Theis (1935), considerado como um avanço nos estudos de hidráulica de poços, considerou pela primeira vez matematicamente os efeitos do rebaixamento progressivo

em um aquífero confinado, ou seja, o bombeamento em regime transitório (Castany 1963, Driscoll 1986, Fetter 1994).

Theis (1935) assumiu que:

- O aquífero é homogêneo e hidrológicamente isotrópico;
- O aquífero é confinado e tem extensão areal infinita;
- A transmissividade é sempre constante em todos os pontos do aquífero;
- O poço é totalmente penetrante no aquífero, bombeado a uma taxa constante;
- A água removida do armazenamento do aquífero é instantaneamente descarregada no poço pela diminuição de carga hidráulica;
- Toda água removida do poço vem do armazenamento do aquífero;
- O fluxo é laminar no poço e no aquífero;
- A superfície potenciométrica é horizontal antes do início do bombeamento;

Com base nessas condições de contorno específicas, de bombeamento em regime transitório, num aquífero confinado não drenante, o resultado da equação de Theis é:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du \quad \text{Equação 2}$$

Onde: $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$

Q é a vazão de bombeamento;

T é a transmissividade do aquífero;

s é o rebaixamento a uma distância r do poço bombeado;

S é o coeficiente de armazenamento;

t é o tempo a partir do início do bombeamento;

r é a distância do poço bombeado até o ponto de rebaixamento.

O termo $\int_u^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$ é a função do poço, representada simplificada por $W(u)$. A equação de Theis pode então ser apresentada:

$$s = \frac{Q}{4\pi \cdot T} W(u) \quad \text{Equação 3}$$

O método Cooper-Jacob (1946) é uma simplificação do método de Theis, válido para grandes valores de tempo e decréscimo da distância do poço bombeado, ou seja, valores muito pequenos de u ($u < 0,01$). Os autores constataram que os dois primeiros termos da equação de Theis eram suficientes para representar um valor confiável da função $W(u)$. E a equação de Theis poderia ser aproximada para:

$s = \frac{Q}{4\pi \cdot T} [-0,5772 - \ln u]$, que da simplificação obtém-se:

$$s = \frac{0,183Q}{T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad \text{Equação 4}$$

No cálculo de T utiliza-se a equação de uma reta ($y = a \log x + b$) formada pelos pontos plotados no gráfico monolog do rebaixamento *versus* tempo (s x $\log t$). Reescrevendo a equação 4 tal como a equação de uma reta, tem-se que $a = 0,183Q/T$, que representa o coeficiente angular da reta ($\text{tg } \alpha$), α é a inclinação da reta.

$$S = \frac{0,183Q}{T} (\log \frac{2,25T}{r^2 S} + \log t) \quad \text{Equação 5}$$

2.4.3.2 Aquífero Livre

Os aquíferos livres ou não confinados são considerados como os mais complexos em termos de análise do comportamento do fluxo, uma vez que durante o bombeamento ocorre uma redução na espessura saturada do aquífero e o surgimento de componentes verticais do fluxo.

Neuman (1972) apresentou a proposta de um novo modelo analítico para o processo de resposta retardada na caracterização do fluxo para um poço num aquífero não-confinado. Em seu desenvolvimento teórico considerou:

- O aquífero é não-confinado, de extensão lateral infinita que repousa sobre uma camada horizontal impermeável;
- O material do aquífero é homogêneo, mas anisotrópico;
- Um poço completamente penetrante no aquífero, explota água a uma vazão constante Q ;
- A água é liberada do armazenamento por compactação do material do aquífero, pela expansão da água e pela drenagem gravitacional;
- O rebaixamento é obtido em um poço de observação que é completamente penetrante num aquífero não-confinado;

A solução de Neuman (1972), complementada em Neuman (1974) e (1975) divide-se em duas partes: uma para o tempo logo após o início do bombeamento, quando a água provém do armazenamento; e outra depois de decorrido algum tempo, quando a água está sendo liberada pela drenagem dos poros e o armazenamento é igual a capacidade específica (S_y).

$$s = \frac{Q}{4\pi \cdot T} W(u_A, u_B, \beta) \quad \text{Equação 6}$$

Onde $W = (u_A, u_B, \beta)$ é a *função do poço* para aquíferos não confinados, com valores tabelados. O termo u_A refere-se aos rebaixamentos do início do ensaio (equação 7), o termo u_B aos rebaixamentos posteriores (equação 8), e o termo β (equação 9) relaciona as condutividades hidráulicas vertical K_v e horizontal K_h , por meio de K_D , que representa o grau de anisotropia ($K_D = K_v/K_h$), com a distância do poço bombeado (r) e a espessura saturada do aquífero (b) (Neuman 1975).

$$u_A = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad \text{Equação 7}$$

$$u_B = \frac{r^2 S_y}{4Tt} \quad \text{Equação 8}$$

$$\beta = \frac{K_D r^2}{b^2} \quad \text{Equação 9}$$

O gráfico da figura 2.3 apresenta um exemplo da aplicação do método de Neuman. Segundo a descrição clássica apresentada em Neuman (1972) podem ser reconhecidos três seguimentos na curva do rebaixamento versus tempo. As curvas do tipo A são aplicadas nos dados de rebaixamento dos primeiros instantes do bombeamento, quando a água é liberada do armazenamento, enquanto que as curvas do tipo B são utilizadas para valores de rebaixamento finais, quando os efeitos da drenagem gravitacional tornam-se mais significante. Ambas as famílias de curvas aproximam-se por um conjunto de assíptotas, que dependem do valor de σ ($\sigma = S/S_y$).

Nos primeiros instantes do início do bombeamento, essa curva, representada por um segmento mais inclinado, encaixa-se na solução de Theis, e indica, portanto, que a água é liberada do armazenamento apenas pela compactação do material do aquífero e pela expansão da água. O período de tempo ocupado pelo primeiro segmento da curva torna-se menor a medida que σ decresce, ou seja, quanto maior for S_y em relação a S .

Durante o segundo estágio, a drenagem gravitacional torna-se importante, e seu efeito é similar a uma drenança a partir de uma fonte próxima. Quanto menor o valor de σ , maior é o efeito da drenagem gravitacional, e, portanto mais pronunciada é a drenança. Nesse estágio a curva desvia da solução Theis, uma vez que existem fluxos verticais na parte superior do aquífero, e o segmento da curva torna-se achatado.

Com o aumento do tempo de bombeamento, o efeito do armazenamento elástico no ponto considerado dissipa completamente. Esse terceiro segmento, que segundo Walton (1960) *apud* Neuman (1972), pode iniciar de alguns minutos a vários dias depois do início do bombeamento,

dependendo das condições do aquífero, representa o período durante o qual, a curva rebaixamento versus tempo torna-se novamente paralela à solução de Theis, voltando a apresentar uma de segmento inclinado.

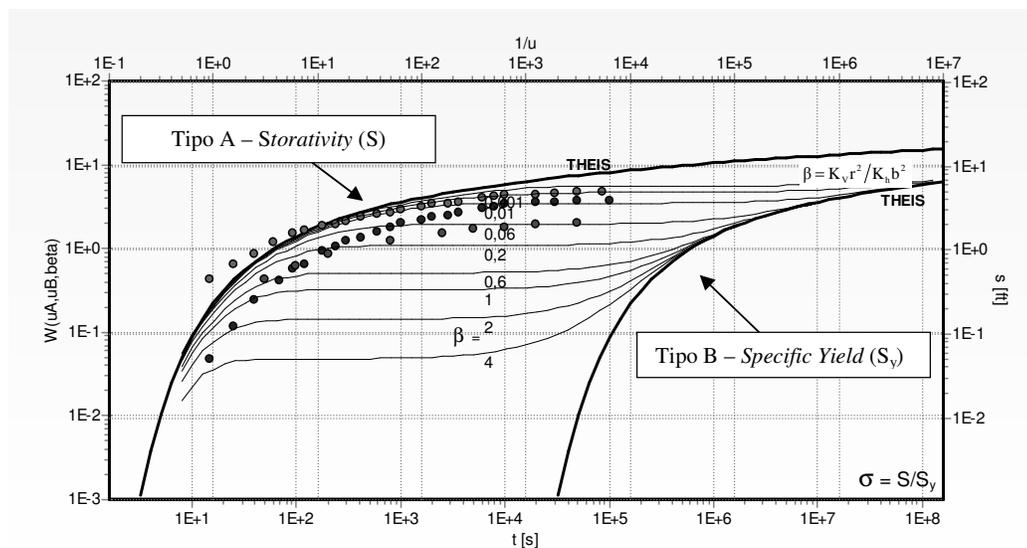


Figura 2.3 – Exemplo de gráfico utilizado para interpretação de dados de aquífero livre pelo método de Neuman (1975), no software *Aquifer Test Pro 3.5*®.

2.4.4 Elaboração do Balanço Hidrogeológico

O fundamento básico para a realização do balanço hidrogeológico é considerar uma área que represente seu sistema físico de avaliação, e definir variáveis de entrada e saída do sistema.

Neste estudo definiu-se primeiramente o sistema que seria objeto do balanço hídrico. A seleção considerou principalmente a disponibilidade de estações meteorológicas, e fluviométricas nos rios e contou com o auxílio de imagens de satélites Landsat 7 ETM, nas bandas 3, 4, 5 e 8, do ano de 2002; e, cartas topográficas da região.

O sistema foi analisado considerando o princípio da conservação de massa, onde a diferença entre os volumes de entrada e saída é igual à variação do armazenamento de água dentro desse sistema (equação 10). Quando este se encontra em equilíbrio a variação do armazenamento é nula e pode-se isolar quaisquer das variáveis.

$$P - I - Q - ET = \frac{dS}{dt} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

P – é a precipitação pluviométrica sobre a área do sistema;
 I – é a infiltração;

Q – vazão total de saída do sistema;

ET – evapotranspiração na área do sistema.

$\frac{dS}{dt}$ – variação do armazenamento dentro do sistema

Posteriormente, com base nesses fundamentos, foram definidas as variáveis teóricas, simplificações e formas de obtenção. As variáveis consideradas no balanço são, em linhas gerais, as seguintes:

ENTRADA	SAÍDA
Precipitação (P) Infiltração no solo (I_s) Infiltração na zona saturada (I_{zs}) Água importada (A_i)	Evapotranspiração (ET) Escoamento superficial (E_s) Interfluxo (Q_i) Fluxo de base (Q_b) Vazão explotada de poços (Q_p)

A precipitação (P) foi adquirida diretamente das estações meteorológicas, onde os dados foram cedidos pelo INMET, além de dados medidos em algumas fazendas da área selecionada.

A evapotranspiração (ET) obtida matematicamente pelo método de Thornthwaite (1948) em D'Angiolella & Vasconcellos (2004), e a infiltração (I) matematicamente, por meio de fórmulas empíricas.

A evapotranspiração potencial (ETP), termo analisado por Thornthwaite (1948) como o volume de água evaporado da superfície do solo e transpirado pelas plantas numa área bem vegetada e com superávit hídrico, foi obtida matematicamente, por meio de fórmulas empíricas, entretanto não considerada neste balanço, uma vez que as condições de definição da ETP sempre superestimam a realidade. Esses valores são sempre superiores a evapotranspiração real e inferiores aos valores de evaporação direta (por exemplo, medidos em evaporímetros do tipo Tanque Classe A). Na prática a evapotranspiração potencial representa o limite superior de quantidade de água que o ecossistema pode perder por evapotranspiração (Fetter 1994). A variável utilizada foi a ETR (evapotranspiração real).

O escoamento superficial (E_s) e o interfluxo (Q_i) serão tratados como uma única variável, pela impossibilidade de separação, e representarão a variável (E). Juntamente com o fluxo ou vazão de base (Q_b) foram obtidos a partir do hidrograma da bacia selecionada, construído pelos valores obtidos no monitoramento das vazões ao longo do tempo, nas estações fluviométricas da área selecionada, obtidas junto ao sistema de informações da ANA. Os hidrogramas foram confeccionados no *software* Maple 7.0®, da *Waterloo Maple Inc.*, por interpolação polinomial e os volumes correspondentes de cada parcela calculada pela integração da curva obtida.

2.4.5 Estimativa das Reservas Hídricas Subterrâneas

A estimativa das reservas hídricas subterrâneas mostrou-se um importante passo no conhecimento do SAU. Esse parâmetro de avaliação da potencialidade do sistema aquífero é um valioso instrumento para a gestão dos recursos hídricos.

Essa avaliação baseou-se em fórmulas clássicas de obtenção dos diferentes tipos de reservas: reservas renováveis ou reguladoras, reservas permanentes ou seculares e reservas exploráveis (Costa 2000).

As *reservas renováveis* (R_r) consistem do volume de água do aquífero acumulado por alimentação natural (precipitação) no ano hidrológico. Esse volume é diretamente dependente do regime de precipitação, e pode variar anualmente tanto em função da precipitação como das condições de uso do solo, que podem acarretar mudanças no volume infiltrado. O cálculo da reserva renovável foi feito com base na observação da oscilação do nível freático ao longo de um ano.

A utilização da variação do nível de água nos poços ao longo de um ano hidrológico permitiu, de forma preliminar, uma determinação da oscilação do nível (Δh , em metros) e, juntamente com o valor da porosidade efetiva (η_e) do aquífero e da área de ocorrência do aquífero (A , em m^2), a determinação da reserva renovável (m^3/ano), por meio da relação:

$$R_r = A \cdot \eta_e \cdot \Delta h \quad \text{Equação 11}$$

As *reservas permanentes* (R_p) são aquelas situadas abaixo do nível de água mínimo, medido no período de estiagem, e não sofrem influência da sazonalidade. O cálculo da reserva permanente depende do tipo de aquífero avaliado.

Nos aquíferos intergranulares confinados corresponde a soma do volume armazenado sob pressão (V_p) com o de saturação (V_s) (equação 12). Enquanto que nos aquíferos intergranulares não confinados a reserva permanente é igual ao volume de saturação (equação 13).

Aquíferos intergranulares confinados

Aquíferos intergranulares não confinados

$$R_p = V_s + V_p \quad \text{Equação 12}$$

$$R_p = V_s \quad \text{Equação 13}$$

$$\text{Onde: } V_s = A \cdot b \cdot \eta_e \quad V_p = A_p \cdot h \cdot S$$

A - área de ocorrência do aquífero;

b - espessura saturada do aquífero;

η_e - porosidade efetiva.

A_p - área de confinamento do aquífero;

h - carga hidráulica média;

S - coeficiente de armazenamento.

A reserva explorável (R_{exp}), por sua vez, representa o volume total de água que pode ser explorado do aquífero para a sustentabilidade do sistema, ou seja, sem causar o rebaixamento progressivo dos níveis de saturação (equação 14). Normalmente representa a reserva reguladora somada com uma parte do volume da reserva permanente.

$$R_{exp} = Rr + x \cdot Rp \qquad \text{Equação 14}$$

Onde: Rr é a reserva renovável; Rp é a reserva permanente; e, x , é um percentual da reserva permanente.

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

3.1. CONTEXTO GEOLÓGICO

O contexto geológico do Sistema Aquífero Urucuia compreende essencialmente a Bacia Sanfranciscana, que representa a cobertura sedimentar fanerozóica do Cráton do São Francisco e unidades de embasamento.

A Bacia Sanfranciscana tem forma alongada, na direção norte sul, com comprimento aproximado de 1.100 km e largura média de 200 km (Sgarbi *et al.* 2001). Ocupa uma área de aproximadamente 150.000 Km² (Campos & Dardenne, 1997a). Limita-se a norte com a Bacia do Parnaíba, pelo Arco de São Francisco; a sul com a Bacia do Paraná, pelo Arco do Alto Parnaíba, e os limites ocidental e oriental são respectivamente marcados pelas bordas externas das faixas Brasília e Araçuai/Espinhaço Setentrional (Campos & Dardenne, 1997b) (Figura 3.1).

O Alto do Paracatu, elevação regional do embasamento, é responsável, segundo Campos & Dardenne (1997b), pela segmentação da Bacia Sanfranciscana nas sub-bacias Urucuia (SBU), porção setentrional, e Abaeté (SBA), na porção meridional. O contexto do Sistema Aquífero Urucuia restringe-se apenas à sub-bacia Urucuia, ou seja, apenas à parte norte da Bacia Sanfranciscana, portanto, a descrição geológica seguirá apenas a descrição das unidades geológicas presentes na área de abrangência da sub-bacia Urucuia.

O mapa geológico da área é apresentado de forma simplificada, na figura 3.2, tendo como base o mapeamento geológico do Brasil da CPRM (2002) e CPRM & CBPM (2003). Esse mapa apresenta a ampla área de ocorrência das rochas da Bacia Sanfranciscana, bem como suas relações com as unidades de embasamento, descritas a seguir.

3.1.1 Embasamento

O embasamento da Bacia Sanfranciscana é representado na porção norte pelas rochas da Bacia do Parnaíba, no extremo sul dos estados do Piauí e Maranhão; pelas rochas do Grupo Bambuí; na parte central, o embasamento é representado pelas rochas da zona externa da Faixa Brasília e, na região de Correntina (BA), e São Domingos (GO), por rochas granito-gnáissicas e xistosas. Na parte sul o embasamento é representado pelas seqüências de metassedimentos do Alto Parnaíba (grupos Canastra e Araxá).

As unidades litoestratigráficas da Bacia do Parnaíba serviram de embasamento no limite norte para a deposição da seqüência fanerozóica da Bacia Sanfranciscana. A Bacia do Parnaíba localiza-se na porção oeste da região nordeste do Brasil, ocupa uma área de 600.000 km², com uma seção sedimentar de até 3.500 metros de espessura no seu depocentro (Milani & Thomaz Filho 2000); e, abrange parte dos estados do Piauí, Maranhão, Tocantins, Pará, Ceará e Bahia.

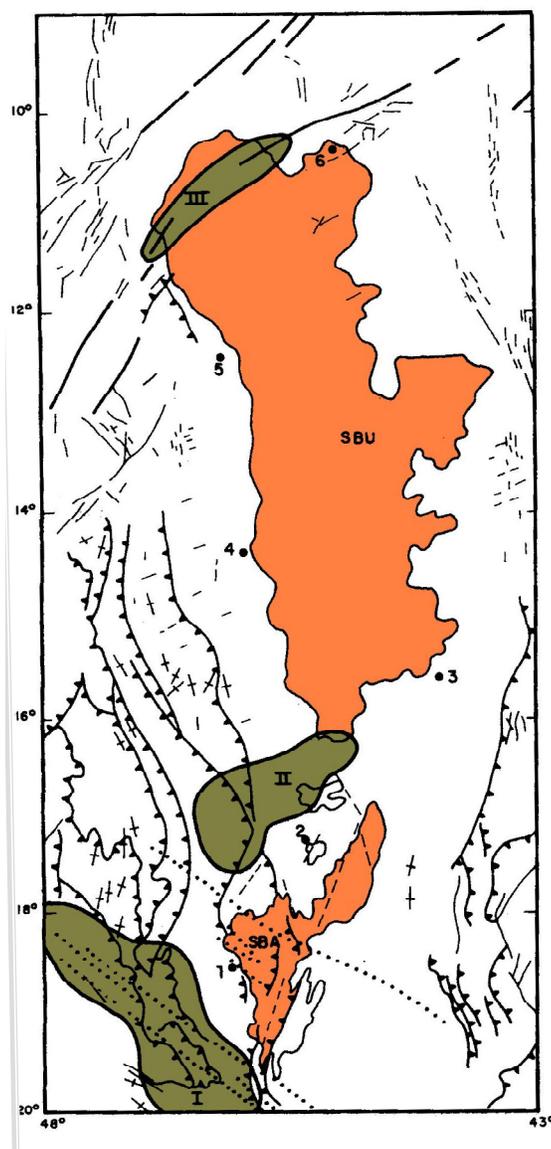
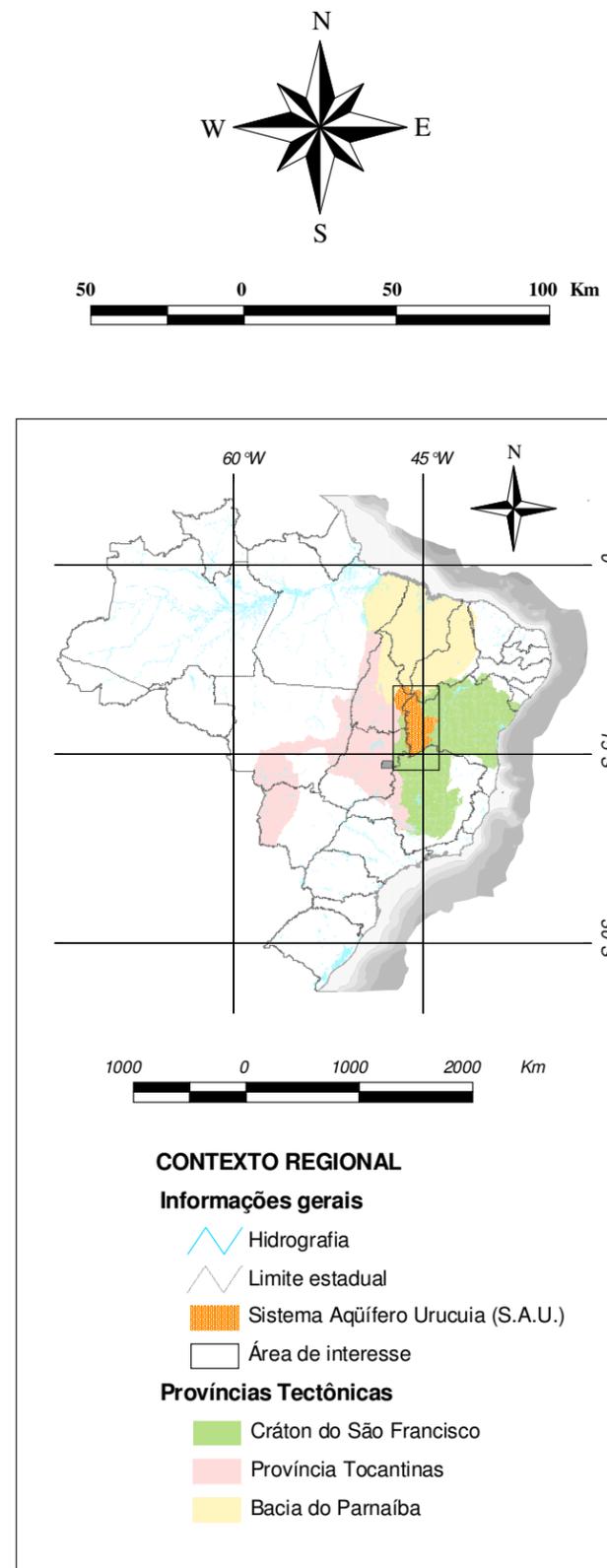
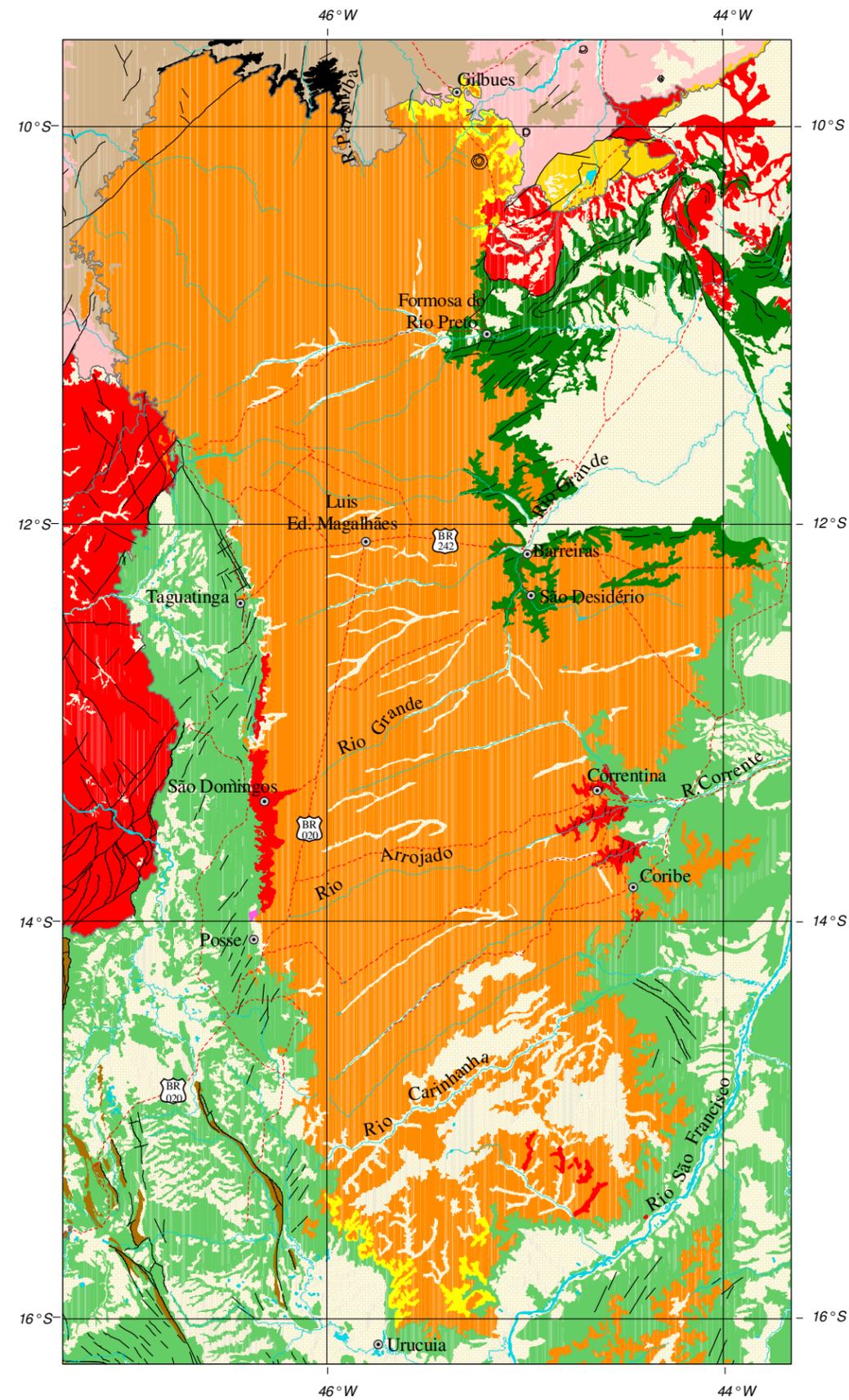


Figura 3.1 – Mapa de contextualização tectônica da Bacia Sanfranciscana. I – Arco do Alto Parnaíba; II – Alto do Paracatu; III – Arco do São Francisco. SBU – Sub-bacia Urucuia; SBA – Sub-bacia Abaeté. Modificado de Campos & Dardenne (1997b).



- LEGENDA**
- INFORMAÇÕES GERAIS**
- Sedes municipais
 - Vias de acesso
 - ~ Hidrografia
 - ∕ Lineamentos
- GEOLOGIA**
- Cenozóico**
- Depósitos aluvionares, de terraços, colúvio-eluviais, detrito-lateríticos, coberturas detrito-lateríticas.
- Mesozóico**
- Bacia Sanfranciscana*
- Grupo Uruçua
 - Fm Serra das Araras
 - Fm Posse
 - Grupo Areado
 - Fm Abaeté
 - Fm Quiricó
 - Fm Três Barras
- Bacia do Parnaíba*
- Fm Mosquito
- Paleozóico**
- Bacia Sanfranciscana*
- Grupo Santa Fé
- Bacia do Parnaíba*
- Grupo Balsas
 - Grupo Canindé
 - Grupo Serra Grande
- Neoproterozóico**
- Provincia São Francisco / Tocantins*
- Grupo Bambuí
 - Metacalcário, ardósia, folhelho, metassiltito, metadiamicrito, metamarga, quartzito, xisto, metagrauvaca, metarcóseo, filito, metaconglomerado.
- Mesoproterozóico**
- Provincia Tocantins*
- Grupo Paranoá
- Paleoproterozóico / Arqueano**
- Provincia Tocantins / Cráton do São Francisco*
- Complexos granito - gnaissicos, gnaissico - migmatítico; Sequências meta vulcano - sedimentares; Ortognaisses, xistos, metapelitos, metaconglomerados e filitos; Granitos calcalcalinos, estaníferos, Intrusivas ácidas a intermediárias; Intrusivas básico - ultrabásicas.

Figura 3.2 – Mapa geológico simplificado da área em estudo. Modificado de CPRM (2002).

O contexto estratigráfico dessa bacia inclui seqüências sedimentares divididas em cinco grupos depositados desde o Siluriano até o Cretáceo. São seqüências, de natureza essencialmente siliciclástica, e subordinadamente calcário, anidrita e sílex, além de diabásios e basaltos, representativos de eventos magmáticos do Neotriássico ao Eocretáceo Góes & Feijó (1994).

A estruturação estratigráfica proposta por esses autores engloba os grupos Serra Grande, Canindé, Balsas, Mearim e o conjunto formado pelas formações Grajaú, Codó, Itapecuru, Areado e Urucuia. Entretanto, a base cartográfica geológica utilizada neste trabalho apresenta como unidades de contato direto com a Bacia Sanfranciscana apenas os grupos Serra Grande, Canindé (formações Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti), Balsas (formações Piauí, Pedra de Fogo e Sambaíba) e a Formação Mosquito.

O embasamento granito-gnáissico encontra-se aflorante nas regiões de Correntina e Coribe, na Bahia e em São Domingos, no estado de Goiás. O embasamento da região de Correntina foi descrito por Rosa *et al.* (1996), que se referem a essas rochas como "Sienitos de Correntina", os quais consistem de sienitos *hipersolvus*, avermelhados, com idade de 2,0 Ga (Mascarenhas & Garcia, 1987 *apud* Rosa *et al.* 1996).

O embasamento na região de São Domingos consiste de três seqüências litológicas: do Arqueano, do Paleoproterozóico e o Grupo Bambuí do Neoproterozóico, descrito neste capítulo à parte. Segundo Silva *et al.* (1983), o embasamento arqueano é granito gnáissico, com fácies calciossilicática e metabasitos localizados. A seqüência do Paleoproterozóico inclui a seqüência vulcano-sedimentar de São Domingos, com filitos e xistos de origem pelítica, tufácea, vulcânicas ácidas e metagrauvas geralmente hornfêlsicas. Inclui ainda um corpo ultramáfico, tonalitos e granito róseo, com pegmatitos estaníferos associados.

Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí representa no mapeamento da área estudada a unidade de embasamento mais expressiva em termos de extensão no âmbito da Bacia Sanfranciscana, por ter funcionado de substrato para deposição das seqüências fanerozóicas (Campos 1996). Essa unidade foi pesquisada por diversos autores em âmbito regional, tendo seu empilhamento estratigráfico sido proposto primeiramente por Costa & Branco (1961). Entretanto, a proposta apresentada por Dardenne (1978) é atualmente a mais aceita e utilizada pela comunidade científica.

Essa proposta apresenta correlações litoestratigráficas desse Grupo que consiste de seis formações individualizadas, reconhecíveis na escala do Brasil Central, especialmente nos estados de Minas, Bahia, Goiás e Mato Grosso. Da base para o topo são reconhecidas as formações Jequitaí, Sete Lagoas, Serra de Santa Helena, Lagoa do Jacaré, Serra da Saudade e Três Marias.

A *Formação Jequitaiá* é a unidade basal do Grupo Bambuí. Expressa um episódio glacial ocorrido no Neoproterozóico numa larga área do Cráton São Francisco. Consiste de diamictitos com seixos de calcários, dolomitos, quartzitos, gnaisses e diversos tipos de granitóides em uma matriz pelítica carbonatada, de coloração cinza esverdeada (Dardenne 1978, Dardenne 2000). Essa unidade repousa em discordância sobre os metassedimentos dos grupos Araí e Paranoá, da Faixa Brasília, e o embasamento cristalino (Dardenne 1978; Dardenne 2000; Dardenne *et al.* 1978).

Segundo Dardenne (2000), a associação sedimentar que segue a glaciação Jequitaiá representa 3 megaciclos regressivos, sendo que cada megaciclo inicia por uma rápida transgressão marinha, de extensão regional, associada com uma rápida subsidência na bacia, descritos a seguir:

O megaciclo I que se representa pela *Formação Sete Lagoas* consiste de sedimentos pelíticos-carbonatados, com granulação mais grossa em direção ao topo, com pelitos e calcilito cinza escuro a preto na base, passando para calcário e dolomito no topo. Dardenne (1978) descreveu uma unidade com alternância de calcários e dolomitos, constituída de lentes de variadas dimensões numa seqüência margosa e pelítica.

O megaciclo II inclui as formações Serra de Santa Helena e Lagoa do Jacaré, e caracteriza-se por uma rápida e generalizada subsidência da bacia seguido de uma sedimentação em uma plataforma dominada por tempestades e correntes de maré. A *Formação Serra de Santa Helena*, essencialmente pelítica, compõe-se de folhelhos e siltitos, cinza a cinza esverdeados. Representa uma camada guia na estratigrafia do grupo Bambuí, intercalando-se entre dois pacotes carbonatados Dardenne (1978). A *Formação Lagoa do Jacaré* caracteriza-se pela alternância de calcários oolíticos e pisolíticos, cinza escuros e fétidos.

O megaciclo III é representado pelas formações *Serra da Saudade* e Três Marias. A primeira consiste de folhelhos e argilitos verdes que passam progressivamente a siltitos feldspáticos ou arcoseanos em direção ao topo. A *Formação Três Marias* constitui-se de siltitos e arcóseos verde escuro.

A idade do Grupo Bambuí apesar de ter sido pesquisada por diversos autores ainda é bastante discutida. Dardenne (2000) apresenta um breve histórico das publicações relacionadas à datação do Bambuí, onde a maioria converge para uma idade da ordem de 600 Ma.

3.1.2 Bacia Sanfranciscana

As unidades litológicas e o contexto tectônico da Bacia Sanfranciscana têm sido estudados por diversos autores. Na porção centro norte (sub-bacia Urucuia) os trabalhos de cunho geológico são mais escassos, dentre estudos mais atuais destacam-se os trabalhos de Spigolon & Alvarenga (2002), Campos & Dardenne, (1997a); Campos & Dardenne (1997b), Campos (1996). Na parte meridional (sub-bacia Abaeté) os trabalhos mais atuais sobre o contexto geológico da bacia são os de Sgarbi (1989); Sgarbi (1991), Kattah (1991), Sgarbi (1997) e Sgarbi (2000). Sgarbi *et al.* (2001) reportam num capítulo de livro uma importante e atual revisão bibliográfica sobre a Bacia Sanfranciscana, contextualizando-a nos eventos geológicos regionais e globais.

Apesar desses diversos estudos, é possível observar na literatura algumas divergências de opiniões entre os autores. Os pontos mais polêmicos são: a definição da unidade basal desta bacia, já parcialmente esclarecido em Sgarbi *et al.* (2001), e a posição estratigráfica do Grupo Urucuia, que representa uma das principais unidades litoestratigráficas da bacia em termos de extensão.

Estratigrafia

A litoestratigrafia da Bacia Sanfranciscana é definida na literatura pelo Grupo Santa Fé (Neopaleozóico) como unidade basal, seguido do Grupo Areado (EoCretáceo), Grupo Mata da Corda (NeoCretáceo), Grupo Urucuia (NeoCretáceo) e a Formação Chapadão (coberturas recentes). Essa configuração estratigráfica não é opinião unânime entre os autores. Sgarbi (1989), Sgarbi (1991) e Kattah (1991) consideraram as rochas do Grupo Areado como unidade basal, enquanto, Campos (1992); Campos & Dardenne (1994), Campos & Dardenne (1997a) descreveram a associação litológica do Grupo Santa Fé, atribuída à glaciação Permo-Carbonífera, preservada em vales escavados no embasamento na porção meridional da Bacia Sanfranciscana, considerando-a como unidade basal da bacia. Mais recentemente Sgarbi *et al.* (2001) finalmente apresentaram o Grupo Santa Fé como unidade basal.

A coluna e divisão estratigráficas adotadas neste trabalho são de Campos & Dardenne (1997a) (Figura 3.3) e a descrição detalhada restrita à geologia da sub-bacia Urucuia.

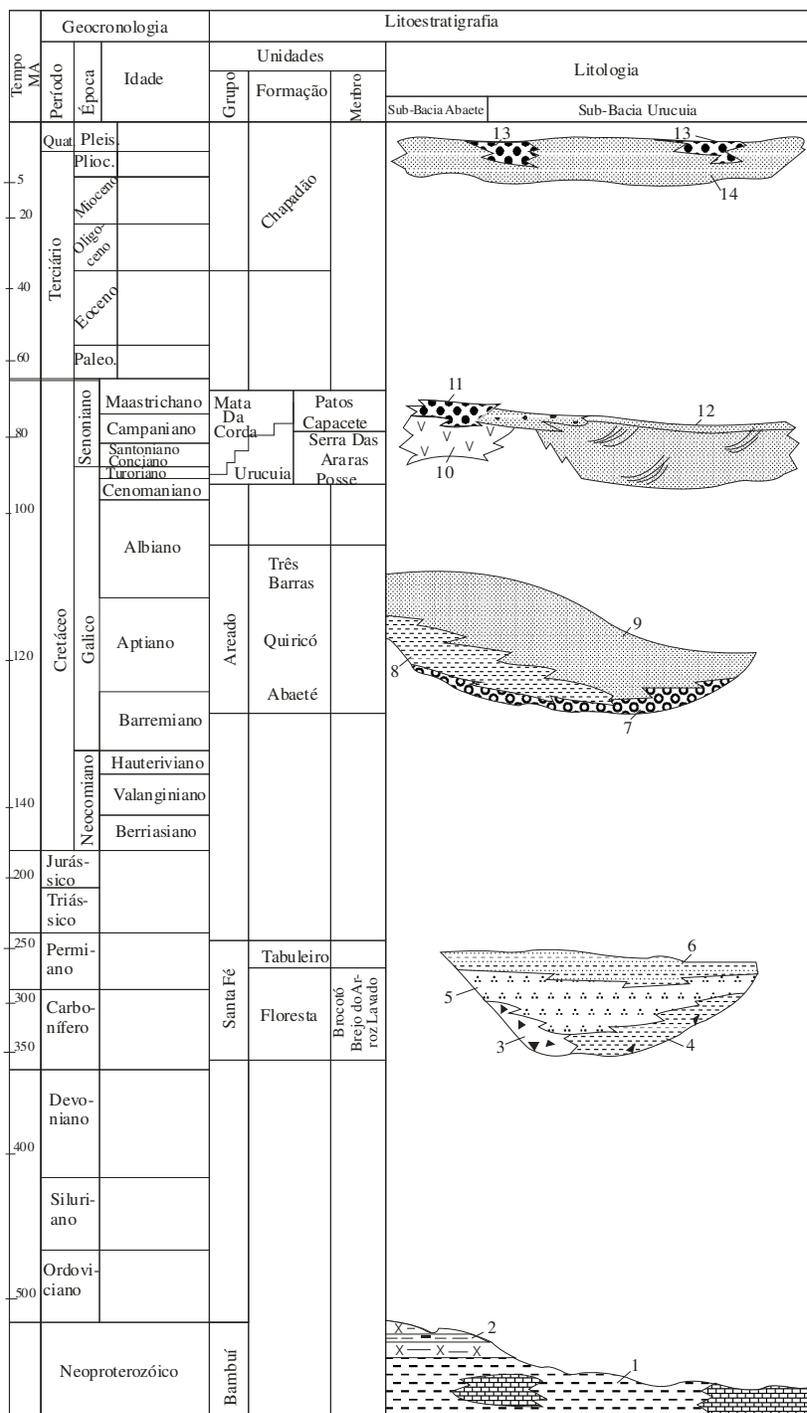


Figura 3.3 - Coluna estratigráfica da Bacia Sanfranciscana. Principais Litotipos: 1- seqüência pelito carbonática; 2 - arcóseos e siltitos; 3 -diamictitos,tilitos e tilóides; 4 - folhelhos com dropstones; 5 - arenitos heterogêneos; 6 - arenitos maciços calcíferos com intercalações argilosas; 7- conglomerados e arenitos; 8 – folhelhos; 9 – arenitos; 10 - lavas e piroclásticas alcalinas; 11 - arenitos vulcânicos; 12 - arenitos eólicos; 13 - conglomerados de terraços e 14 - areias inconsolidadas. Fonte: Campos & Dardenne (1997a).

Grupo Santa Fé (Neopaleozóico)

Essa unidade litoestratigráfica foi definida por Campos (1992) e Campos & Dardenne (1994) como uma associação de rochas de origem glacial, que representam o registro da glaciação Permo-Carbonífera na Bacia Sanfranciscana e pode ser correlacionada com outras unidades glaciogênicas gonduânicas. Dardenne *et al.* (1991) observaram a presença de pavimentos estriados próximo à Santa Fé de Minas, confirmando o registro da glaciação na bacia.

Segundo Sgarbi *et al.* (2001), os registros dessa sucessão de sedimentos glaciogênicos apresentam ampla distribuição na Bacia Sanfranciscana, sendo os depósitos, contudo, restritos a paleo-depressões no embasamento, uma vez que foram intensamente retrabalhados entre o final do Paleozóico e o Eocretáceo.

Embora restrita, essa unidade ocorre em grandes extensões, tendo sido observada desde o vale do São Francisco na parte sul da bacia até a região de Posse, Goiás, em direção ao norte (Campos & Dardenne 1997a). As áreas-tipo desse grupo situam-se na região de Santa Fé de Minas (cabeceiras do Córrego Brocotó, Vereda Brejo do Arroz, Córrego Lavado e Vale do rio Urucuia) e Canabrava, em Minas Gerais (Campos 1992).

O Grupo Santa Fé (Campos & Dardenne 1994) é constituído pelas formações Floresta e Tabuleiro. A Formação Floresta compõe-se de 3 membros, relacionados em contatos laterais interdigitados e, a Formação Tabuleiro individualiza-se recobrimdo os membros da Formação Floresta e também ocorre diretamente sobre a unidade do embasamento (Formação Três Marias).

Formação Floresta

A Formação Floresta é constituída pelos membros: Brocotó, Brejo do Arroz e Lavado. O *Membro Brocotó* é constituído de tilitos e tilóides, de coloração vermelho-tijolo. A fácies de tilitos é considerada como diamictitos verdadeiros, não estratificados, maciços, com blocos e calhaus angulosos, enquanto que a fácies de tilóides possui clastos mais arredondados. Esses diamictitos são encontrados em vasta região, mas de forma restrita na porção meridional da bacia. Constitui-se de variados fragmentos de arcóseos, seixos e calhaus de quartzitos, calcários, metassiltitos e granitos flutuando em uma matriz síltico argilosa calcífera. Denominada por Campos & Dardenne (1994) como "*Fácies de tilitos*" o membro Brocotó tem seu sistema deposicional atribuído às bases de morainas, com geração de rochas mal selecionadas, acompanhada de importante feição erosional, de abrasão do embasamento pelas bases das geleiras.

O Membro Brejo do Arroz é constituído de folhelhos vermelhos, laminados, às vezes com clastos caídos perturbando a laminação. Ritmitos com laminação regular de argilitos e siltitos são interpretados como produtos de sedimentação sazonal, descritos como varvitos (Sgarbi *et al.*, 2001); e siltitos, arenitos e conglomerados vermelhos intercalados em níveis decimétricos a métricos, em contatos bruscos com os folhelhos. Os clastos caídos apresentam uma grande variação composicional, como: arcóseos, metassiltitos, calcários, granitos variados, gnaisses, milonitos, xistos, filitos, quartzitos, metaconglomerados, itabirito, quartzo de veio e hematita maciça. Estes apresentam formas irregulares, mas sempre com uma face achatada, às vezes estriada, mal selecionados. O Membro Brejo do Arroz representa segundo Campos & Dardenne (1994) uma deposição lacustre ligada diretamente à glaciação, denominada "*Fácies glácio-lacustres e turbidíticas*".

O Membro Lavado é constituído de arenitos vermelhos heterogêneos; e, secundariamente diamictitos de matriz arenosa, conglomerados finos e conglomerados intraformacionais. Os arenitos são classificados como quartzo arenitos, arenitos feldspáticos e arcóseos, tendo como estruturas sedimentares comuns as laminações cruzadas acanaladas, estratificações cruzadas e plano-paralelas, dobras convolutas e feições de corte e preenchimento. O sistema deposicional do Membro Lavado foi denominado por Campos & Dardenne (1994) como "*Fácies flúvio-glaciais*" consistentes com os sistemas fluviais do tipo *braided*. A grande distribuição horizontal desta fácies indica um sistema fluvial com muitos tributários com canais migrantes lateralmente.

Formação Tabuleiro

A Formação Tabuleiro é constituída por arenitos homogêneos, vermelhos, rosados e localmente brancos com delgadas intercalações argilosas. Apresenta-se em bancos horizontais com estratificação plano-paralela de até 2 metros, estratificações cruzadas de pequeno e médio porte. O arenito exibe alta maturidade textural e mineralógica, excelente selecionamento, sendo classificado como quartzo arenito médio calcífero (Campos & Dardenne, 1994). Essa formação recobre todas as unidades anteriores, inclusive o embasamento, indicando distribuição mais ampla. A passagem da Formação Floresta para a Formação Tabuleiro ocorre de forma gradacional. Seu sistema deposicional denominado de "*Fácies periglacial eólica*" representa a deposição em um ambiente de deserto periglacial com transporte e deposição de areia eólica em lagos pós-glaciais.

A área fonte do Grupo Santa Fé foi interpretada por Campos (1992) e Campos & Dardenne (1994) como a região cratônica do Estado da Bahia a sudoeste da Chapada Diamantina. Essa conclusão foi determinada a partir de: observação das paleocorrentes a partir de pavimentos estriados, estudo do comportamento ótico do quartzo detríticos, associação de

minerais pesados e estudo dos macroclastos caídos que ocorrem na fácies glácio-lacustre.

A idade desse grupo foi obtida por meio de estudo dos sítios icnofossilíferos presentes nos folhelhos do Membro Brejo do Arroz. Os icnogêneros descritos (*Isopodichnus* e *Diplichnites*) (Campos & Dardenne 1994) são típicos de ambientes lacustrinos periglaciais e datam a glaciação permo-carbonífera (Carbonífero Médio-Permiano Superior).

A evolução histórica indicada por Campos (1992) e Campos & Dardenne (1994) indica que após a chegada das frentes glaciais e deposição do Grupo Santa Fé no Neopaleozóico, houve um extenso hiato deposicional no Mesozóico, com retrabalhamento desse grupo.

Grupo Areado (EoCretáceo)

Atualmente tratada como grupo, graças à evolução dos estudos de diversos pesquisadores, esta unidade estratigráfica, segundo Campos & Dardenne (1997a), está distribuída por toda a extensão da Bacia Sanfranciscana, de forma contínua na sub-bacia Abaeté, onde apresenta espessuras superiores a 200 metros, e de forma descontínua na sub-bacia Urucuia, com espessura da ordem de dezenas de metros.

A divisão estratigráfica mais aceita desse grupo consiste de três unidades: Formação Abaeté (Sgarbi 2000), Formação Quiricó e Formação Três Barras, que se apresentam fortemente interdigitadas tanto vertical como lateralmente. A unidade basal mais comum é a Formação Abaeté, entretanto as outras unidades podem ocorrer diretamente sobre o embasamento.

Formação Abaeté

A Formação Abaeté é a unidade basal do Grupo Areado. Apresenta ampla distribuição horizontal, sobretudo na porção meridional da bacia, e encontra-se preservada em paleo-depressões, com espessuras que variam desde alguns centímetros até dezenas de metros (Campos & Dardenne 1997a). Esses autores resumiram e dividiram a formação em duas porções de sedimentação distintas, uma na porção sul da bacia, caracterizada pela presença de conglomerados imaturos, mais desorganizados, com abundância de matriz e fragmentos achatados e alongados; e nas demais porções da bacia, conglomerados monomíticos, maduros com menor quantidade de matriz. Sgarbi (2000) por sua vez, dividiu a formação em duas fácies: Carmo e Canabrava, e mais recentemente Sgarbi *et al.* (2001) elevaram os membros para as seguintes denominações: Membro Carmo e Membro Canabrava.

O *Membro Carmo* representa os conglomerados suportados por matriz e arenitos depositados por fluxos predominantemente laminares, provenientes de leques aluviais associados às áreas de relevo mais acidentado. Sgarbi *et al.* (2001) subdividiram este membro nas seguintes fácies: conglomerados suportados pela matriz, brechas monomíticas, arenitos líticos e pelitos.

Os ventifactos da Formação Abaeté representam apenas 2% da composição global dos conglomerados dessas unidades. São clastos de quartzito, quartzo, jaspilito, filito, silcrete e outras rochas. Esses ventifactos resultaram do polimento eólico de seixos fluviais do Grupo Bambuí, dos grupos Araxá e Canastra (que são expostos no lado oeste da bacia) e ainda de granitos e rochas do embasamento regional (Sgarbi & Ladeira 1995 *apud* Sgarbi 1997). Segundo Sgarbi *et al.* (2001), os ventifactos são muito bem formados, e apresentam tingimento por vernizes de deserto, na forma de compostos de ferro e manganês.

O Membro *Canabrava* representa a continuidade norte dos conglomerados basais do Membro Carmo, sendo entretanto mais bem selecionados e organizados (Sgarbi *et al.*, 2001). Consiste de conglomerado clasto-sustentado, com seixos e calhaus bem arredondados de quartzito, com lentes de arenitos vermelhos associadas. Apresentam estruturas de imbricamento de seixos e feições de acamamento gradacional inverso. O conjunto litológico e as estruturas deposicionais permitem interpretar o ambiente sedimentar desta sucessão como de rios entrelaçados de alta energia (Campos & Dardenne 1994). Esse membro foi apresentado por Sgarbi *et al.* (2001) discriminando as fácies conglomerados suportados pelos clastos e arenitos quartzosos.

Formação Quiricó

Essa formação representa deposição lacustre, com espessura máxima de 60 metros e rica em estruturas deposicionais e deformacionais diagenéticas (Sgarbi 2000).

É composta por folhelhos e siltitos esverdeados, rosados, ocre, violáceos ou avermelhados, que ocorrem interestratificados, apresentando rápidas variações de cores. Subordinadamente ocorrem intercalações de arenitos finos, médios e grossos. As litologias pelíticas predominam na base da unidade, enquanto as intercalações arenosas se situam na porção mediana da seção, sendo mais comuns no topo (Campos & Dardenne 1997a). Segundo esses autores, a influência eólica é constante nessa sedimentação lacustre, atestada pela presença de vários níveis centimétricos de arenitos, compostos de grânulos e grãos de areia eólica, o que confirma a deposição simultânea de pelitos no lago e a migração e retrabalhamento de dunas em suas adjacências.

Sgarbi *et al.* (2001), apresentaram para essa sedimentação lacustre da Formação Quiricó as seguintes associações faciológicas: fácies de pelitos e arenitos finos, maciços; fácies de arenitos médios; fácies de pelitos laminados; fácies de calcários e margas; e, fácies de calcrete.

Análises paleontológicas baseadas na presença de polens, ostracodes e peixes confirmaram característica continental ao chamado Lago Quiricó, típico de clima árido, com idade entre o Barremiano ao Aptiano (Sgarbi 1997).

Formação Três Barras

As rochas dessa formação são divididas em arenitos eólicos e flúvio-deltáicos (Sgarbi, 2000). É a unidade do Grupo Areado que segundo Campos & Dardenne (1997a) apresenta a maior diversidade litológica, maior volume de rochas e a mais ampla área de ocorrência. Campos (1996) registrou a ocorrência da Formação Três Barras no limite norte da sub-bacia Urucuia, região de Monte Alegre/Gilbués, Piauí, recobrando rochas paleozóicas da Bacia do Parnaíba.

Campos & Dardenne (1997a) apresentam esta unidade dividida em três fácies:

Fácies 1 – representada por arenitos médios, brancos, esverdeados ou rosados. Comumente com granulometria bimodal, grãos esféricos com superfície fosca, e estratificações cruzadas de grande porte, com *foresets* tangenciais.

Fácies 2 – constituída de arenitos médios a finos, brancos, amarelados, com cimento calcífero e com níveis argilosos intercalados. Arenitos rosados e vermelhos apresentam matriz argilosa, sendo classificados como *wackes*. Apresentam estratos decimétricos plano-paralelos e estratificações cruzadas de médio e pequeno porte, e ainda como marcas onduladas, estruturas de fluidização, dobras convolutas e estruturas de carga.

Fácies 3 – composta de arenitos e *wackes* vermelhos, rosados, na forma de lentes, lobos, canais, em bancos maciços com estratificação paralela ou em estratos cruzados tabulares e acanalados.

Sgarbi (1991) e Sgarbi *et al.* (2001) sugeriram que a cimentação carbonática dessas rochas está relacionada com a liberação intempérica do cálcio a partir das rochas vulcânicas alcalinas superpostas.

Sgarbi *et al.* (2001) apresentaram considerações mais recentes sobre a Formação Três Barras, onde esta é dividida nos membros Quintinos e Olegário.

- *Membro Quintinos*: considerado como resultante da deposição em ambiente flúvio-deltáico, onde predominam as fácies de arenitos sigmoidais, e de arenitos finos tabulares; e, ambiente fluvial meandrante representado pela fácies de arenitos médios conglomeráticos.
- *Membro Olegário*: constitui a fácies representativa dos arenitos eólicos, tipo *red-beds* os quais foram agrupados nas fácies: arenitos com estratificações de grande porte e arenitos com estratificações plano-paralelas.

O conteúdo fossilífero das rochas dessa unidade são alvos de dados controversos, uma vez que alguns autores (Kattah 1991, Pessagno & Dias-Brito 1996) atestaram a presença de radiolários marinhos em níveis de silexitos na fácies interduna, da seqüência eólica. Sgarbi *et al.* (2001) apresentaram um histórico de discussões a esse respeito, e mostraram que ainda existem diversas questões complexas em aberto referentes às interpretações cronoestratigráfica e paleogeográfica para a biota marinha encontrada no Grupo Areado.

Grupo Mata da Corda (NeoCretáceo)

Esse grupo é formado por rochas vulcânicas alcalinas efusivas e piroclásticas, plutônicas alcalinas e sedimentares epiclásticas (Campos & Dardenne 1997a). É dividido nas formações Patos e Capacete. Sua distribuição é apontada como exclusiva da porção sul da Bacia Sanfranciscana (sub-bacia Abaeté), tendo sido atribuída idade da ordem de 80 a 65 Ma (Leonardos *et al.* 1995; Gibson *et al.* 1994 apud Sgarbi *et al.* 2001).

Grupo Urucuia (NeoCretáceo)

As rochas desse grupo destacam-se em importância pelo seu grande volume e distribuição areal na Bacia Sanfranciscana. No entanto, apesar dessa característica, as rochas desse grupo representam uma unidade homogênea, com pouca variedade de litotipos. Ocorre de forma contínua na sub-bacia Urucuia, estendendo-se até o sul do estado do Piauí, sendo descrito por Góes & Feijó (1994) e Campos (1996), naquela região; e, descontínua na parte sul (sub-bacia Abaeté), na forma de mesetas e morros testemunhos.

Os estudos dessa unidade são numerosos, sobretudo aqueles focalizados na porção meridional da bacia, no extremo norte do estado de Minas Gerais; porém ainda não prevalece entre os autores uma unanimidade quanto seu ao posicionamento estratigráfico, conforme discutido por Sgarbi *et al.* (2001).

Grossi Sad *et al.* (1971) ao revisarem as formações cretácicas em Minas Gerais consideraram as rochas do Grupo Urucuia como pertencente à *fácies Urucuia* (arenitos argilosos com conglomerados esporádicos) de sedimentação mais distal da Formação Mata da Corda. Sgarbi (1991), por sua vez, defende a mesma composição, entretanto, considerando-o como *Membro Urucuia* (arenitos argilosos com contribuição vulcânica).

Em trabalhos mais recentes a discussão foi modificada. Sgarbi (2000) defendeu que a *Formação Urucuia* não apresenta nenhuma diferença com as rochas do Grupo Areado e sugeriu que são a mesma unidade litoestratigráfica, baseados nos padrões geomorfológicos, associação litológica e ambiente de sedimentação. Enquanto Campos (1996), Campos & Dardenne (1997a), defendem a proposta de que o *Grupo Urucuia* é uma unidade litoestratigráfica distinta do *Grupo Areado*.

Mais recentemente Sgarbi *et al.* (2001) apresentaram essa unidade como Grupo Urucuia, dividida nas formações Posse, unidade basal, e Serra das Araras, unidade superior desse grupo (Campos & Dardenne 1997a).

Formação Posse

Representa a unidade basal do Grupo Urucua, constituindo a unidade de maior volume desse grupo. Foi dividida por Campos & Dardenne 1997a nas fácies 1 e 2.

A *fácies 1* constitui-se de quartzos arenitos e arenitos feldspáticos, muito finos, finos, médios, bimodais, com boa maturidade textural e mineralógica, geralmente apresentando bom selecionamento. Ocorrem ainda nessa fácies lentes e níveis de conglomerados médios a finos, com seixos do próprio arenito, quartzos de veio, quartzitos e com cimentação silicosa freqüentemente associada. O conjunto dessa fácies foi caracterizado como um sistema eólico de campos de dunas, pela presença de estratos cruzados de grande porte, com planos de estratificação menor com altos ângulos (25-30°) e pequenos ângulos na porção basal, ausência de matriz argilosa detrítica, estruturas de deslizamentos de grãos na porção frontal das dunas.

A *fácies 2* consiste de arenitos feldspáticos e quartzos arenitos, de coloração branca, ocre, finos, argilosos ou não, bem selecionados e menos maduros que os da fácies 1. O material argiloso compõe a matriz detrítica verdadeira e a cimentação de sílica é restrita a bancos horizontais. São comuns estratificações cruzadas tabulares e tangenciais de pequeno porte (até 30 cm) e estratos plano-paralelos mais raros. Interpretada como produto da sedimentação em sistema fluvial entrelaçado psamítico e com influência eólica.

Formação Serra das Araras

Consistem de arenitos, argilitos e conglomerados com coloração avermelhada, intercalados em bancos plano-paralelos de 0,5 a 2 metros. Os arenitos são polimodais, silicificados, vermelhos com níveis amarelados. Apresentam estratificações cruzadas acanaladas de pequeno porte e, mais comumente estratos planos paralelos. Os conglomerados formam níveis de até 50 cm na base de níveis de arenitos. São vermelhos com seixo de quartzos, quartzitos, arenitos e feldspatos caolinizados.

Na porção superior da unidade ocorrem níveis pelíticos, vermelhos e geralmente muito oxidados. Foi caracterizada por Campos & Dardenne (1997a) como uma sedimentação fluvial desenvolvida em amplas planícies, com grande variação de carga de fluxo. A contribuição eólica foi atestada pela presença de grãos esféricos e polidos, isolados no arcabouço dos arenitos e flutuantes nos níveis pelíticos. Na BR-020 pode ser observado a presença de alguns níveis de conglomerado da Formação Serra das Araras (figura 3.4).



Figura 3.4 – Conglomerado da Formação Serra das Araras, observado ao longo da BR-020.

Spigolon & Alvarenga (2002) apresentaram a caracterização das rochas do Grupo Urucuia presentes na região de São Domingos. Atribuíram dois sistemas de deposição para a seqüência sedimentar, o sistema eólico (depósito de campo de dunas) e sistema flúvio-eólico (depósito de planície arenosas), compreendendo sete litofácies distintas: Spe: arenitos com estratificação cruzada de grande porte; She: arenitos com estratificação horizontal; Sle: arenitos com estratificação cruzada de baixo ângulo; Sm: arenitos maciços; Gms: conglomerados maciços matriz-suportados; Gm: conglomerados maciços clasto-suportados; e, Fm: argilitos siltosos maciços.

A fácies Sm é considerada pelos autores uma referência de separação entre o sistema eólico e o fluvial-eólico, que marca o início de períodos mais úmidos, que implicam na flutuação do nível de base e no padrão de sedimentação.

A rodovia GO-463, que acessa a cidade de São Domingos (GO) a partir da descida da Serra Geral de Goiás, exhibe em seu percurso afloramentos bem preservados dos arenitos do Grupo Urucuia, com a presença de estratificações cruzadas de grande porte pertencente ao conjunto da Formação Posse (figura 3.5), entre outras feições.

Segundo Campos & Dardenne (1997a), a espessura dessa unidade é variável de norte para sul da bacia. Na porção sul tem cerca de 25 metros, aumentando gradativamente para norte, onde alcança até cerca de 200 metros de espessura aflorante, próximo da região de São Domingos (GO). Sgarbi (2000) e Sgarbi et al. (2001) apresentaram valores de até 360 metros de espessura para esse grupo, na região do oeste da Bahia. Entretanto, investigações geofísicas mais recentes (Amorim Junior, 2003) apontaram espessuras superiores a 400 metros na bacia do rio das Fêmeas, município de São Desidério, no oeste baiano.

Recentemente, Bonfim & Gomes (2004), apresentaram dados onde as rochas desse grupo

poderiam ultrapassar 1.500 metros de espessura em perfis avaliados na sub-bacia Urucuia. Sua idade é atribuída na literatura através da sua interdigitação com o vulcanismo do Grupo Mata da Corda, ocorrido no NeoCretáceo.



Figura 3.5 – Afloramentos de arenitos do Grupo Urucuia, na rodovia GO – 463, de acesso à cidade de São Domingos.

Formação Chapadão (coberturas recentes)

A Formação Chapadão compreende todos os depósitos de sedimentos recentes da Bacia Sanfranciscana. Essas coberturas foram classificadas como aluvionares, coluvionares e eluvionares (Campos & Dardenne 1997a):

- *Coberturas aluvionares*: são associadas à planície de inundação das maiores drenagens. São associadas por depósitos resultantes de retrabalhamentos fluviais recentes de materiais detríticos diversos;
- *Coberturas coluvionares*: são resultantes de pequenos retrabalhamentos de unidades fanerozóicas e da regressão de formas de relevo tabular elevado;
- *Coberturas eluvionares*: correspondem às areias inconsolidadas, que se desenvolvem a partir dos arenitos pertencentes às diversas unidades fanerozóicas. São representados por depósitos *in situ* ou pouco retrabalhados. Ocorrem nas extensas chapadas, sendo mais comuns

sobre os arenitos do Grupo Urucuia, como no Chapadão do Oeste Baiano.

Na porção meridional da Bacia Sanfranciscana, os sedimentos da Formação Chapadão foram observados e descritos na Serra da Água Fria e na porção superior do Planalto da Mata da Corda, conforme reportado por Sgarbi *et al.* (2001).

Contexto tectônico

Os estudos tectônicos na Bacia Sanfranciscana são escassos. Alguns artigos discutem enfaticamente a tectônica da sub-bacia Abaeté como os citados por Campos & Dardenne (1997b). Outros artigos com pequenas citações da bacia são os de Costa *et al.* (1991) e Hasui *et al.* (1991), que relacionam a tectônica das bacias do Parnaíba e Sanfranciscana.

Segundo Costa *et al.* (1991), a borda oeste das bacias Sanfranciscana e Parnaíba são caracterizadas por falhas normais de direções submeridianas e inclinadas para leste, controladas pela estruturação do embasamento cristalino, que condicionou a sedimentação naquelas bacias sem, contudo, esclarecer que tipo de condicionamento essas estruturas poderiam ter imposto à sedimentação. Hasui *et al.* (1991), mencionaram que no Mesozóico houve a configuração do bloco alto (Arco do Alto São Francisco) que separa a bacia do Parnaíba da Sanfranciscana.

O mapa tectônico da CPRM (2002) apresenta no limite do extremo noroeste da Bacia Sanfranciscana, nos estados do Tocantins e Maranhão, a presença de falhas ou fraturas relacionadas ao Lineamento Transbrasiliano, próximo ao limite da bacia paleozóica do Parnaíba.

Campos & Dardenne (1997b) estudaram a origem e a evolução tectônica dessa bacia como um todo, enfatizando a compartimentação tectônica e contribuindo com a apresentação de seis estágios evolutivos para a história tectônica da bacia. As principais feições tectônicas apresentadas por Campos & Dardenne (1997b) são o Arco do Alto Parnaíba, Alto do Paracatu e Arco de São Francisco, anteriormente citados e apresentados na figura 3.1.

Os seis estágios de evolução tectônica da Bacia Sanfranciscana, segundo Campos & Dardenne (1997b), incluem as seguintes fases e suas características:

Paleozóico – fase pouco pronunciada, com acúmulo de sedimentos glaciogênicos do Grupo Santa Fé; *Neopaleozóico/Eomesozóico* – fase de reequilíbrios isostáticos pós-glaciais, com intensa erosão dos depósitos glaciogênicos; *Eocretáceo* – fase extensiva de abertura do Atlântico sul, responsável pela geração da Sub-Bacia Abaeté; *Mesocretáceo* – fase de inversão tectônica da bacia, pós-rifte da margem continental, responsável pela geração da Sub-Bacia Urucuia; *Neocretáceo* – influências das falhas oceânicas em zonas de fraqueza continentais, estágio de implantação do vulcanismo na Sub-Bacia Abaeté; e, *Cenozóico* – fase neotectônica responsável pela implantação do padrão paralelo de drenagem.

3.2. GEOMORFOLOGIA

A área de estudo apresenta-se num contexto geomorfológico de dois domínios morfoestruturais (IBGE 1993) denominados "Bacias e Coberturas Sedimentares Inconsolidadas Plio-Pleistocênicas" e o da "Faixa de Dobramentos e Coberturas Sedimentares Associadas" (figura 3.6).

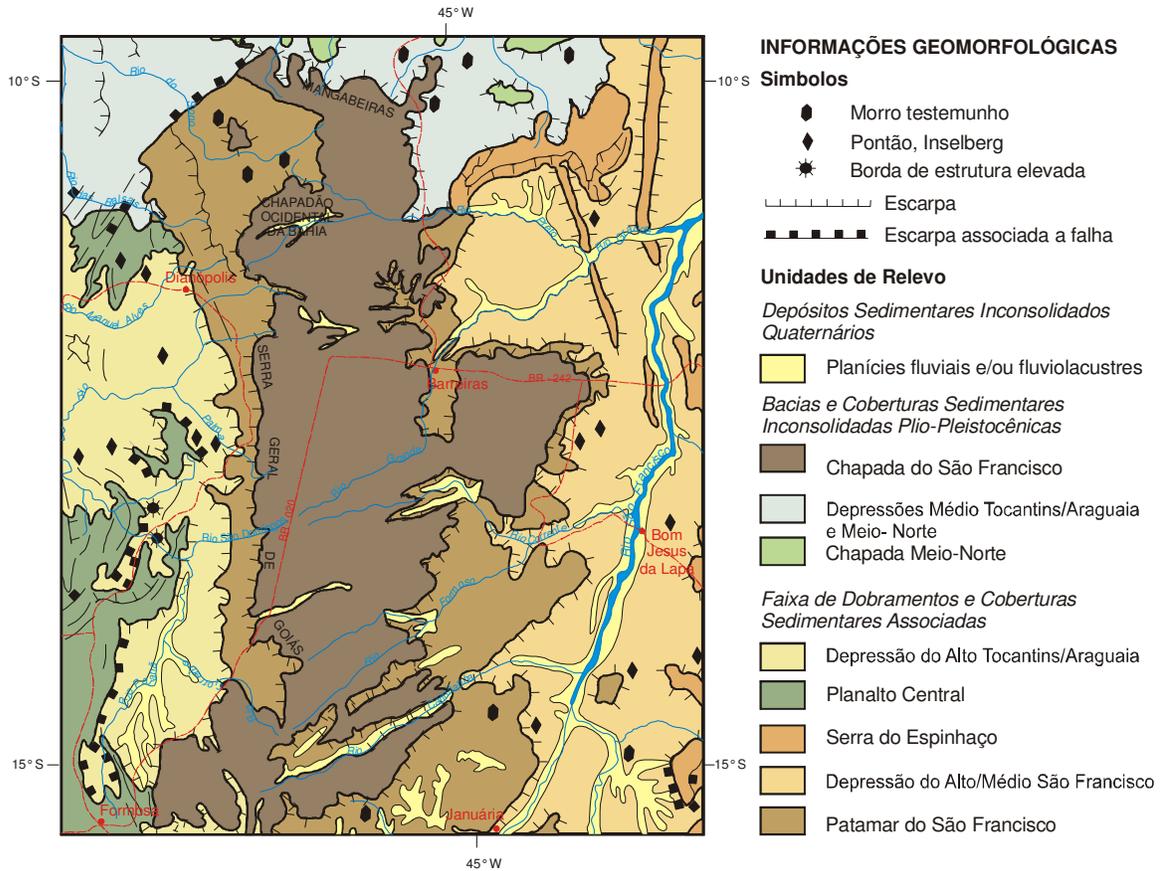


Figura 3.6 - Unidades de relevo da área de estudo e adjacências. Modificado de IBGE (1993).

No contexto de ocorrência do SAU tem-se a unidade de relevo *Chapada do São Francisco*, também conhecida como Chapadão do Oeste Baiano. Essa unidade é a mais importante da região, em termos hidrogeológicos, por conter a área de recarga desse sistema.

A unidade de relevo *Patamares do São Francisco*, enquadrada no subdomínio "Coberturas Metassedimentares da Bacia do São Francisco" bordejando quase toda a extensão da Chapada do São Francisco.

No limite norte a *Chapada Meio Norte* e *Depressões Meio Norte e Médio Tocantins/Araguaia* representam as unidades de relevo constituídas pelas rochas da bacia do Parnaíba. O limite oeste faz-se representar pelo *Planalto Central* e *Depressão do Alto*

Tocantins/Araguaia, unidades formadas principalmente pelas rochas do embasamento da Bacia Sanfranciscana; enquanto que no limite leste as unidades de relevo são: a *Depressão do Alto/Médio São Francisco* e a *Serra do Espinhaço*.

Na unidade *Chapada do São Francisco* a Serra Geral de Goiás, destaca-se como principal feição da região, com aproximadamente 400 km de extensão. Estabelece a divisão entre os estados da Bahia e Goiás; Bahia e Tocantins; e na parte norte está na região limítrofe dos estados da Bahia, Tocantins, Maranhão e Piauí. Tem um desnível de até 200 metros (Campos 1996), com escarpas abruptas, e com abundante presença de colúvios, que podem ser visualizadas da região de São Domingos (GO), como está apresentada na figura 3.7.



Figura 3.7 - Vista da borda oeste da Serra Geral de Goiás, região do vale do rio São Domingos (GO).

Essa unidade limita-se à leste e à oeste por meio de escarpas; e, na parte norte, este limite também se faz por meio de escarpas, que as separam das unidades de relevo da bacia do Parnaíba (IBGE 2003). Nessa região, avista-se o limite norte do Chapadão Central, onde as feições de chapada, colúvios e dunas são atrações turísticas do Parque Estadual do Jalapão (figura 3.8).

Algumas feições particulares são destacadas no relevo ao longo de toda a ocorrência das rochas do Grupo Urucuia. O Morro do Moleque, por exemplo, é uma referência na região de São Domingos (GO) (figura 3.9), sendo sustentada por arenitos silicificados do Grupo Urucuia (Campos 1996).

Outros tipos de feições típicas do relevo da região são as colunas ruineformes presentes nas regiões da borda da serra (figura 3.10), próximo à Barreiras (figura 3.11) e em alguns vales de rios, formadas pela ação do intemperismo e erosão sobre os arenitos do Grupo Urucuia.

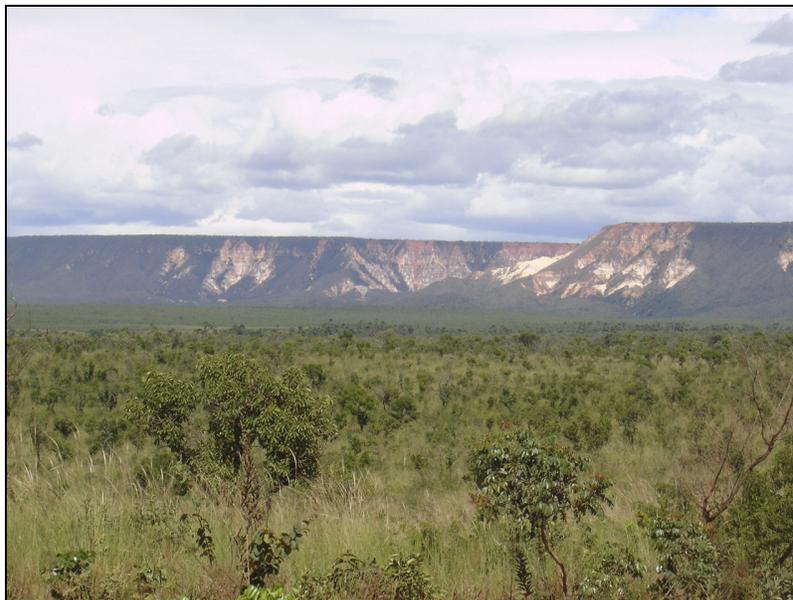


Figura 3.8 – Vista do limite norte do Chapadão Central, na região do Jalapão (TO).



Figura 3.9 – "Morro do Moleque". Feição de relevo da Serra Geral de Goiás. Vista da GO -463, região de São Domingos (GO).

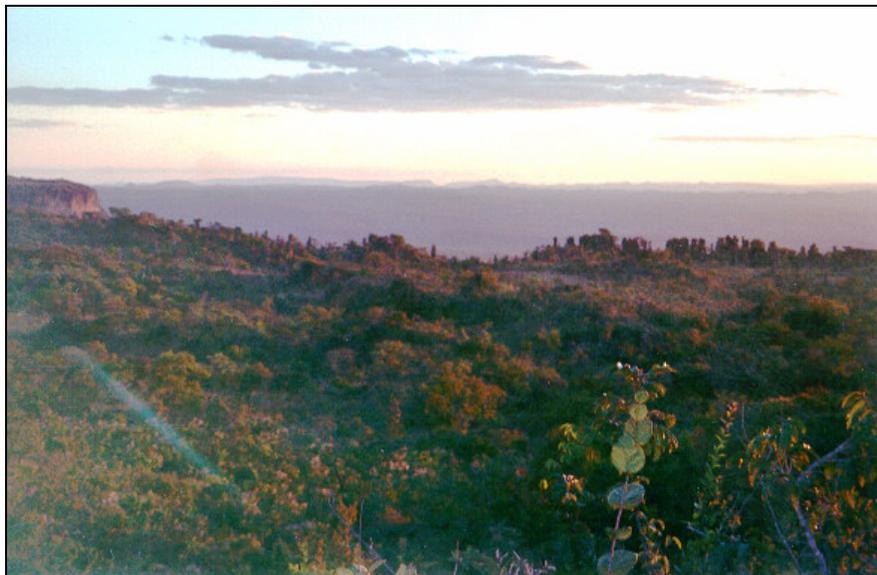


Figura 3.10 - Colunas ruineformes na borda oeste da Serra Geral de Goiás, região de Roda Velha (BA).

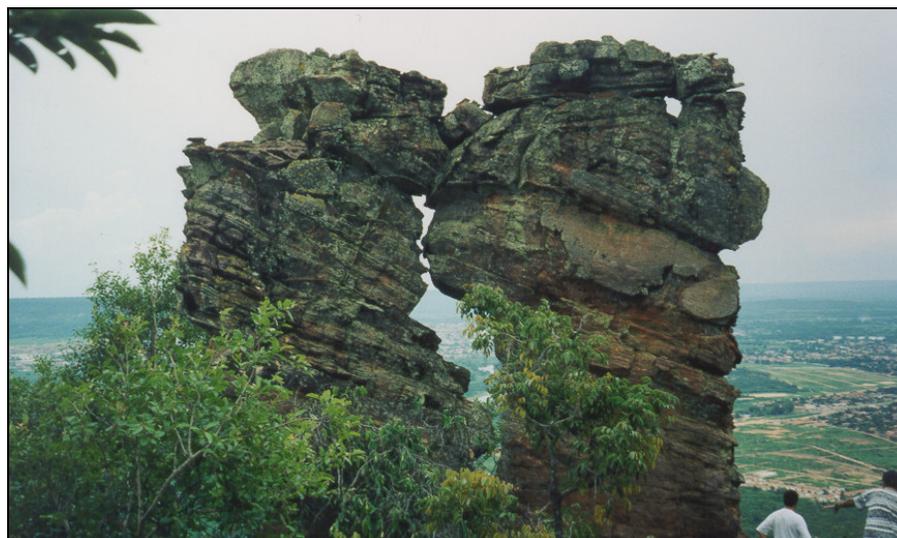


Figura 3.11 – Feições ruineformes em arenitos do Grupo Urucuia, comuns na região do aeroporto de Barreiras (BA).

3.3- PEDOLOGIA

Os solos¹ predominantes na região do oeste baiano são os Latossolos, seguidos por Neossolos Quartzarênicos, os quais representam as unidades de maior expressão geográfica na área do Chapadão Central. Gleissolos, Argissolos e Cambissolos ocorrem em menores proporções (Brasil 1982, IBGE & Embrapa 2001).

Os Latossolos são franco arenosos a franco argilo arenosos, com estruturas em blocos subangulares e grãos simples; são considerados solos profundos, pois chegam a atingir profundidades superiores a 10 metros. Ocorrem nas amplas áreas de chapada, na unidade de relevo do *Chapadão Central* (Brasil 1982; IBGE & Embrapa 2001; FUNATURA 1991).

Os Neossolos ocorrem em áreas mais restritas relativamente aos Latossolos. Consistem de Neossolos Quartzarênicos e Litólicos. Os Neossolos Quartzarênicos abrangem áreas de relevo plano e associam-se, às vezes, com Latossolos e Neossolos Litólicos. Ocorrem também nas calhas dos rios, nas denominadas veredas da região. Os Neossolos Litólicos restringem-se a áreas de relevo suave ondulado e ondulado, e comum no médio curso do rio de Ondas e do rio das Fêmeas, bem como na borda ocidental da Serra Geral de Goiás. Os Gleissolos são comuns nas estreitas faixas de terra úmida ao longo dos cursos dos rios, chamadas de veredas (Brasil 1982), que ficam encharcadas ou pelo menos úmidas o ano todo ou a maior parte do tempo, sujeitando-os a condições de hidromorfia.

Os Argissolos também tem pouca representatividade na área, são comuns na região de Barreiras, São Desidério e Coribe, assim como no interflúvio entre os rios Arrojado e Veredãozinho. Estes solos ocorrem em áreas com relevo plano e suave ondulado. Os Cambissolos apresentam textura média e argilosa, as vezes pedregoso, com ocorrência em terrenos suave ondulado e ondulado. Eles têm ocorrências restritas, sendo comum na borda ocidental da Serra Geral de Goiás e parte oriental da Serra, na região de Barreiras e São Desidério.

Martins *et al.* (1993) estudaram sete perfis de solos na parte sul da área, na fazenda Jatobá (Floryl), no interflúvio entre os rios Arrojado e Veredãozinho, e caracterizam-nos como solos predominantemente arenosos, com baixo teor de nutrientes, baixa capacidade de retenção de água e permeabilidade elevada. Atestaram ainda a presença de mosqueados ao longo dos perfis descritos, sendo comuns entre 0,33 e 0,55m, e tornando-se maiores a partir de 0,75 até 2,2 metros, evidenciando, segundo os autores, oscilações do nível d' água, condicionado pela presença de níveis rasos de silexito do Grupo Urucuia em subsuperfície. Os solos com feições

¹ As classes de solos citadas foram classificadas segundo o novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da EMBRAPA (1999).

mosqueadas estavam sob área de ocorrência de bolsões de vegetação mais densa do que das adjacências.

O manejo desses solos ao longo de toda a região do oeste baiano consiste de uma intensa atividade agrícola com a predominância do monocultivo de soja em sequeiro em toda a região. O cultivo de algodão e milho também é considerado importante, assim como o de café e frutas irrigados, a prática da pecuária e culturas de pinheiros e eucaliptos, principalmente na parte sul.

Alguns trabalhos apontam para as fragilidades dos solos ao processo erosivo (FUNATURA 1991) e citam conseqüências ocasionadas pela utilização do uso intensivo em áreas de cultivo sucessivo de soja, como a redução do conteúdo de matéria orgânica e até mesmo a redução da produtividade nessas áreas (Silva *et al.* 1994).

3.4 ASPECTOS CLIMATOLÓGICOS

Na região do oeste baiano o clima é classificado como um clima tropical, com inverno seco - do tipo *Aw*, segundo Köppen. Apresenta duas estações bem definidas, com um verão chuvoso, que se estende de outubro a abril, e um inverno seco, de maio a setembro. As temperaturas médias variam anualmente entre 26° e 20°C, e a umidade relativa do ar varia em torno de 80%, a máxima, no mês de dezembro, e a mínima de 50%, em agosto.

A altura pluviométrica aumenta de leste para oeste nessa região, com médias anuais entre 900 mm a 1000 mm (mínima), na altura de Barreiras e Correntina, e 1.500 mm (máxima), na parte ocidental, no extremo oeste da borda da Serra Geral de Goiás (figura 3.12).

A precipitação média mensal na região é bastante irregular, com concentração dos maiores volumes nos meses de outubro a abril. No período chuvoso as maiores médias mensais alcançam cerca de 200 a 250 mm ao mês, enquanto que na seca a altura pluviométrica é quase zero.

O gráfico da figura 3.13 exibe a variação mensal da precipitação nas estações meteorológicas Posse, Correntina, Fazenda Prainha e Ponte Serafim-Montante, para o período de 1982 a 2002. A estação Posse situa-se na cidade de Posse (GO), parte sudoeste da área; a Correntina fica na cidade de Correntina (BA), parte leste da área, enquanto que as estações Fazenda Prainha situa-se a cerca de 30 Km a leste São Domingos, e a estação Ponte Serafim-Montante está a cerca de 30 km a nordeste de Luís Eduardo Magalhães.

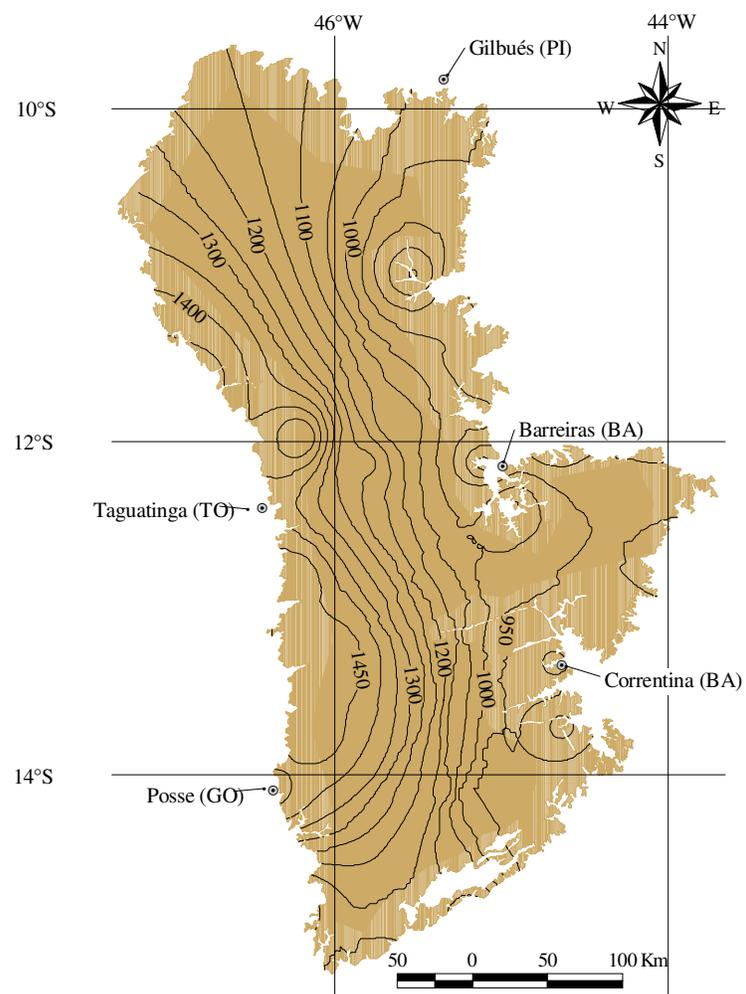


Figura 3.12 - Mapa de isoietas do oeste da Bahia. Período de 1982 à 2002.

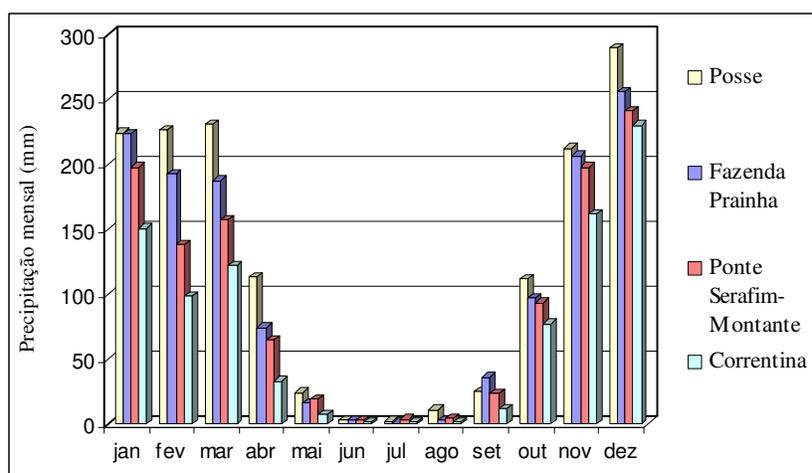
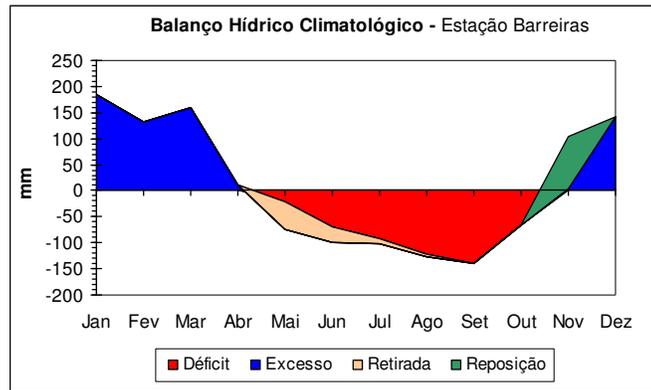
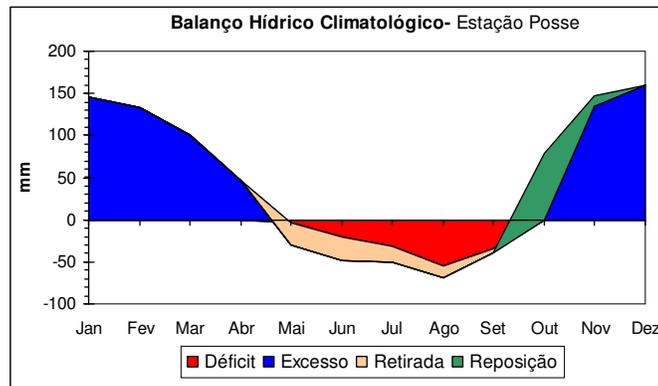


Figura 3.13 - Gráfico das precipitações médias mensais para o período de 1982 a 2002, nas estações pluviométricas Posse, Correntina, Fazenda Prainha e Ponte Serafim-Montante.

Esse comportamento irregular ocasiona na região períodos de excesso e déficits hídricos. Os gráficos de balanços hídricos das cidades de Barreiras (BA) e Posse (GO), para o período de 1995 a 2005, apresentados na figura 3.14, mostram comportamento sensivelmente diferentes quanto ao tempo de ocorrência dos excessos e déficits hídricos.



(a)



(b)

Figura 3.14 - Gráficos dos balanços hídricos climatológicos das estações meteorológicas de Barreiras (a) e Posse (b), para o período de 1995 a 2005.

O período de excesso hídrico correspondente ao verão (chuvoso), de meados de setembro/outubro a abril, quando o volume da precipitação é maior que o da evapotranspiração, e o contrário se estabelece no inverno (seco), em meados de maio a setembro/outubro, quando a evapotranspiração é maior que a precipitação, ocasionando um déficit hídrico.

Nesses gráficos observa-se a duração do período de déficit hídrico registrado na estação Barreiras inicia-se em meados de abril, estendendo-se até meados de outubro, enquanto que, na estação Posse esse período compreende os meses de maio a setembro, configurando, portanto, um período de déficit menor do que na estação Barreiras.

No período de excesso hídrico também se observa uma sensível diferença no tempo de duração entre as duas estações. Na estação Barreiras esse período se estende de novembro ao final do março, enquanto que na estação Posse, de outubro a meados do mês de abril.

O clima da região do oeste baiano vem desempenhando um importante papel na forma de ocupação e manejo do solo, desde a época das primeiras ocupações de fazendas de soja e até hoje exerce uma influência direta nas atividades agrícolas da região, assim como no uso dos recursos hídricos.

Normalmente as fazendas que empregam a prática de cultura de sequeiro estão implantadas na extrema borda oeste da região, onde os volumes anuais de chuva são maiores, o que implica na utilização da água subterrânea apenas para necessidades básicas e na pulverização de agrotóxicos nas lavouras; enquanto que em direção à parte leste da região é mais comum a prática de culturas irrigadas que incluem tanto o uso da água superficial quanto o da água subterrânea na irrigação.

3.5 HIDROLOGIA

A área de ocorrência do SAU localiza-se numa região de um importante divisor hidrográfico regional, onde inclui áreas drenadas pelas bacias hidrográficas do rio São Francisco, no seu curso médio, pela bacia do rio Tocantins, na região hidrográfica Tocantins e no alto curso da bacia do rio Parnaíba, região hidrográfica do Parnaíba (figura 3.15).

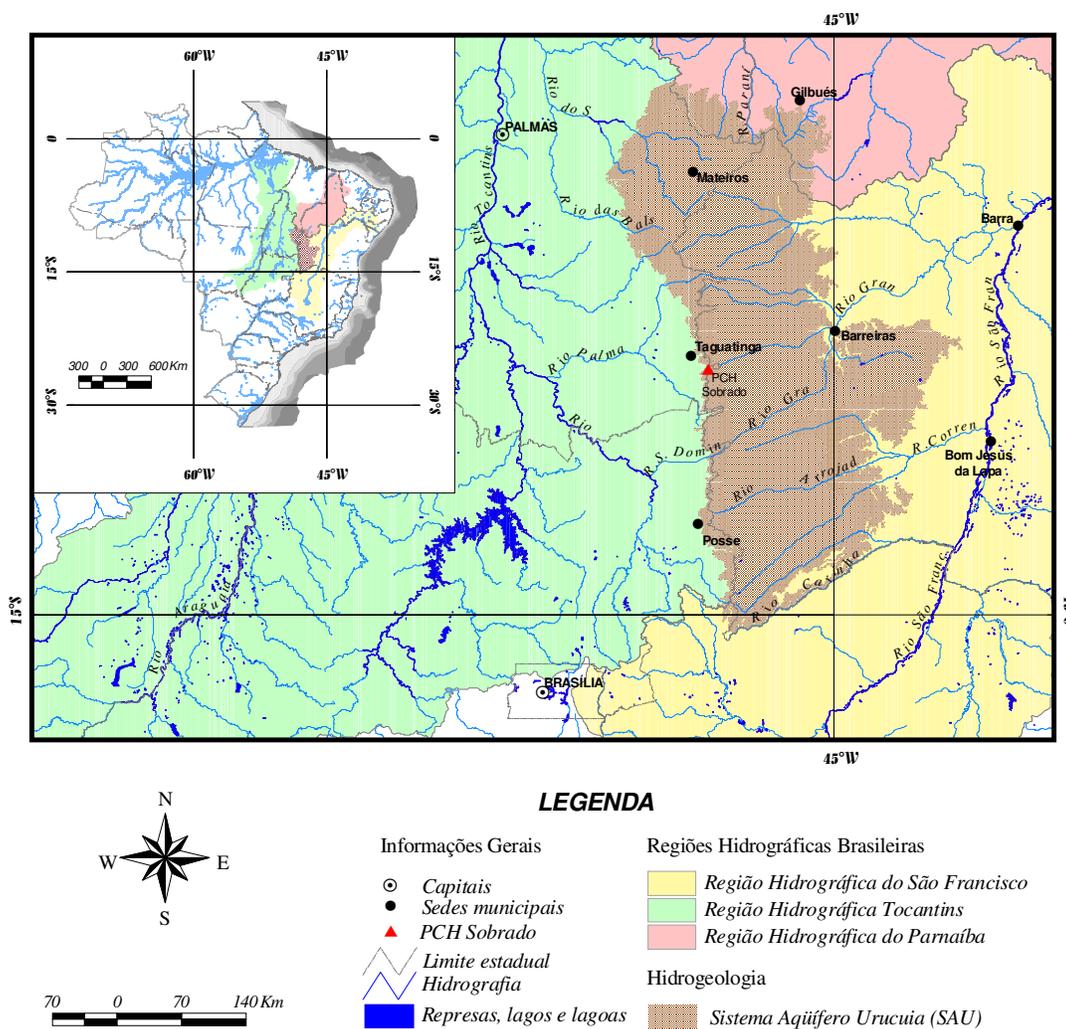


Figura 3.15 - Contexto hidrográfico da região de ocorrência do Sistema Aquífero Urucuiá.

A bacia do rio São Francisco é representada na região pelos afluentes da margem esquerda do seu curso médio, os rios Corrente, Grande e Carinhanha, que drenam diretamente a região do oeste baiano. Esses rios e seus afluentes menores configuram rios com extensas veredas, margens pouco assimétricas, e são bastante utilizados em captações para utilização em projetos de irrigação com pivôs centrais (figura 3.16).



Figura 3.16 - Vereda do rio Arrojado, com captação de água para irrigação por pivôs centrais.

A bacia do rio Tocantins tem como representantes de afluentes pela margem direita; o rio do Sono, na parte noroeste, o rio Palma, afluente do Tocantins, e na parte central da borda oeste da Serra Geral de Goiás, o rio São Domingos, que drena no estado de Goiás, como afluente do Paranã, este também afluente direto do rio Palma.

O rio do Sono drena a partir do extremo noroeste da área, com suas áreas de nascentes na região do Jalapão, município de Mateiros, no estado do Tocantins, já na denominada Serra Geral do Tocantins, formando extensas áreas de veredas (figura 3.17); sendo também representado pelo seu afluente direto, rio das Balsas, que se apresenta próximo do limite ocidental da serra como um rio com forte correnteza (figura 3.18). A bacia do rio Palma tem ainda o rio Sobrado como afluente, que nasce na borda ocidental do SAU, onde há um aproveitamento hidrelétrico, no município de Taguatinga (TO). A PCH Sobrado tem 4,82 MW de potência instalada, e utiliza a energia hidráulica de uma cachoeira natural (figura 3.19).

As nascentes dos rios pertencentes à bacia hidrográfica do Tocantins estão dispostas por toda a borda oeste da Serra Geral de Goiás e do Tocantins, e são alimentados pelo fluxo de base desse sistema aquífero.



Figura 3.17 - Área de nascente do rio do Sono, região do Jalapão (TO).



Figura 3.18 - Rio das Balsas, próximo do limite ocidental do SAU.



Figura 3.19 - Cachoeira no rio Sobrado, afluente do rio Palma, Taguatinga (TO). Instalações da PCH Sobrado.

A bacia hidrográfica do rio Parnaíba, por sua vez, tem sua região de nascentes localizada no limite norte do SAU, no extremo sul do estado do Maranhão e sudoeste do Piauí. Nessa área está localizada a região delimitada como Unidade de Conservação Nacional, o Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, com objetivo de assegurar a preservação dos recursos naturais e da diversidade biológica dessa área.

Em se tratando dos rios que drenam diretamente na área do SAU, os rios do oeste baiano pertencem à região do Médio rio São Francisco, configurando-se como seus afluentes da margem esquerda. São rios perenes, em sua grande maioria, tendo como destaque os rios Grande e Corrente, responsáveis por 37,5% de toda água que chega ao rio São Francisco no período de estiagem (Ramos & Silva 2002), o equivalente a cerca de 380 m³/s. A contribuição em termos de vazões mínimas ressalta a importância do SAU na regularização desses rios.

A drenagem superficial nessa área se faz, no geral, de oeste para leste, com deflúvio total no rio São Francisco. Esses rios configuram uma rede de drenagem com padrão paralelo a subparalelo, condicionado pela geometria do fraturamento imposto àquela área, num intervalo de direção N45-65E (figura 3.20). Esse padrão imposto à drenagem é provavelmente reativação de fraturas existentes e bem representadas no Grupo Bambuí (N50-60E), com reflexos no Grupo Urucuia (Brasil 1982) (Campos 1996). Em maior detalhe, com ênfase nos pequenos tributários o padrão de drenagem é retangular, imposto por um fraturamento secundário, de direção aproximadamente NW-SE.

Excetua-se à direção de escoamento regional, os rios da parte nordeste do Chapadão Central, próximo das sedes municipais de Barreiras e São Desidério (BA), onde os rios que deságuam nos rios Grande e São Desidério, apesar de apresentarem direção preferência NE-SW, procedem de ambos os lados do chapadão. Nessa região os rios Grande e São Desidério formam um eixo receptor de águas de direção NW-SE, em decorrência de uma falha refletida nessa região mais oriental (Brasil 1982).

No Projeto RADAM (Brasil 1982) os rios dessa região apresentam-se normalmente cartografados com feições de ressaltos nas calhas das drenagens, representando um controle estrutural nas margens. Os rios têm vales assimétricos, com a presença de zonas alagadas, no geral, em apenas uma das margens, caracterizados pela presença de solos gleissolos (Campos 1996).

A baixa densidade de drenagem, com valores de 0,1 a 0,2 km/km² é atribuída (Campos 1996) à alta capacidade de infiltração da cobertura de solo e dos arenitos do Grupo Urucuia. O grande distanciamento entre os rios também é uma característica marcante dos rios daquela região, que chegou a condicionar o início da ocupação da região às áreas próximas dos rios.

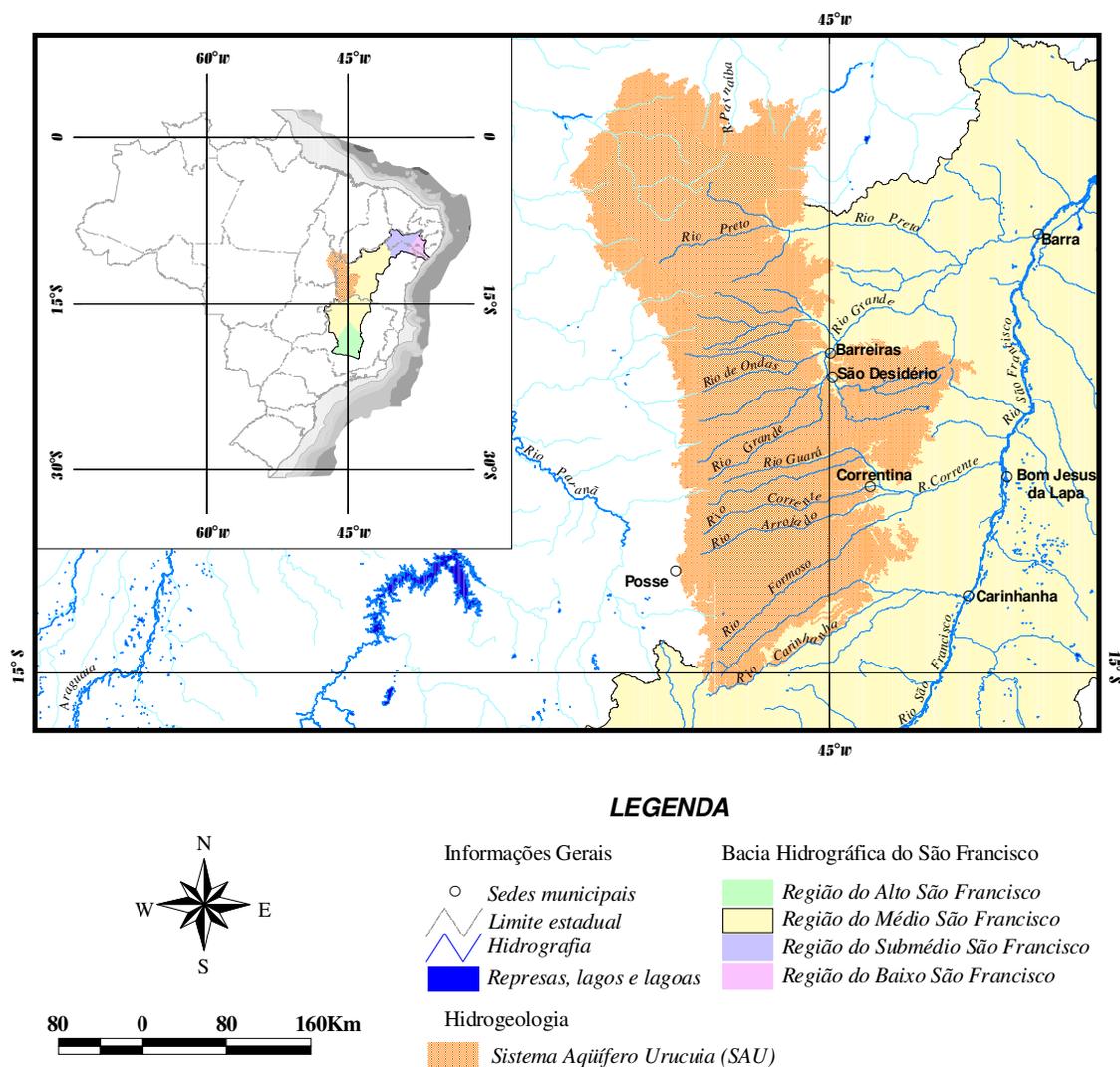


Figura 3.20 - Rede de drenagem da região do oeste da Bahia, médio São Francisco.

Em termos qualitativos as águas dos afluentes da margem esquerda do médio São Francisco que drenam diretamente as áreas do SAU apresentam baixa concentração de íons dissolvidos, normalmente com pH entre 4,0 e 7,68, segundo Aquino *et al.* 2002 e Aquino *et al.* 2003 nos rios dos Cachorros e das Fêmeas, afluentes do rio Grande.

Em 2004 o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF) apresentou uma proposta para enquadramento dos corpos de água do rio São Francisco. Segundo a proposta, que é uma revisão daquela apresentada pelo IBAMA em 1989 e pelos comitês de bacia de vários afluentes do São Francisco; os rios que drenam diretamente as áreas do SAU estão enquadrados na Classe 1, em sua maioria e alguns na Classe Especial, por banharem áreas de Unidades de Conservação da categoria Proteção Integral (figura 3.21).

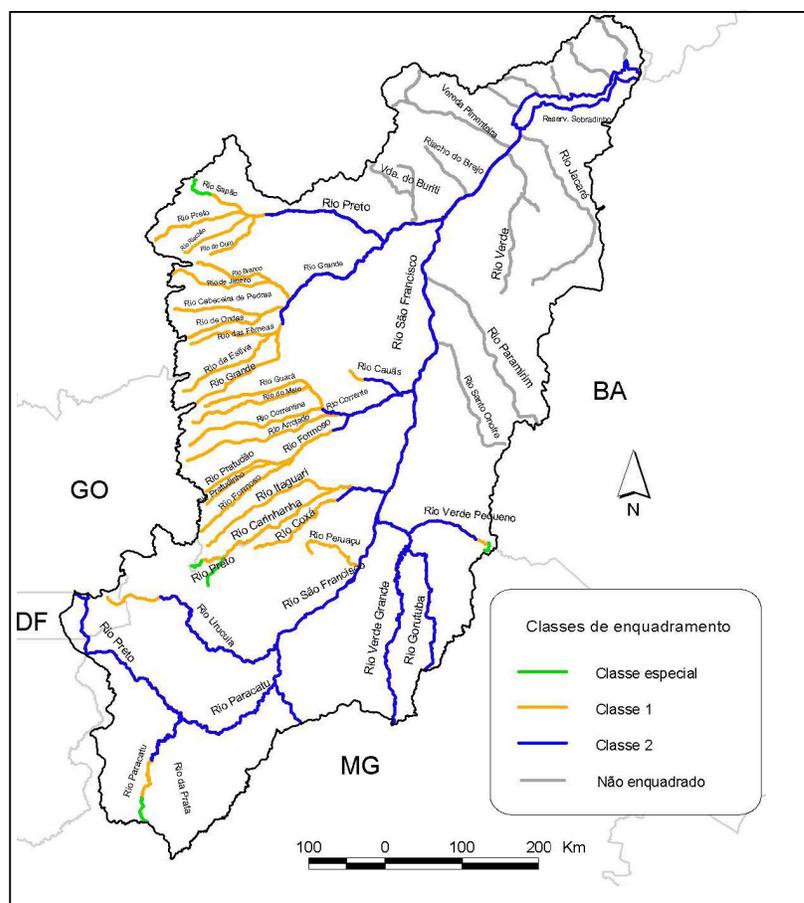


Figura 3.21 - Enquadramento para os corpos de água para a região do médio rio São Francisco. Fonte: ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004).

Os estudos de hidrologia mais recentes na região do oeste baiano incluem esforços da Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia (SRH-BA) para suprir a carência de dados hidrológicos que são utilizados como parâmetros para a concessão de outorgas de água, sobretudo para uso em irrigação. Os trabalhos focalizam ora aspectos locais (Nascimento 2003) (Schuster 2003), ora aspectos regionais relacionados à gestão dos recursos hídricos (Aquino *et al.* 2002) (Santana *et al.* 2002) (Silva *et al.* 2002) (Ramos & Silva 2002) (Schuster *et al.* 2002).

Alguns resultados de pesquisas realizadas em sub-bacias do rio Grande são importantes avanços para o conhecimento dos rios daquela região. Nesse universo de pesquisas mais recentes e mais detalhadas tem-se a bacia do rio Cachorro, afluente do rio de Janeiro e a do rio das Fêmeas, ambos afluentes do rio Grande, ambas descritas com sinais de antropização em suas áreas. Santana *et al.* (2000) descreveram a visível degradação do rio do Cachorro, ocasionada, segundo os autores, principalmente pelo mal uso e manejo dos solos e pela destruição das matas ciliares e veredas, como tem acontecido em todos os rios do oeste baiano.

A caracterização pretérita do SAU apresenta-o como um manancial de potencial exploratório restrito. Mente (2000) aponta a morfologia de tabuleiro elevado, a litologia fina e a espessura restrita das camadas como fatores limitantes à sua exploração. Em Brasil (1998), o sistema granular-arenítico formado pelas rochas dos grupos Urucuia e Areado, como foi referido o SAU, também foi caracterizado como um reservatório de espessura restrita e apontado apenas como um meio transmissor de água para os calcários subjacentes do sistema cárstico-fissural.

Atualmente, entretanto, sabe-se do potencial desse sistema aquífero, sobretudo pela perfuração de poços para implantação de projetos de irrigação, que operam com vazões superiores a 500m³/h e pela sua contribuição com volumes de água consideráveis para os afluentes da margem esquerda do médio rio São Francisco.

O Sistema Aquífero Urucuia tem sido objeto de diversos estudos de cunho local desenvolvidos pela SRH-BA e UFBA em cooperação técnica. Os trabalhos publicados são resultantes de estudos desenvolvidos pela superintendência e consultorias, e refletem o esforço conjunto de pesquisadores e instituições envolvidas em busca de parâmetros para suprir a carência de dados desse manancial, visando obter fundamentos técnicos para concessão de números crescentes de outorgas solicitadas pelos produtores para projetos de irrigação no oeste baiano.

A excelência do Sistema Aquífero Urucuia foi apontada por Souza (2003) e Schuster *et al.* (2002), atestando a presença de poços que fornecem vazões superiores a 500 m³/h, com vazões específicas da ordem de 23 m³/h/m.

Amorim Jr & Lima (2003) desenvolveram pesquisas nesse sistema, com desenvolvimento de levantamentos geofísicos e constataram sua compartimentação por meio de um divisor de água subterrânea de direção aproximadamente norte/sul, que divide o escoamento subterrâneo para leste, direcionado para o vale do rio das Fêmeas, bacia em que foram realizados os estudos; e, para oeste, em direção à borda oeste da Serra Geral de Goiás.

Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos em pesquisas publicadas recentemente mostram entre si certa uniformidade de dados referentes à parte confinada do sistema (tabela 3.1). As investigações realizadas por meio de ensaios de bombeamento em poços na bacia do rio das Fêmeas (Nascimento 2003), na bacia do rio do Cachorro (Schuster *et al.* 2002) e rio de Janeiro (Schuster 2003) apontaram resultados semelhantes.

Schuster (2003) avaliou ainda os raios de influência dos bombeamentos, chegando a valores de 2.500 a 3.500 metros entre os poços, e sugerindo que seja mantida uma distância mínima de 4.000 metros entre os poços e os rios; considerando que o coeficiente de armazenamento, a vazão e o tempo de bombeamento são fatores responsáveis pela extensão desse raio.

Tabela 3.1 - Parâmetros hidrodinâmicos obtidos do SAU no oeste baiano.

	T (m ² /s)	K (m/s)	S	BACIA
Schuster <i>et al.</i> (2002)	1,61·10 ⁻²	1,00·10 ⁻⁴	2,6·10 ⁻⁴	Rio dos Cachorros
	1,63·10 ⁻²	1,08·10 ⁻⁴	1,5·10 ⁻⁴	
Nascimento (2003)	1,52·10 ⁻²	4,05 · 10 ⁻³	7,5·10 ⁻⁴	Rio das Fêmeas
	1,69·10 ⁻²	4,11·10 ⁻³	3,0·10 ⁻⁴	
Schuster (2003)	1,61·10 ⁻²	-	2,74·10 ⁻⁴	Rio de Janeiro
	2,03·10 ⁻²	-	5,39·10 ⁻⁴	

Numa avaliação das reservas hídricas do aquífero na bacia do rio das Fêmeas, Nascimento (2003) obteve os valores de reservas totais a partir do volume da área da zona saturada multiplicado pelo coeficiente da porosidade efetiva do arenito (10%), apresentando um valor de 2,61 10¹¹ m³. A reserva reguladora estimada a partir da taxa de descarga multiplicada pela área da bacia, foi tida como um volume de 1,57 10⁹ m³.

Esses parâmetros obtidos conferem ao Sistema Aquífero Urucua características de um excelente reservatório para uma região com grandes perspectivas de expansão de áreas agrícolas, com utilização das águas subterrâneas na irrigação de diversas culturas.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O termo "Sistema Aquífero" é bastante utilizado e difundido no meio científico e técnico, notadamente no Brasil. Atualmente encontra-se com facilidade na literatura nacional, estudos e citações a respeito dos sistemas aquíferos Guarani (Rebouças & Amore 2002), Barreiras (ANA 2005), Cabeças e Serra Grande (Vidal 2003), Paranoá e Bambuí (Campos & Freitas-Silva 1998).

Os Sistemas Aquíferos do Brasil foram agrupados em províncias hidrogeológicas, segundo o Mapa Hidrogeológico do Brasil (BRASIL, DNPM/CPRM 1983). Mente (2000) descreveu os resultados dessa cartografia, e ao tecer considerações metodológicas, destacou a introdução do conceito de Província Hidrogeológica, e apontou como vantagens dessa forma de apresentação, a conotação geográfica e a gênese hidrogeológica obtidas com relação aos sistemas aquíferos, sem, entretanto, apresentar propriamente a definição do termo sistema aquífero.

Considerando um enfoque mais genérico muitos autores referem-se a sistemas aquíferos quanto à natureza de sua porosidade, como sistema aquífero intergranular, sistema fraturado ou sistema aquífero cárstico, também denominados de domínios. Entretanto, é raro encontrar definições ou até discussões sobre esse termo, hoje amplamente usado no meio científico.

Wrege (1997) definiu sistema aquífero (*aquifer system*) como sendo, o domínio aquífero contínuo; ou seja, as partes estão contidas por limites (finito) e estão ligadas hidraulicamente (dinâmico). Machado (2006), discorre que por definição um sistema aquífero pressupõe a existência de conexão hidráulica, com similaridade de condições hidrogeológicas. Em ABGE (1981), a definição de sistema aquífero considera um espaço no interior do qual se dá o movimento da água subterrânea independente das condições existentes fora de seus limites.

No que tange a presente pesquisa, por sua vez, o termo "sistema aquífero" foi adotado com a concepção de que consiste de um conjunto de aquíferos pertencentes a uma mesma unidade geológica, de abrangência regional, interdependentes hidráulica e/ou fisicamente. Sua caracterização, portanto será apresentada de modo a avaliar não somente a zona saturada do sistema, mas também os solos na sua área de recarga, a distribuição espacial dos subtipos na região e as condições atuais de exploração.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ZONA VADOSA DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA

A zona vadosa do SAU é constituída predominantemente por espessos latossolos franco arenosos a franco argilo arenosos, que atingem cerca de 35 metros de profundidade, como atestado nos perfis litológicos dos poços perfurados na região. Esses solos são constantemente submetidos ao preparo com uso de máquinas que compreende uma série de práticas de aração e gradagem pesada.

Essas intervenções são predominantes em comparação à prática de plantio direto na região. Segundo a EMBRAPA (2003), a compactação do solo é provocada pela ação e pressão dos implementos de preparo do solo, especialmente quando essas operações são feitas em condições de solo muito úmido, continuamente na mesma profundidade, e quando o tráfego de máquinas agrícolas é intenso.

As conseqüências físicas apontadas são principalmente a diminuição da infiltração de água, ocorrência de enxurrada, resistência à penetração dos implementos de preparo, o que exige cada vez maior potência das máquinas no preparo do solo.

A compactação acarreta principalmente modificações nas condições de infiltração da água nos solos, as quais são primordiais para a garantia de recarga dos aquíferos. Neste estudo foram avaliadas as condições de infiltração nas classes de Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Neossolo Quartzarênico (RQ) ao longo da área de pesquisa.

Uma série de 30 ensaios de infiltração superficiais, com infiltrômetro de duplo anel e em diferentes profundidades, com testes tipo *open end*, foi realizada para obtenção da condutividade hidráulica vertical (K_v) dos solos. Alguns ensaios granulométricos somaram-se na avaliação de possíveis mudanças desse parâmetro ao longo dos perfis pedológicos, em solos submetidos a diferentes manejos, na área de ocorrência do SAU. No ponto 15 (lavoura de soja) foi possível apenas a aplicação do método de anéis concêntricos.

Os solos foram analisados desde a região da bacia do rio Arrojado, parte sul da área; em pontos adjacentes à BR-020, entre Posse (GO) e Luis Eduardo Magalhães (BA); em solos contíguos à BR-242 entre Luís Eduardo Magalhães e Barreiras (LEM-BA), e em direção à Taguatinga (TO); na região do "anel da soja" (BA-460), ao norte de Luis Eduardo Magalhães (BA) (figura 4.1). Os solos analisados situam-se na área de recarga do SAU conforme visto na figura 4.14.

Os locais analisados incluíram solos em áreas de cerrado *in natura*, áreas de pasto, plantações de soja, eucalipto, pinheiros, em áreas com cerrado modificado, estradas não-pavimentadas e loteamentos residenciais (figura 4.2).

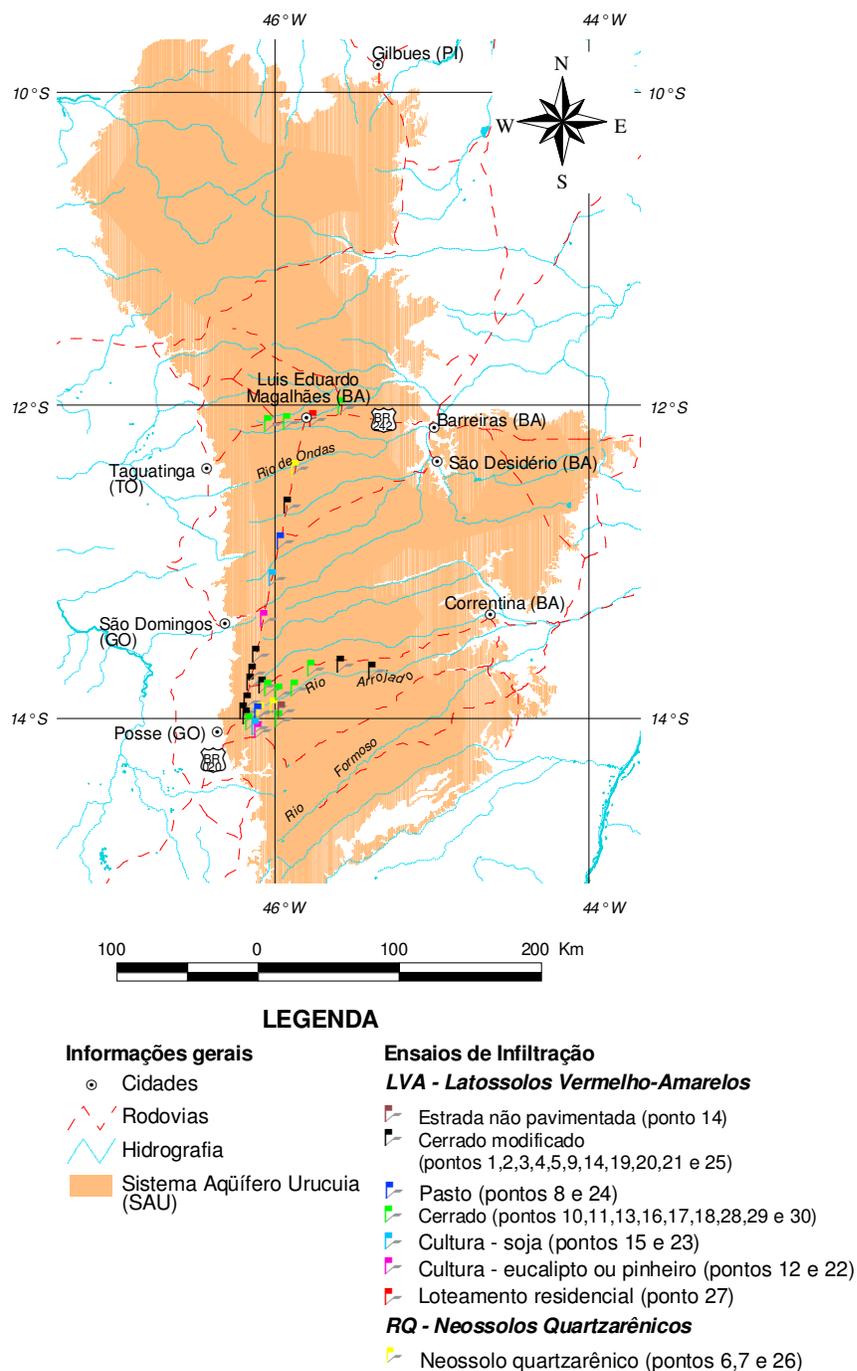


Figura 4.1 – Mapa de localização dos ensaios de infiltração realizados em Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA) e Neossolos Quartzarênicos na região do Sistema Aquífero Urucuia, oeste baiano.



A



B



C

Figura 4.2 –Sítios de realização dos ensaios de infiltração. A – área de leito de estrada bastante compactado; B – área de reflorestamento por eucalipto e C – área de cerrado nativo.

Os valores de condutividades hidráulicas verticais (Kv) obtidas nesses solos foram da ordem de 10^{-4} a 10^{-7} m/s (tabela 4.1). Valores da ordem de 10^{-4} m/s e 10^{-6} m/s são considerados como um *background* para a região, em áreas com pouco ou nenhuma intervenção antrópica, nos ensaios de superfície e em função da profundidade, respectivamente.

Tabela 4.1 - Valores de Kv e breve descrição da área e tipo de solo no oeste baiano.

Pt	Classe	Característica do local	Kv (m/s)				
			0m	0,5m	1m	1,5m	2,0m
1	LVA	Cerrado modificado (Vila Rosário)	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
2	LVA	Cerrado modificado (Vila Rosário)	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
3	LVA	Cerrado modificado, adjac. BR-020	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$
4	LVA	Cerrado modificado, próx. estrada	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
5	LVA	Cerrado ralo. Cabeceira do rio Arrojado	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$3,8 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$
6	RQ	Vereda na bacia do rio Arrojado	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$7,3 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-6}$	$4,2 \cdot 10^{-6}$
7	RQ	Cerrado	$7,1 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$
8	LVA	Pasto	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$
9	LVA	Cerrado ralo (modificado)	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$
10	LVA	Cerrado	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-7}$
11	LVA	Cerrado	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
12	LVA argiloso	Cultura de pinheiro (Faz. Floryl)	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-7}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
13	LVA	Cerrado (solo argiloso)	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
14	LVA	Estrada não-pavimentada (Floryl)	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-7}$	$9,1 \cdot 10^{-7}$
15	LVA	Lavoura de soja	$2,7 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-
16	LVA	Campo limpo (solo arenoso)	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-5}$	$4,3 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$
17	LVA	Cerrado ralo	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$
18	LVA	Cerrado	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$9,3 \cdot 10^{-7}$
19	LVA	Cerrado modificado	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
20	LVA	Cerrado modificado (Arrojolândia)	$9,6 \cdot 10^{-5}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
21	LVA	Cerrado ralo (atividade biológica)	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$
22	LVA	Cultura de eucalipto (BR-020)	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$
23	LVA argiloso	Adjacente a uma lavoura de soja	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-7}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$
24	LVA	Pasto (compactação superficial)	$5,6 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$9,7 \cdot 10^{-7}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$5,2 \cdot 10^{-7}$
25	LVA	Cerrado modificado (solo arenoso)	$5,3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
26	RQ	Cerrado modificado (rio de Ondas)	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
27	LVA arenoso	Loteamento residencial (compacto)	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
28	LVA	Cerrado "anel da soja" (BA-460)	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-6}$	$8,0 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
29	LVA arenoso	Cerrado, próximo à BR-242	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$9,9 \cdot 10^{-7}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$
30	LVA	Cerrado, próximo à BR-242	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$
Média			$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$
Máximo			$7,1 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-5}$	$8,1 \cdot 10^{-6}$	$6,0 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$
Mínimo			$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-7}$	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$3,6 \cdot 10^{-7}$
Mediana			$1,9 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$
Desvio Padrão			$1,8 \cdot 10^{-4}$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-6}$
Moda			$1,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$

Dentre os ensaios realizados em superfície, os valores médios de Kv situaram-se próximos de 10^{-4} m/s, com variações dessa média em alguns ensaios para valores da ordem de 10^{-5} e 10^{-6} m/s (figura 4.3).

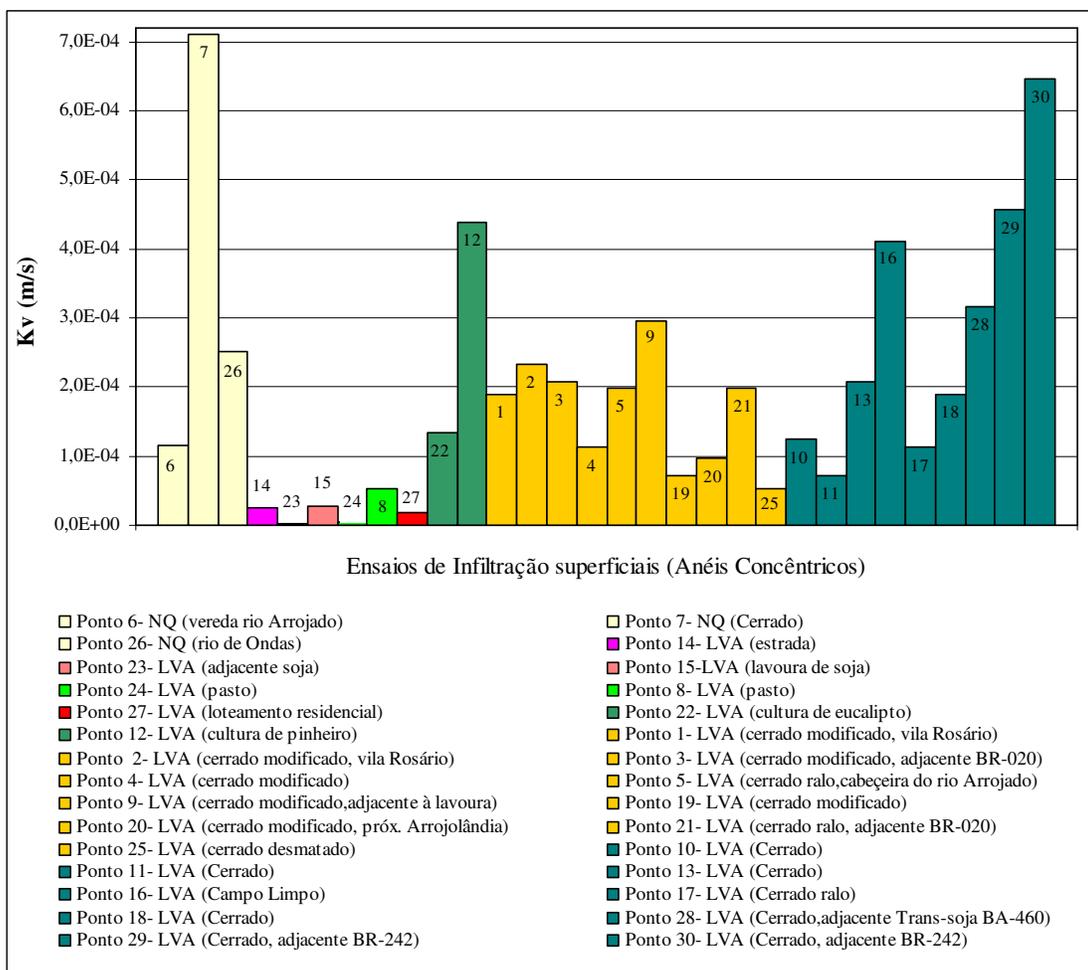


Figura 4.3- Gráfico dos valores de Kv superficiais obtidos em Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Vermelho-Amarelos na região do oeste baiano.

Nos ensaios de superfície, realizados nos solos em estado natural, o valor de background foi de cerca de 10^{-4} m/s. Considerando "estado natural" os solos que se apresentavam com cobertura vegetal original do ecossistema Cerrado, e desprovidos de intervenção antrópica na superfície. Esses valores serviram de comparação para avaliar aqueles solos desprovidos de cobertura vegetal natural e sujeitos aos usos potencialmente degradantes no que concerne às práticas agropecuárias.

Os menores valores em superfície apresentaram ordem de grandeza de $4,27 \cdot 10^{-5}$ m/s, e foram obtidos nos ensaios dos pontos 8, 11, 14, 15, 19, 20, 24, 25 e 27, cujos solos em superfície são utilizados em áreas de pastagem, estradas não-pavimentadas, loteamento residencial, lavoura

de soja, cerrado alterado (Tabela 4.1). Apenas no ensaio do ponto 11 apresentou valor baixo ($7,2 \cdot 10^{-5}$ m/s), num solo em área de Cerrado preservado.

O ensaio de número 23, realizado adjacente a uma lavoura de soja, apresentou um valor de Kv bem abaixo da média ($1,5 \cdot 10^{-6}$ m/s), que pode ter sua origem ligada tanto ao local do ensaio, por onde circulam tratores e veículos pesados e/ou pela sua textura média a argilosa (figura 4.4) e ausência de estruturação no horizonte superficial.

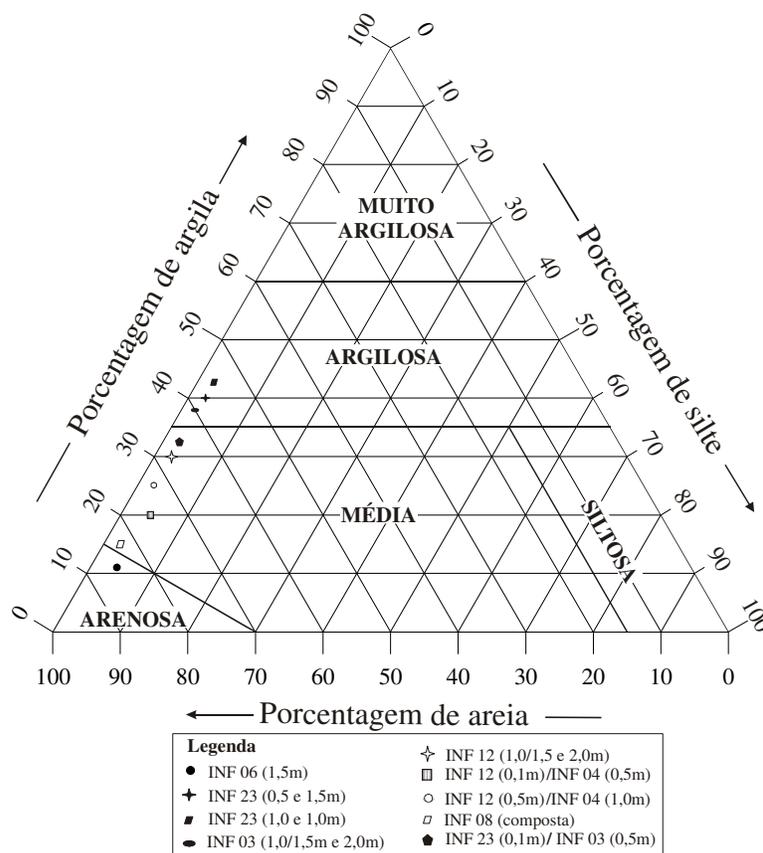


Figura 4.4 - Diagrama de textura dos solos dos pontos 03, 06, 08, 12 e 23 na região do oeste baiano.

Nos ensaios realizados em profundidade, do tipo *open end hole* os valores de Kv obtidos foram da ordem de 10^{-6} m/s, evidenciando uma grande homogeneidade dos solos. De forma geral, observou-se uma diminuição progressiva da Kv hidráulica com a profundidade testada.

A homogeneidade dos valores de Kv em torno de 10^{-6} m/s com pequenas variações é comum em latossolos de áreas de chapada, independente do seu material de origem. Valores da mesma ordem de grandeza de Kv foram obtidos por Cadamuro *et al.* (2000), na região de Caldas Novas, por Souza & Campos (2001) e Cadamuro (2002), no Distrito Federal e por Almeida (2003), na região sudoeste de Goiás.

Os ensaios 6 (Neossolo Quartzarênico) e 16 (Latosolo Vermelho-Amarelo Arenoso) são os que representam as melhores condições de infiltração ao longo do perfil, com valores de $K_v = 10^{-4}$ m/s na superfície, 10^{-5} m/s de 0,5 a 1,0 m de profundidade e mantendo-se constante em 10^{-6} m/s de 1,0 a 2,0 m de profundidade.

Em 33% dos ensaios realizados, observou-se uma redução nos valores de K_v de 10^{-6} m/s para 10^{-7} m/s, a partir de profundidades maiores que um metro.

Os ensaios foram agrupados por tipo de solo e em função de suas condições de manejo. O gráfico da figura 4.5 mostra os valores de K_v nos pontos 6, 7 e 26, realizados em Neossolos Quartzarênicos. Observa-se uma tendência de diminuição dos valores à medida que aumenta a profundidade do teste, principalmente nas profundidades de 1,0 m e 1,5 m. Na profundidade de 2,0 metros ocorre um ligeiro aumento no potencial de infiltração.

Os ensaios realizados em áreas com solos preservados, com vegetação natural também apresentaram uma diminuição na velocidade de infiltração da água nas profundidades de 1,0 e 1,5 metros (figura 4.6). Atesta-se também nesses ensaios a ocorrência de um ligeiro aumento do valor de K_v na profundidade de 2,0 metros, como também pode ser observado nos gráficos das figuras 4.7 e 4.8.

Dos menores valores de K_v (ordem de grandeza de 10^{-7} m/s) obtidos nos ensaios do tipo *open end*, alguns incluem ensaios em áreas sujeitas a usos degradantes e/ou áreas onde os solos apresentam variações granulométricas ao longo do perfil.

As áreas de estrada não-pavimentada (ponto 14), pasto (ponto 8 e 24), cultura de pinheiro (ponto 12), cultura de eucalipto (ponto 22), loteamento residencial (ponto 27) e adjacente à lavoura de soja (ponto 23) têm seus valores de K_v apresentados no gráfico da figura 4.7, onde se vê uma diminuição dos valores nas profundidades de 1,0 e 1,5 m. Nos pontos de cultura de pinheiro e eucalipto, e no loteamento residencial, entretanto, os valores de K_v aumentam a profundidades de 2,0 metros, como ocorrido nos solos sem modificações superficiais. Comportamento semelhante foi observado em solos com cerrado modificado (figura 4.8).

Nos pontos 3, 21 e 29, apesar de não haver usos degradantes em superfície, há uma intervenção antrópica apontada pela observação de uma vegetação de cerrado modificada. Nesses pontos os ensaios apontaram em todos os casos valores baixos, da ordem de 10^{-7} m/s, na profundidade de 1,5 m, nesse caso podendo ser atribuída ao aumento do conteúdo de argila no perfil, como foi atestado pelas análises granulométricas dos pontos 3 e 23 e não pelo manejo do solo já que este refletiria alterações nos ensaios superficiais.

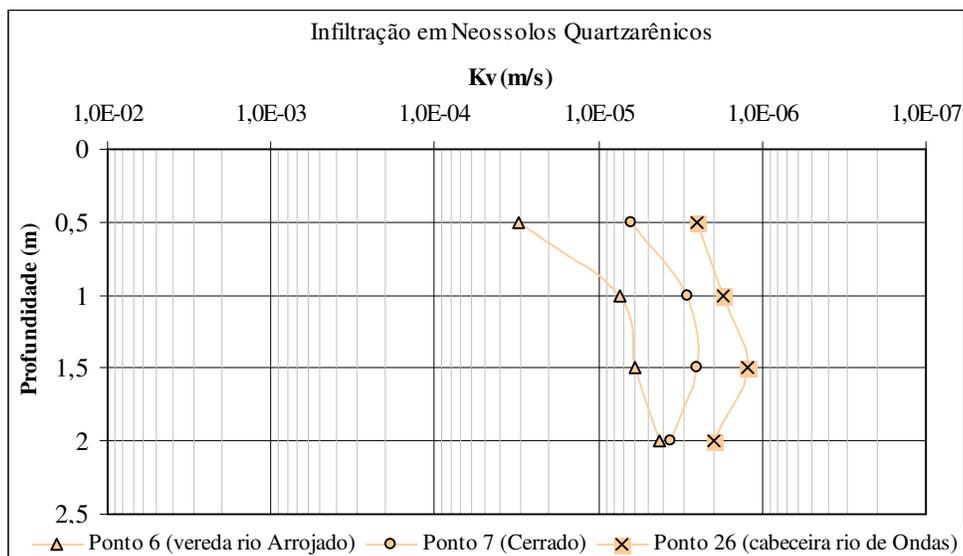


Figura 4.5 - Gráfico dos valores Kv em nas profundidades (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros), dos pontos 6, 7 e 26, realizados em NQ no oeste baiano.

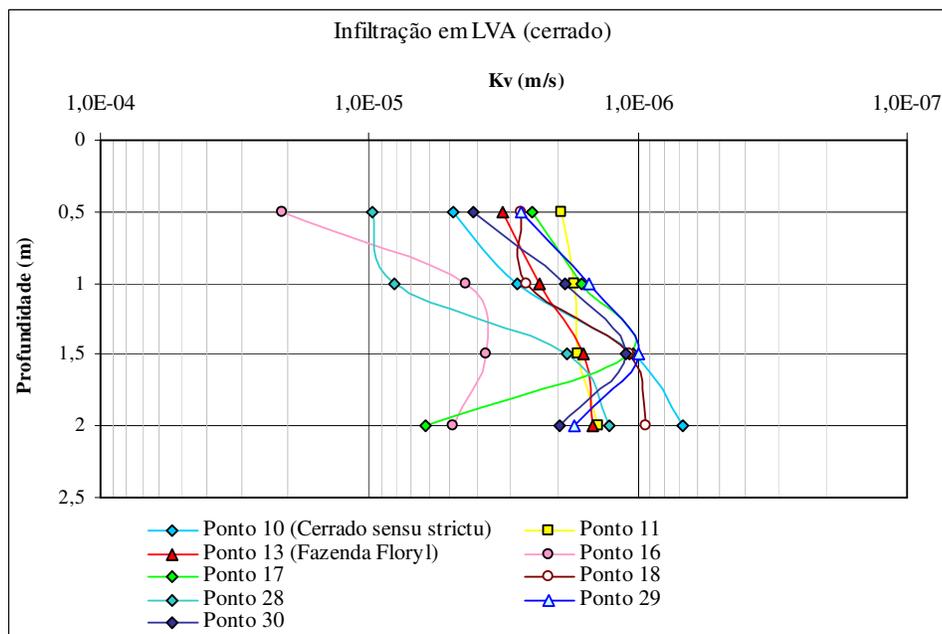


Figura 4.6 - Gráfico dos valores de Kv nas profundidades (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros), dos pontos 10, 11, 13 16, 17, 18, 28, 29 e 30, realizados em LVA, com vegetação preservada no oeste baiano.

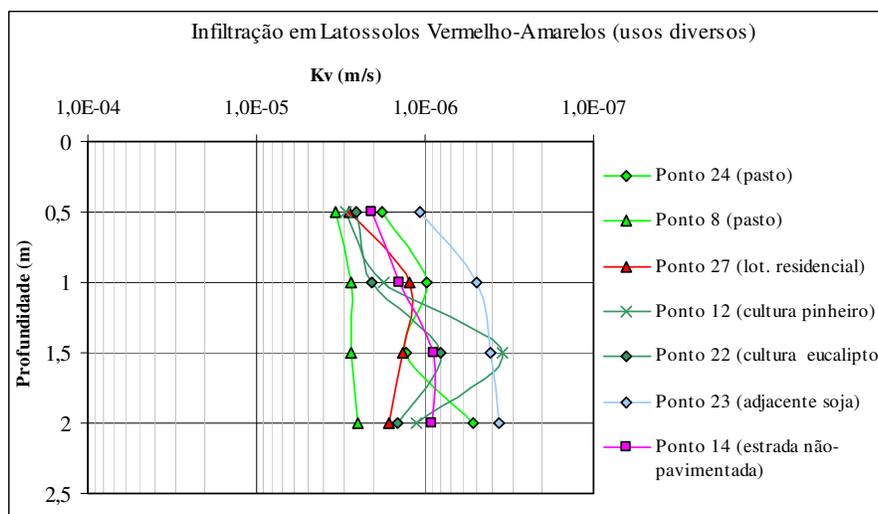


Figura 4.7- Gráfico dos valores de Kv nas profundidades (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros), dos pontos 8, 12, 14, 22, 23, 24 e 27, realizados em LVA de áreas com diversos tipos de manejos, no oeste baiano.

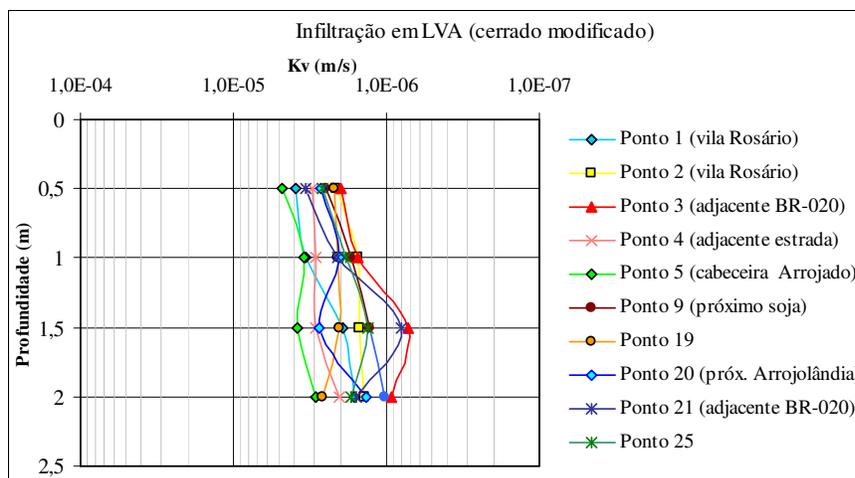


Figura 4.8 - Gráfico dos valores de Kv em diferentes profundidades (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros), realizados em LVA localizados em áreas com cerrado modificado, no oeste baiano.

Essa correlação entre o aumento do conteúdo de argila, em profundidade e a diminuição do valor de Kv foi constantemente observada nos ensaios. Essa correlação é claramente observada principalmente nos ensaios 3, 12 e 23, que apresentaram um aumento de até 10% do conteúdo de argila, a partir da superfície até 2,0 m de profundidade, e uma progressiva diminuição dos valores de Kv (figura 4.9).

O fato de esses solos apresentarem diminuição da estruturação em profundidade, onde a estrutura granular passa a grumosa e a estrutura grumosa tende a se tornar pouco freqüente ou até ausente na profundidade de 2,0 metros, pode também explicar a sensível diminuição da condutividade hidráulica vertical com aumento progressivo da profundidade.

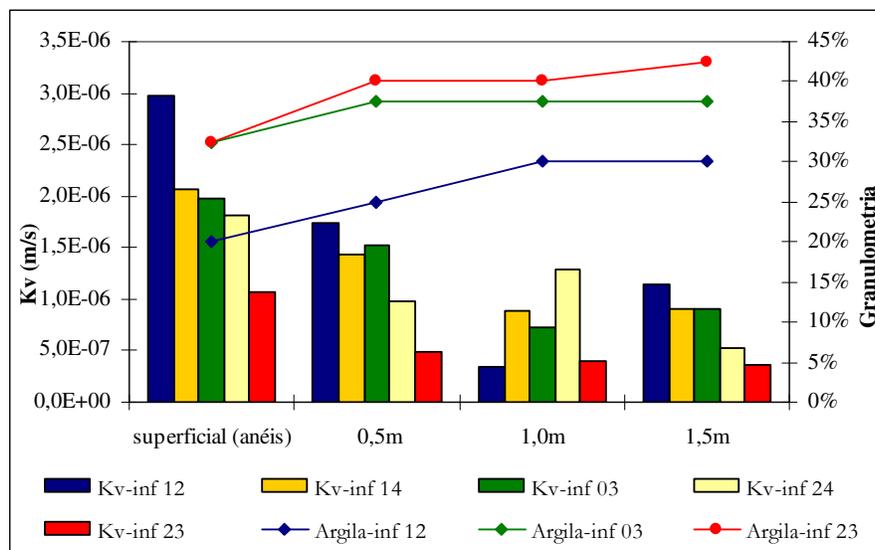


Figura 4.9 - Correlação entre a condutividade hidráulica vertical e a composição granulométrica em latossolos.

Esse comportamento diferenciado em profundidade pode retardar ou desviar o fluxo vertical da água durante a recarga, induzindo um certo volume ao interfluxo, dependendo do padrão geomorfológico local. No caso das amplas áreas de chapadas esse comportamento é insignificante uma vez que, mesmo que haja uma interrupção do sentido vertical da recarga, as perdas pelo fluxo interno são restritas. Contudo, em se tratando das bordas das chapadas e proximidades das calhas dos rios, esse desvio provocaria uma perda de água por interfluxo.

Apesar disso, o retardo ou o desvio temporário na infiltração vertical da água nos solos parecem acarretar menos impactos do que a perda por fluxo superficial, resultante da compactação superficial dos solos. Por isso, embora os solos desempenhem um importante papel na recarga dos aquíferos, seu manejo em superfície é o principal fator a ser considerado.

A compactação, a cobertura vegetal, a declividade do terreno, e principalmente o manejo dos solos, portanto, também se somam como fatores preponderantes na recarga dos aquíferos. No que se refere à recarga específica do SAU, esta ocorre por infiltração da água das chuvas nos solos da área da Chapada do São Francisco. Essa morfologia de relevo é de fundamental importância para a recarga do aquífero, pois corresponde aos relevos mais planos e elevados, onde predominam espessos latossolos de textura média e arenosa.

O estudo sistemático das condutividades hidráulicas verticais em latossolos de regiões genericamente denominadas de chapadas demonstra que, quando em condições naturais (sem uso intensivo), esse tipo de solo tem importante controle das condições de infiltração e recarga dos aquíferos, independentemente do tipo de substrato presente e da textura desses solos Cadamuro (2002), Souza & Campos (2001), Cadamuro *et al.* (2000), Almeida (2003).

Esse fator é explicado pela elevada homogeneidade do perfil pedológico e pela estruturação granular pequena a média ou grumosa comumente presente nesses solos. As áreas de chapadas apresentam funcionamento hídrico que resulta em condições eficientes do ponto de vista dos recursos hídricos subterrâneos, onde as funções filtro e reguladora dos aquíferos são desempenhadas com grande eficiência.

4.3 DEFINIÇÃO DO SISTEMA AQUÍFERO URUCUIA

O Sistema Aquífero Urucuia é proposto como denominação para o conjunto de aquíferos que ocorrem no domínio do Grupo Urucuia, abrangendo a Sub-Bacia Urucuia definida por Campos & Dardenne (1997) como a parte setentrional da compartimentação da Bacia Sanfranciscana, cobertura fanerozóica do Cráton São Francisco.

Esse sistema enquadra-se na província hidrogeológica São Francisco, é do tipo intergranular, composto por uma unidade geológica sedimentar, disposta na forma de um tabuleiro espesso, constituída de quartzos arenitos e arenitos feldspáticos eólicos bem selecionados, com presença de níveis silicificados, e em menor proporção níveis conglomeráticos.

Em quase toda a sua extensão o SAU está mapeado como sobreposto ao conjunto de rochas pelito-carbonáticas do Grupo Bambuí, nos estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais (figura 4.10), o qual constitui o sistema cárstico-fissural Bambuí. Na parte norte repousa sobre rochas sedimentares da Bacia do Parnaíba, e também diretamente sobre o embasamento granito-gnáissico, as quais compõem respectivamente os sistemas aquíferos Poti-Piauí/Serra Grande/Cabeças e Cristalino Centro.

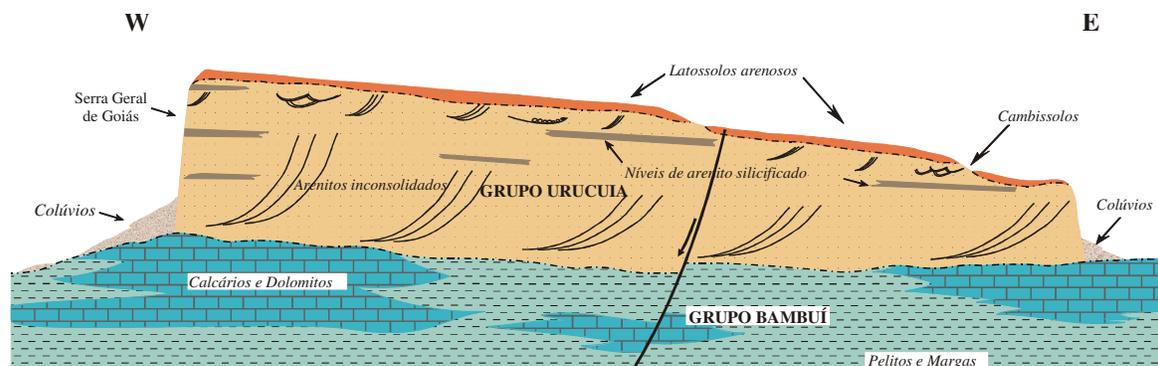


Figura 4.10 - Perfil leste-oeste esquemático do contexto geológico do Sistema Aquífero Urucuia no oeste da Bahia.

A área de abrangência do Sistema Aquífero Urucuia inclui, grosso modo, a mesma área de extensão das rochas do Grupo Urucuia. Essa área representa sua maior expressão em volume e área contínuos, que ocorre no oeste da Bahia, correspondendo a toda sua porção contínua a norte do rio Carinhonha, visto que ao sul deste rio as ocorrências das rochas do Grupo Urucuia são descontínuas e menos espessas. Esse montante corresponderia a aproximadamente 86.000 km². No entanto, a área efetiva do SAU, que corresponderia àquela onde o sistema como unidade aquífera, desempenha as funções armazenadora, reguladora e filtro, é bem menor.

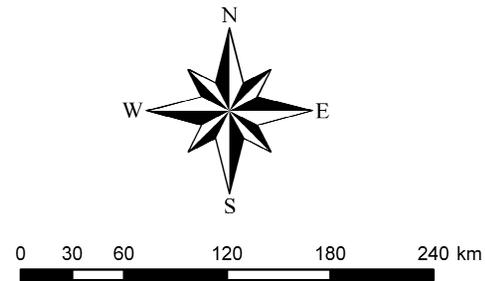
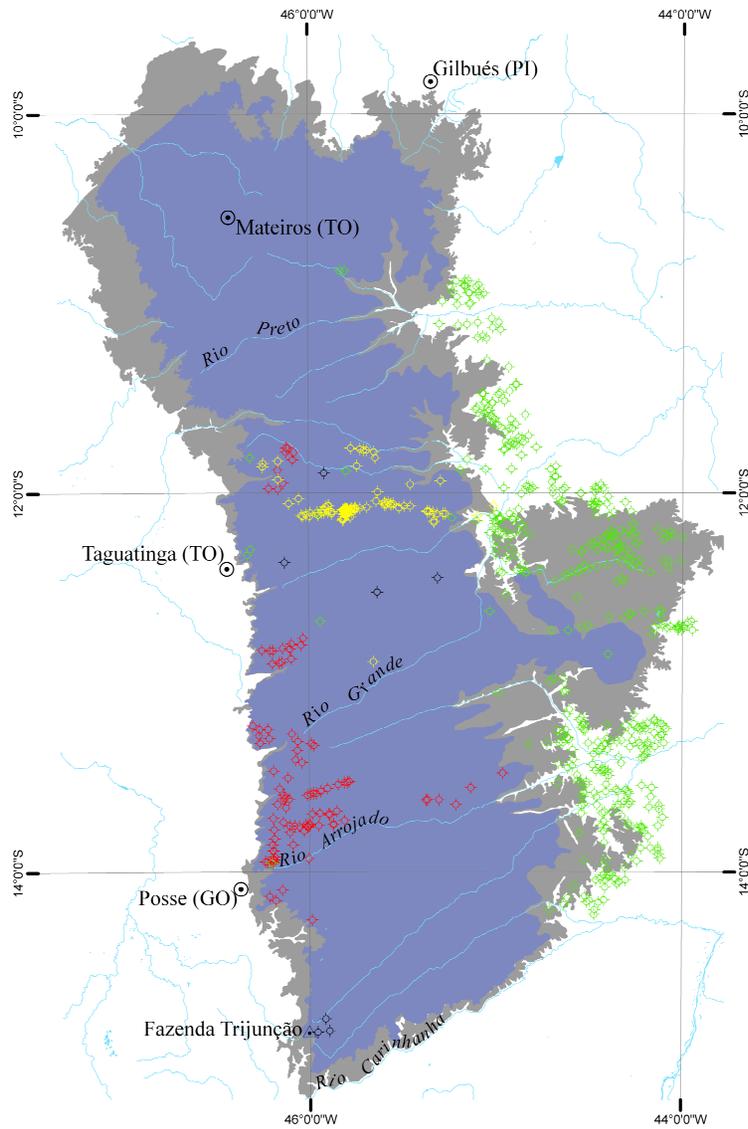
A figura 4.11 ilustra a delimitação proposta como área efetiva do sistema, excluindo-se regiões onde não há armazenamento de água na unidade, e conseqüentemente não há o desempenho da função reguladora das drenagens superficiais. A área efetiva estende-se por cerca de 76.000 Km² na região do oeste da Bahia e sudeste do Tocantins.

Nas regiões excluídas da área efetiva do SAU, a produção dos poços perfurados remete-se à exploração de águas subterrâneas armazenadas no sistema cárstico-fissural Bambuí e nos aquíferos cristalinos. Nesse contexto os arenitos do Grupo Urucuia presentes em perfis de outro sistema aquífero, ainda que com espessuras restritas, constituem apenas a zona vadosa desses aquíferos, onde desempenham uma função filtro, sendo esta função, entretanto, remetida ao sistema aquífero ao qual estão sobrepostos.

Essa situação pode ser exemplificada na figura 4.12, onde se observa a presença de arenitos do Grupo Urucuia compondo os perfis dos poços que extraem água subterrânea do sistema cárstico-fissural Bambuí. Esses poços situam-se entre as sedes dos municípios de São Desidério e Correntina, no apêndice triangular leste de ocorrência do Grupo Urucuia, o qual foi parcialmente excluído da área efetiva do SAU.

Nessa região a maioria dos poços pertence ao cadastro da CERB, e exibem em seus perfis litológicos espessuras de arenitos do Grupo Urucuia da ordem de 20, 30 e até 50 metros. Nesses poços as entradas de água observadas durante a perfuração e registradas no cadastro são em profundidades exclusivas de ocorrência das rochas calcáreas do Bambuí. Assim, embora os arenitos subjacentes aos calcários nos perfis não armazenem água subterrânea em seus poros, desempenham importante papel na recarga dos sistemas aquíferos Bambuí e Cristalino.

Caracterização do Sistema Aquífero Urucuia



LEGENDA

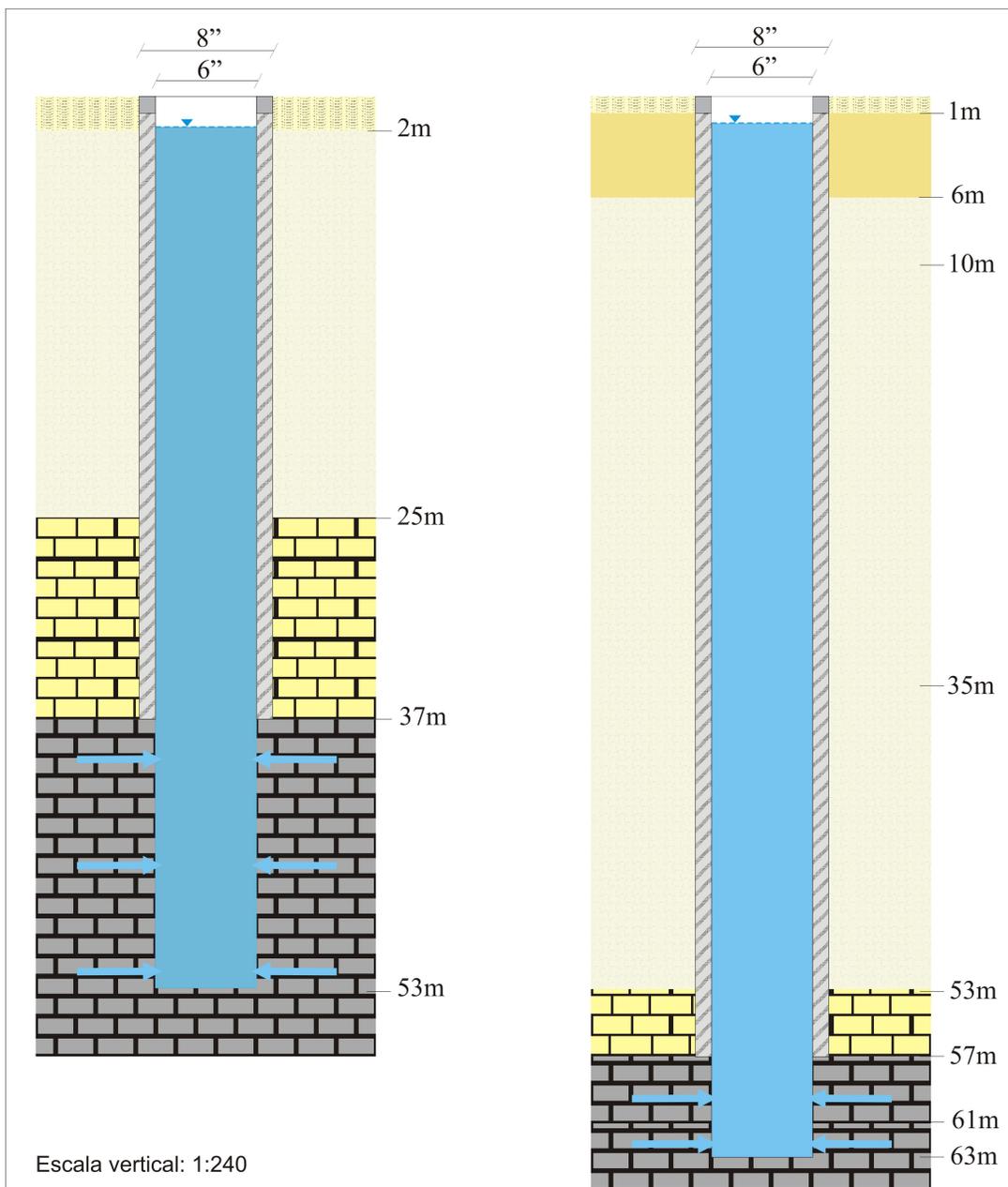
Informações Gerais

- ⊙ Sedes municipais
- ⬡ Lagos, represas e lagoas
- Hidrografia

Informações Hidrogeológicas

- ◇ Poços cadastrados em empresas
- ◇ Poços do cadastro SRH - BA
- ◇ Poços do cadastro CERB
- ◇ Poços do cadastro próprio
- Área efetiva do Sistema Aquífero Urucuia
- Sistema Aquífero Urucuia

Figura 4.11 - Área efetiva do Sistema Aquífero Urucuia, com representação dos poços dos cadastros utilizados nesta pesquisa.



LEGENDA

Perfil construtivo

- cimento
- ▨ material argiloso

Solo e Saprolito

- ▨ Solo arenoso esbranquiçado
- Areia esbranquiçada média

→ Entrada de água

Geologia

Grupo Bambuí indiviso

- Calcário alterado
- ▨ Calcário cinza com ocorrência de cavernas

Grupo Urucuia

- Arenito amarelo-esbranquiçado fino a médio

Figura 4.12 - Poços representativos da presença de arenitos do Grupo Urucuia sobre o sistema aquífero Bambuí. Poço à esquerda (Vereda dos Cocos) e poço à direita (Vereda do Sapé), São Desidério (BA). Fonte: cadastro CERB

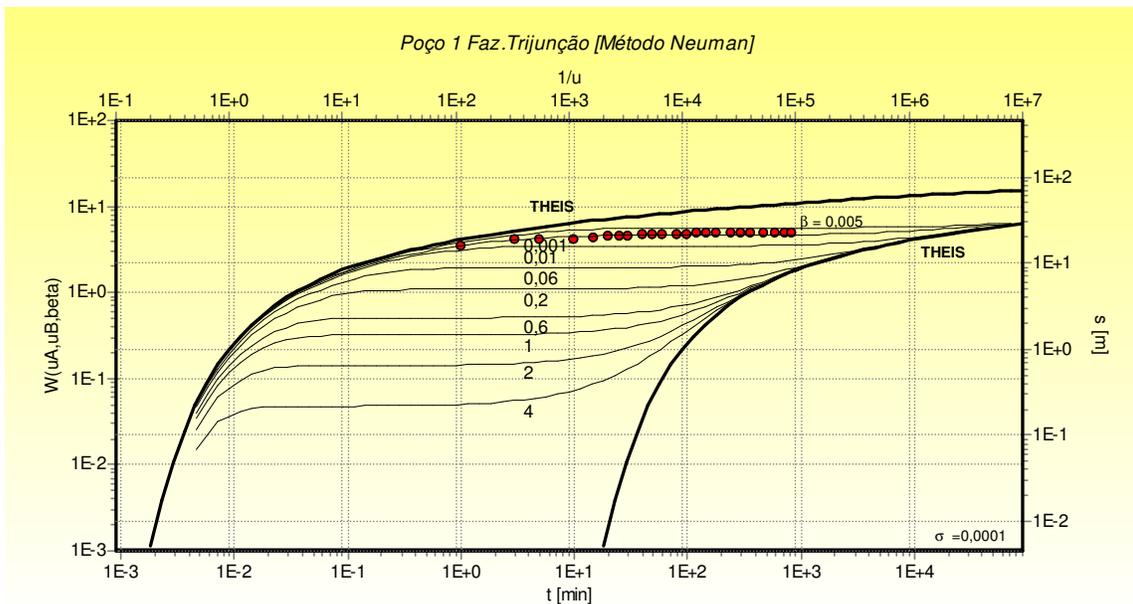


Figura 4.19 – Gráfico de interpretação do ensaio de bombeamento do poço 1 da Fazenda Trijunção, pelo método de Neuman (1975).

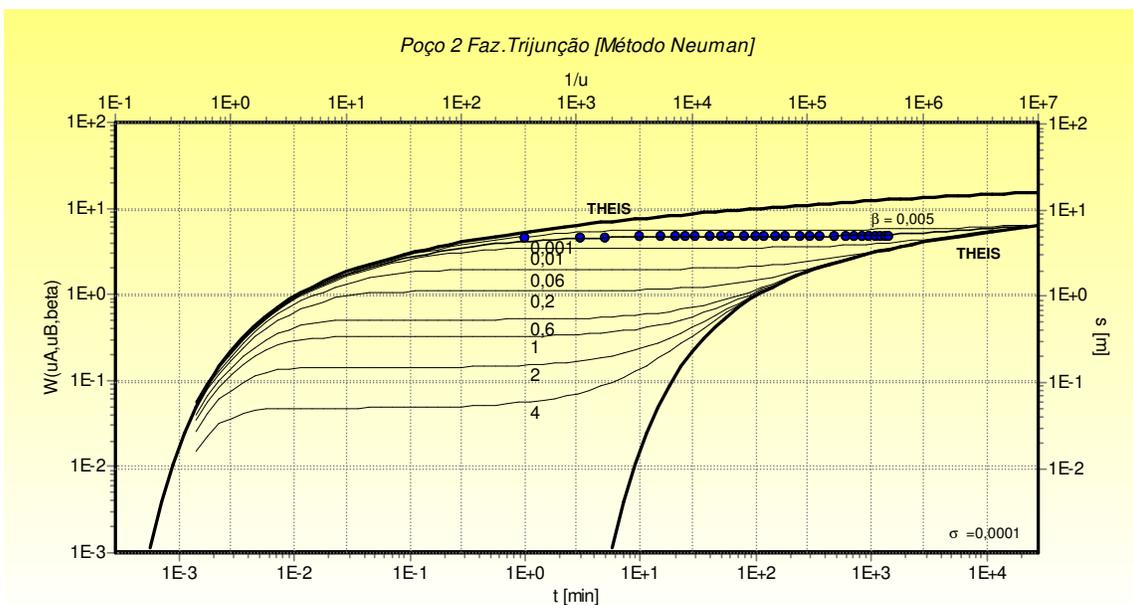


Figura 4.20 – Gráfico de interpretação do ensaio de bombeamento do poço 2 da Fazenda Trijunção, pelo método de Neuman (1975).

▪ *Aquífero livre profundo*

O subtipo aquífero livre profundo, situado à oeste do eixo divisor de fluxo subterrâneo, tem como exemplo de dimensionamento hidrodinâmico as informações do ensaio realizado no poço CERB Nº2, localizado na Vila Rosário, oeste do município de Correntina (BA). O poço com 242 metros de profundidade e nível estático de 132 metros atravessou quartzo arenitos médios, bem selecionados, com bimodalidade granulométrica e de coloração avermelhada.

O ensaio foi realizado pela equipe de profissionais da CERB e consistiu num bombeamento contínuo durante 24 horas a uma vazão constante média de 80 m³/h, e recuperação do rebaixamento de 6,09 metros em apenas um minuto. Os dados foram interpretados pelo método de Neuman (1975) e os parâmetros obtidos estão listados na tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos no poço CERB Nº 2 (Vila Rosário, Correntina-BA).

Poço	Prof. (m)	NE (m)	K (m/s)	T (m ² /s)
CERB Nº 2	242	132	3,92·10 ⁻⁶	1,44·10 ⁻³

O gráfico da figura 4.21 apresenta a curva s x t do ensaio, o qual exibe estabilização do nível dinâmico em 150 minutos após o início do bombeamento. A figura 4.22, por sua vez, apresenta a curva s x t interpretada pelo método de Neuman (1975). Pela observação do comportamento da curva pode-se notar a predominância de um segmento achatado, representativo, segundo Neuman (1972), da drenagem gravitacional da água nos poros. Apenas os dois primeiros pontos alinham-se no segmento levemente inclinado no começo da curva.

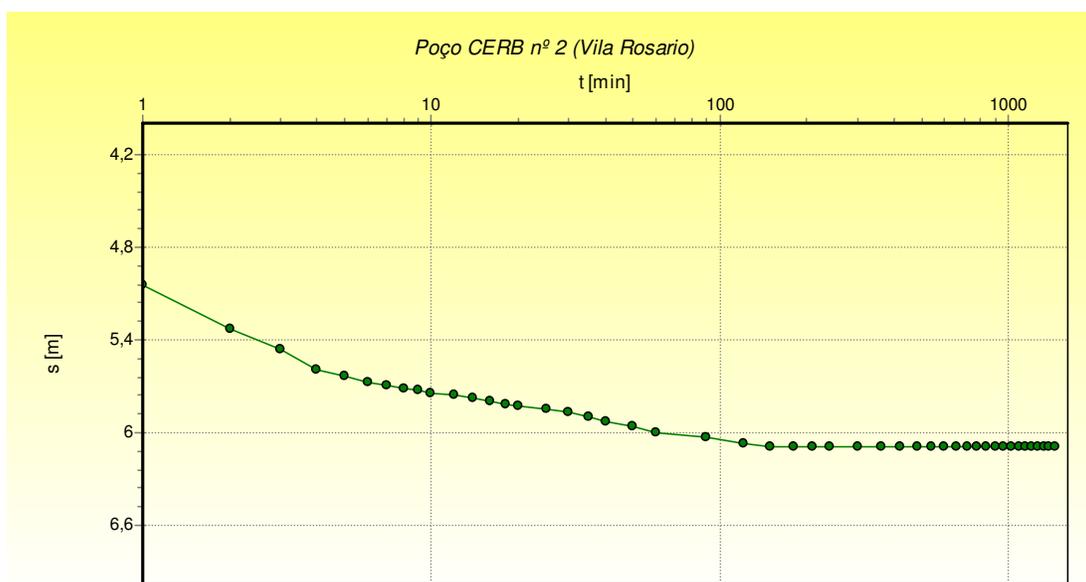


Figura 4.21 - Gráfico de rebaixamento versus tempo do ensaio de bombeamento do poço CERB Nº 2 da Vila Rosário, Correntina (BA).

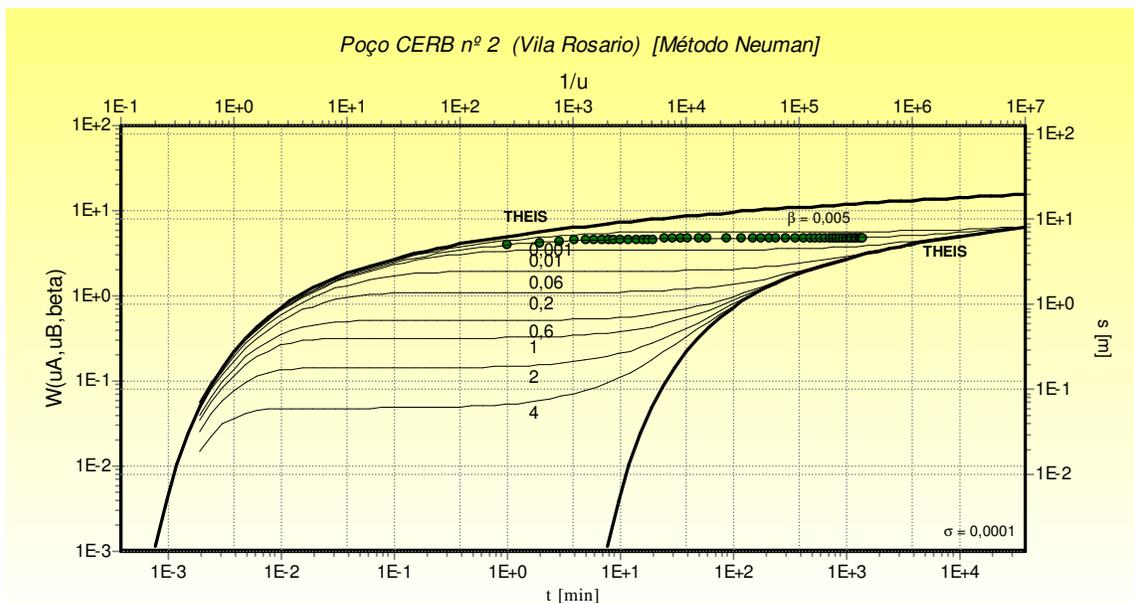


Figura 4.22 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço CERB Nº 2 na Vila Rosário, Correntina (BA), pelo método Neuman (1975).

▪ *Aquífero confinado ou semiconfinado*

Esse subtipo de aquífero tem muitos poços produtores instalados no seu domínio, os quais são utilizados em projetos de irrigação. Utilizou-se, entretanto, neste trabalho apenas dois poços para apresentação dos gráficos obtidos na interpretação das informações dos ensaios de bombeamento, e somados outros dois para apresentação de valores médios obtidos dos parâmetros hidrodinâmicos.

A tabela 4.4 apresenta alguns parâmetros hidrodinâmicos obtidos da interpretação de ensaios de bombeamento com o método de Theis (1935). Os valores apresentaram certa uniformidade nos resultados, com valores da ordem de 10^{-6} m/s para K, e 10^{-3} m²/s para T. Os valores de S obtidos (10^{-4}) nesta pesquisa mostraram coerência com àqueles considerados típicos para aquíferos confinados por diversos autores (Freeze & Cherry 1979, Fetter 1994, Driscoll 1986).

Tabela 4.4 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em poços do aquífero confinado ou semiconfinado, obtidos com o método de Theis (1935).

Poço Nº/Localização	K (m/s)	T (m ² /s)	S
Poço Nº 1/Faz. Marechal Rondon	$8,08 \cdot 10^{-6}$	$3,23 \cdot 10^{-3}$	$1,48 \cdot 10^{-4}$
Poço Nº 2/Faz. Espírito Santo	$7,49 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$
Poço Nº 1/Fazenda Hirata	$7,39 \cdot 10^{-6}$	$2,59 \cdot 10^{-3}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$
Poço Sede Nº 2/LEM	$9,38 \cdot 10^{-6}$	$4,69 \cdot 10^{-3}$	$1,87 \cdot 10^{-4}$

Os mesmos dados foram também interpretados com o método de Cooper & Jacob (1946), o qual considera grandes valores de tempo e distâncias pequenas do poço bombeado, ou seja, valores muito pequenos de u ($u < 0,01$), pela simplificação da solução de Theis (1935). Os parâmetros obtidos com a utilização desse método estão apresentados na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Parâmetros hidrodinâmicos obtidos em poços do aquífero confinado ou semiconfinado, obtidos com o método de Cooper & Jacob (1946).

Poço Nº/Localização	K (m/s)	T (m ² /s)
Poço Nº 1/Faz. Marechal Rondon	$6,46 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$
Poço Nº 2/Faz. Espírito Santo	$6,49 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-2}$
Poço Nº 1/Fazenda Hirata	$2,55 \cdot 10^{-5}$	$8,91 \cdot 10^{-3}$
Poço Sede Nº 2/LEM	$3,89 \cdot 10^{-5}$	$1,95 \cdot 10^{-2}$

Os valores de K e T obtidos pela interpretação dos métodos de Theis (1935) e Cooper & Jacob (1946) apresentaram valores diferentes. Aqueles obtidos com o método Cooper & Jacob (1946) apresentaram os valores mais altos, e ajustam-se melhor àqueles obtidos por outros autores, como Schuster *et al.* (2002), Schuster (2003), Nascimento (2003), em avaliações de poços localizados nesse subtipo de aquífero na bacia do rio Grande, que também utilizaram o método de Cooper & Jacob (1946) para avaliação.

A figura 4.23 mostra o gráfico s x t de dois ensaios de 24 horas cada, realizados no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, localizado na bacia do rio de Janeiro, com vazões de teste de 510 e 631 m³/h. Os gráficos das figuras 4.24 e 4.25, por sua vez, apresentam as interpretações dos dados desses ensaios com utilização dos métodos de Theis (1935) e Cooper & Jacob (1946), respectivamente. Adiante, as figuras 4.26, 4.27 e 4.28 apresentam os mesmos gráficos para dois ensaios realizados no poço nº 1 da Fazenda Hirata, localizada na bacia do rio das Fêmeas, realizados com vazões de 350 e 460 m³/h.

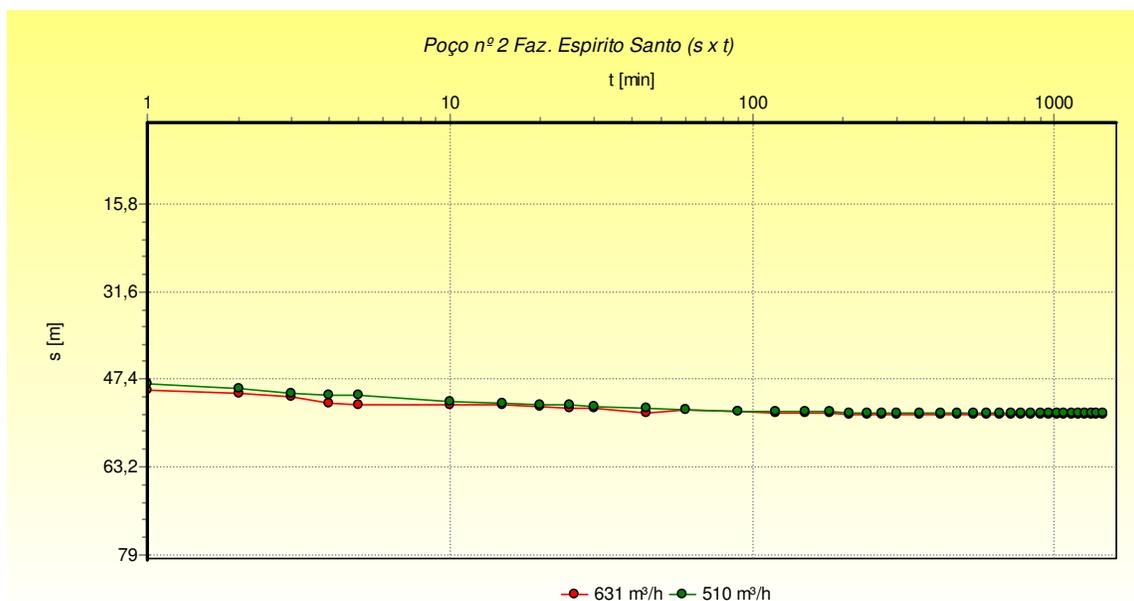


Figura 4.23 – Gráfico do $s \times t$ referente aos ensaios com vazões de 510 e 631 m^3/h no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro.

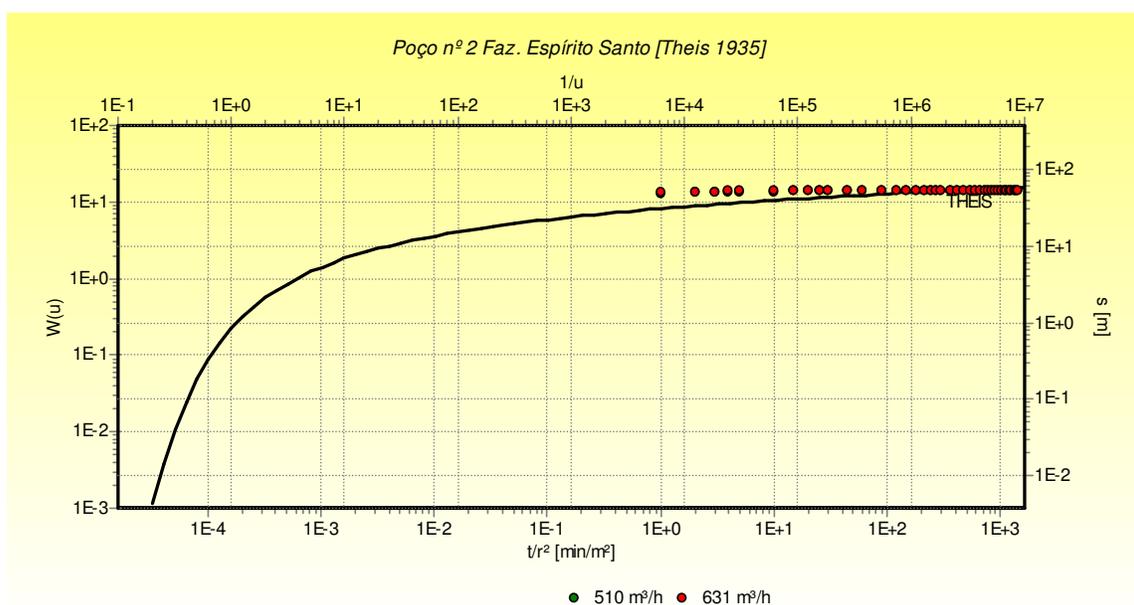


Figura 4.24 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro, pelo método Theis (1935).

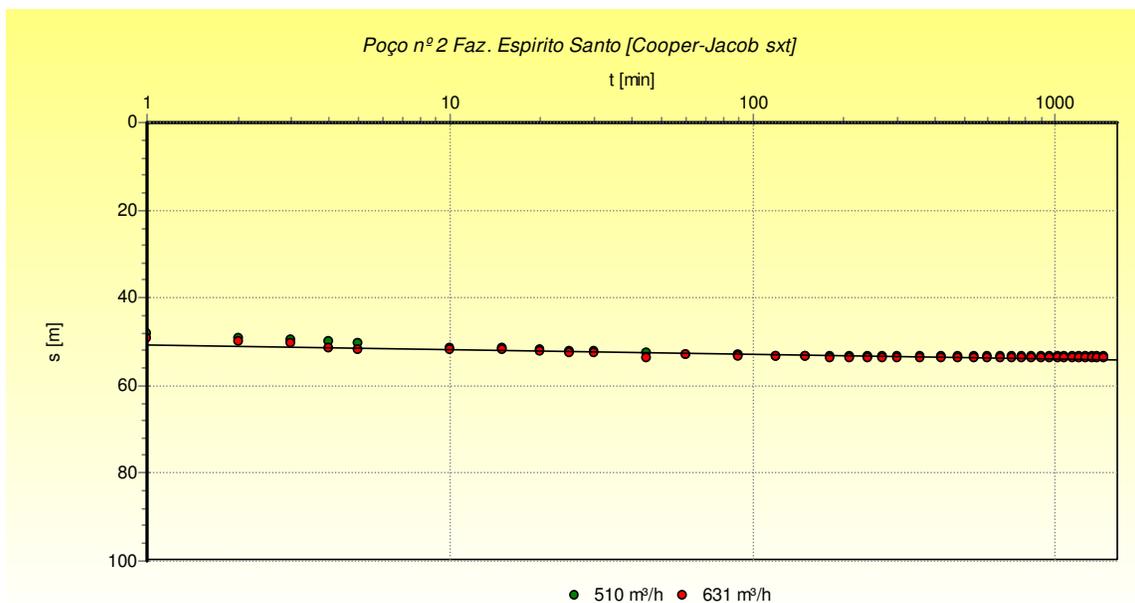


Figura 4.25 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Espírito Santo, na bacia do rio de Janeiro, pelo método Cooper & Jacob (1946).

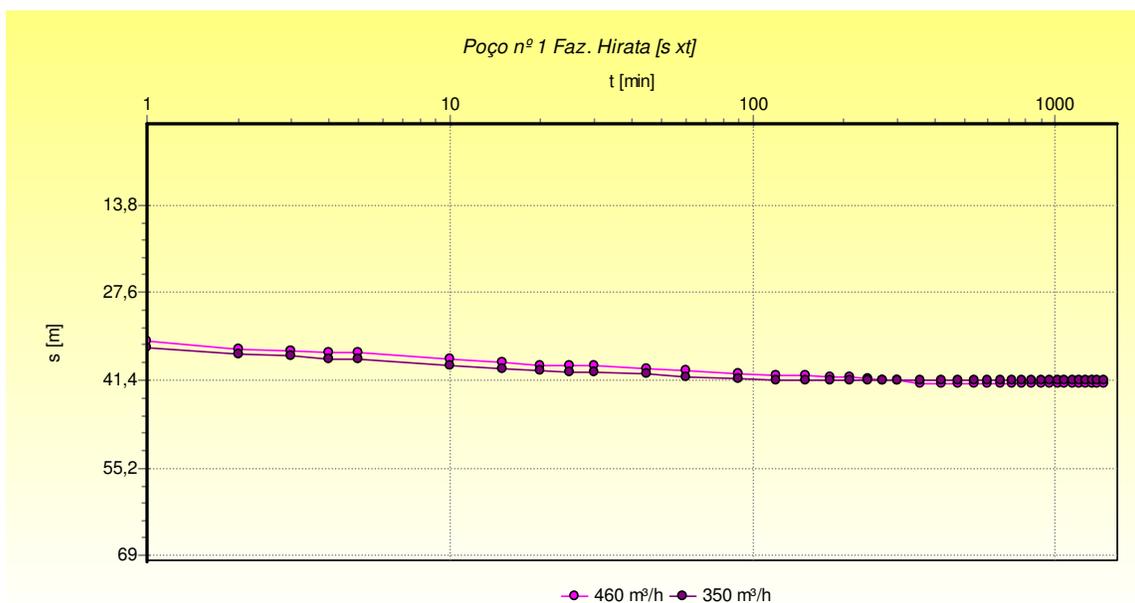


Figura 4.26 – Gráfico do s x t referente aos ensaios com vazões de 350 e 460 m³/h no poço nº 1 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas.

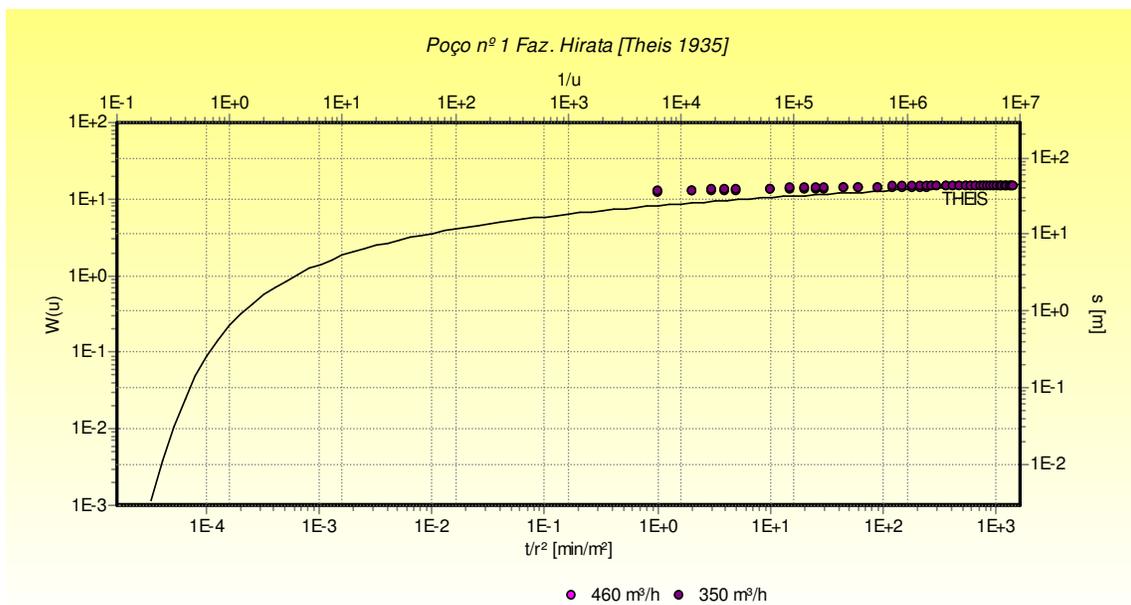


Figura 4.27 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 1 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas, pelo método Theis (1935).

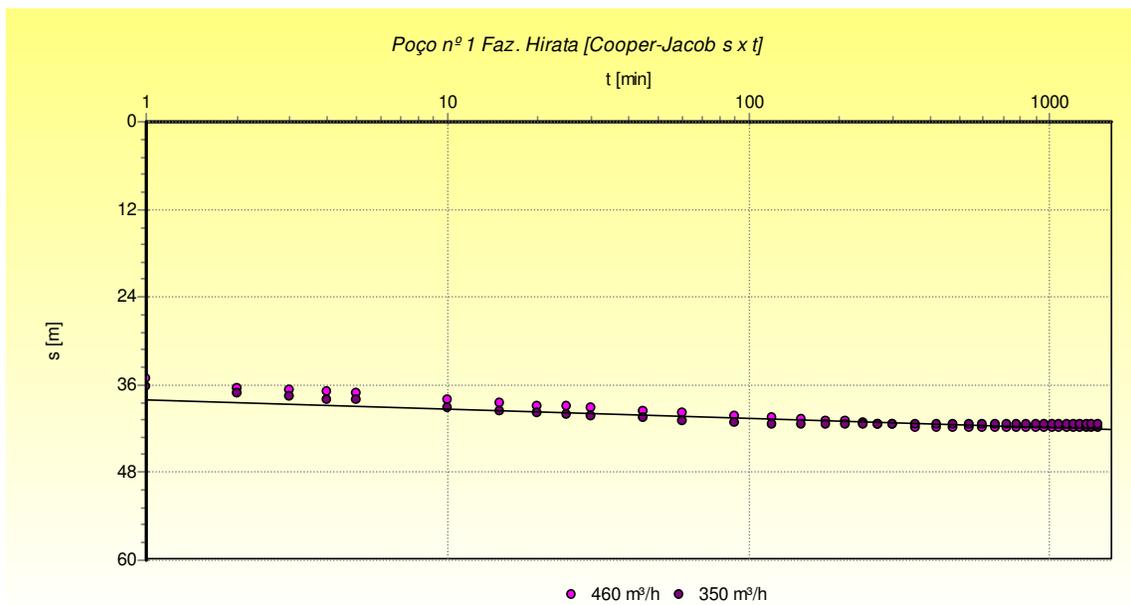


Figura 4.28 - Gráfico de interpretação de ensaio de bombeamento no poço nº 2 da Fazenda Hirata, na bacia do rio das Fêmeas, pelo método Cooper & Jacob (1946).

4.5.1 Produtividade dos poços

Do universo de poços incluídos no cadastro desta pesquisa obteve-se dois perfis de poços produtivos para a região do oeste baiano. Os poços utilizados para abastecer pivôs centrais que são aqueles nos quais a água extraída é utilizada em projetos de irrigação e os poços de uso doméstico aqueles onde a água é essencialmente utilizada para o abastecimento doméstico das sedes das fazendas e eventualmente na pulverização de agrotóxicos nas lavouras.

Os poços de pivôs estão normalmente localizados no contexto do aquífero confinado ou semiconfinado dentro do SAU, possuem profundidade média de 300 metros, com diâmetro de perfuração de 26' e 20', e revestimento médio de 14' e 10'. Operam normalmente com vazões superiores a 300 m³/h, para suprir a demanda de água para projetos de irrigação em lavouras de café, frutas, entre outras culturas (figura 4.29).

A transmissividade do aquífero obtida por meio da interpretação de alguns ensaios disponíveis nesses poços está entre 10⁻² e 10⁻³ m²/s. Segundo Driscoll (1986), quando os valores de transmissividades são da ordem de 10⁻³ m²/s ou maiores o rendimento dos poços podem ser adequados para uso industrial, municipal ou com propósitos de irrigação.

As vazões ou capacidades específicas obtidas em alguns ensaios dos poços de pivôs são, em regra, altas, com valor médio de 12 m³/h/m (tabela 4.6).

Tabela 4.6 – Valores de vazão específica obtidos de ensaios realizados em poços de pivôs.

Poço Nº/Localização	Q (m ³ /h)	Q/s (m ³ /h/m)
Poço Nº 1/Faz. Marechal Rondon	126	10,68
	185	13,06
	410	17,20
Poço Nº 2/Faz. Espírito Santo	510	9,54
	631	11,76
Poço Nº 1/Fazenda Hirata	460	10,97
	350	8,45
Poço Sede Nº 2/LEM	175	15,12
Poço Nº 2/ Fazenda Poletto	152	14,29
	280	12,37
	450	16,15

Os poços de uso doméstico são menores, com profundidade variada, de até cerca de 200 metros; normalmente revestidos em 4'ou 6'. Operam com vazões médias de 10 m³/h, acoplados a pequenos reservatórios (figura 4.30). A vazão específica obtida em ensaios nesses tipos de poços foi muito variada, com variação da ordem de 1 a 13 m³/h/m.



Figura 4.29 – Exemplos de poços de pivôs da Fazenda Hirata (a e b), São Desidério e da Fazenda Espírito Santo (c), Luís Eduardo Magalhães. Fotografias cedidas por: Mauerberg Poços Artesianos Ltda.



Figura 4.30 – Exemplos de poços de uso doméstico, comuns nas sedes das fazendas.

CAPÍTULO V

BALANÇO HIDROGEOLÓGICO

5.1 SISTEMA E VARIÁVEIS DO BALANÇO

O balanço hidrogeológico consiste na quantificação das variáveis participantes dos processos de transferência de água das chuvas para um aquífero e deste para os meios circundantes (outros aquíferos e a rede de drenagem superficial). Foi citado por Fetter (1994) como um dos métodos de avaliação de recarga de aquíferos.

A proposta inicial de busca entre as relações do SAU com a drenagem da área seria a realização do balanço hidrogeológico considerando a área total do SAU como sistema de observação. Entretanto, a carência de informações e, sobretudo os registros descontínuos de muitas estações (fluviométricas e pluviométricas) levaram a optar pela seleção de uma área específica do sistema aquífero que dispusesse de um registro contínuo e coincidente de pelo menos 10 anos de drenagens contíguas (compondo uma sub-bacia com área bem delimitada).

Portanto, foi escolhida a área do SAU limitada pelas bacias hidrográficas dos rios Formoso, Arrojado, Correntina e Guará, todos afluentes do rio Corrente.

O sistema considerado caracteriza-se por certa homogeneidade, onde teoricamente os limites norte-sul ou latitudinais das bacias hidrográficas são coincidentes com os da bacia hidrogeológica, haja vista a ausência de falhas com grandes rejeitos. O limite oeste, por sua vez, foi tomado a partir do divisor de fluxo subterrâneo ou o limite oeste da bacia hidrogeológica leste, uma vez que se reconhece a assimetria entre as bacias hidrográficas e hidrogeológica nesse sentido. O limite leste foi considerado até a localização das estações fluviométricas.

A área do sistema tomada para o balanço é a área do SAU incluída nas poligonais dessas bacias, dentro desses limites específicos. Delimitou-se para cada área das bacias hidrográficas citadas a área do SAU considerada no balanço, uma vez que as estações fluviométricas que registram o exutório do sistema estão dispostas individualmente em cada drenagem. A área que delimita o sistema no qual foi aplicado o balanço e as estações utilizadas estão apresentadas na Figura 5.1 e as estações utilizadas estão relacionadas na Tabela 5.1.

A análise dessas variáveis foi realizada por meio da observação de valores médios do período de 1982 a 2002. As vazões nos rios e os dados de chuva das estações pluviométricas foram obtidos no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA (Hidroweb) e algumas variáveis foram tomadas das estações meteorológicas do INMET na região.

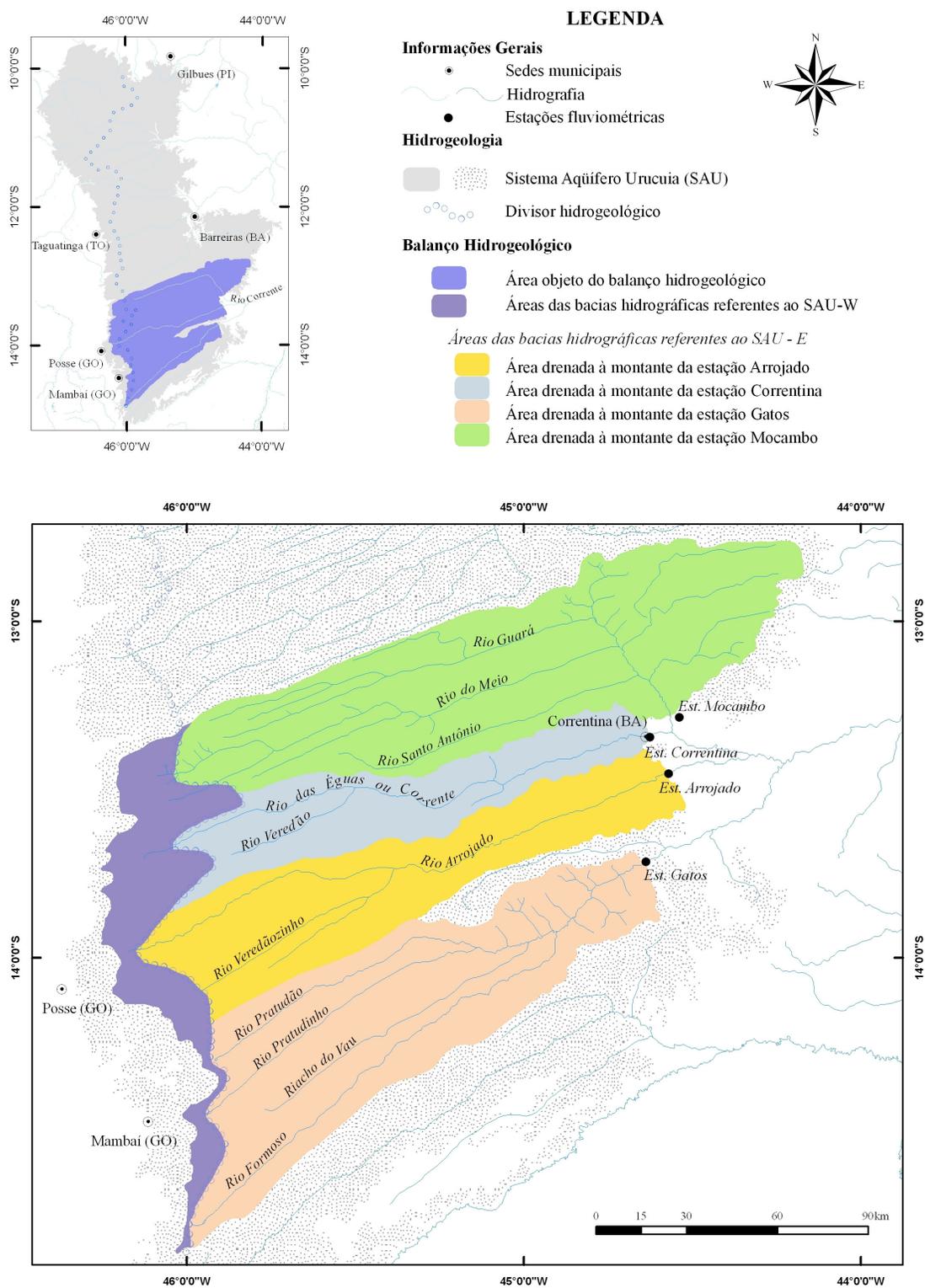


Figura 5.1 – Área do SAU utilizado como sistema de observação para o balanço hidrogeológico.

Tabela 5.1 – Relação das estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas no balanço hidrogeológico.

<i>Fluviométricas</i>		
<i>Nome da estação</i>	<i>Código</i>	<i>Rio</i>
Gatos	45840000	Formoso
Arrojado	45770000	Arrojado
Correntina	45590000	Correntina
Mocambo	45740001	Guará
<i>Pluviométricas</i>		
<i>Nome da estação</i>	<i>Código</i>	<i>Observações</i>
Fazenda Prainha	1346007	
Fazenda Planalto	1346006	
Gatos	1344013	
Posse	83332	INMET
Arrojolândia	13450000	Povoado de Arrojolândia

No que tange à definição das variáveis de entrada e saída do sistema para a composição da equação do balanço hidrogeológico, partiu-se das considerações teóricas, para posteriores simplificações equacionais necessárias para obtenção da variável almejada. Com base no princípio da conservação de massa, onde se considera que a diferença entre os volumes de entrada e saída é igual à variação do armazenamento de água dentro desse sistema, tem-se como equação geral do balanço hidrogeológico, a seguinte expressão:

$$P - ET - Q - R = \frac{dv}{dt}, \text{ onde:}$$

P - é a precipitação pluviométrica sobre a área do sistema;

Q - vazão total de saída do sistema;

ET - evapotranspiração na área do sistema.

$\frac{dv}{dt}$ - variação do armazenamento dentro do sistema.

Do ponto de vista geral do balanço pode-se esperar, portanto, que o termo da direita da equação acima seja positivo ou negativo, caso o armazenamento final seja, respectivamente, maior ou menor que o inicial. Entretanto, considerando-se que o sistema está em equilíbrio dinâmico, ou seja, que a variação do armazenamento é nula, pode-se isolar quaisquer das variáveis almejadas.

O sistema específico aqui considerado é a zona vadosa da bacia hidrogeológica, onde se considerou o armazenamento nulo, ou seja, em equilíbrio dinâmico, considerando que todo volume de água que entra, necessariamente sairá do sistema. Considerou-se ainda que todo escoamento superficial passa necessariamente pelo exutório das bacias de drenagens,

representado e registrado nas estações fluviométricas. Nessa situação as variáveis de entrada e saída são aquelas listadas na Tabela 5.2 e esquematizadas no desenho da Figura 5.2.

Tabela 5.2 - Variáveis de entrada e saída consideradas para o balanço hidrogeológico tendo como sistema a zona vadosa do SAU nas áreas das bacias dos rios Formoso, Arrojado, Correntina e Guará.

ENTRADA	SAÍDA
Precipitação (P) Água importada (Ai)	Evapotranspiração (ET) Escoamento superficial (Es) Interfluxo (Qi) Infiltração na zona saturada ou Recarga no sistema aquífero (R)

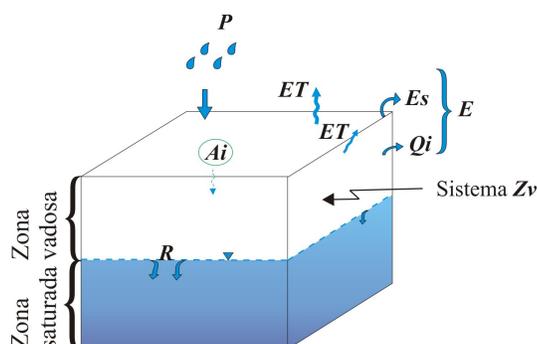


Figura 5.2 – Apresentação esquemática das variáveis de entrada e saída do balanço hidrogeológico na zona vadosa (sistema) da área selecionada.

A variável de saída que se busca neste balanço é o volume de água percolado na zona saturada do SAU, ou seja, o volume médio infiltrado no sistema aquífero nesse período de tempo analisado. Para a obtenção dessa variável tem-se o seguinte desenvolvimento equacional, partindo-se da fórmula básica do balanço:

$$(P \cdot A) + Ai - (ET \cdot A) - (Es + Qi) - R = \frac{dv}{dt}$$

Segundo a consideração de que o armazenamento de água na zona vadosa é nulo, ou está em equilíbrio dinâmico, tem-se:

$$(P \cdot A) + Ai - (ET \cdot A) - (Es + Qi) - R = 0$$

A expressão anterior, todavia, admite simplificações e considerações em relação às suas variáveis. A variável de entrada Ai é considerada na área selecionada como um volume de água que poderia ser adicionado ao sistema por irrigação diretamente no solo pela extração de água do sistema aquífero por meio de poços tubulares profundos. Nesse caso, considerou-se esta variável

desprezível, uma vez que na região delimitada existe um número muito pequeno de poços que alimentam pivôs de irrigação; prevalecendo amplamente nessa área a irrigação com uso de água dos rios. Tem-se, portanto, pelas simplificações consideradas a seguinte expressão:

$$(P \cdot A) - (ET \cdot A) - (Es + Qi) - R = 0$$

As variáveis de saída Es e Qi , por sua vez, podem ser simplificadas e consideradas uma única variável (E) pela impossibilidade de separá-las do escoamento total registrado nas estações. Então, $Es + Qi = E$. Deste modo, tem-se:

$$(P \cdot A) - (ET \cdot A) - E - R = 0$$

Como variável almejada tem-se o volume de água recarregado na zona saturada do Sistema Aquífero Urucuia, que representa a variável de saída R do sistema do balanço. Assim sendo a expressão final que representa a busca da variável esperada é a seguinte:

$$R = (P \cdot A) - (ET \cdot A) - E$$

5.2 O BALANÇO

O balanço hidrogeológico propriamente dito foi realizado com base nas considerações tecidas anteriormente sobre o sistema e suas variáveis. Para cada variável, no entanto, os dados foram manipulados com tratamentos metodológicos específicos.

A variável de entrada P foi ponderada segundo dois métodos de avaliação, o método das isoietas e dos polígonos de Thiessen. Entretanto, o método selecionado para o balanço foi o de isoietas, uma vez que o método de Thiessen embora considere a não-uniformidade da distribuição espacial dos postos e apresente bons resultados em terrenos levemente acidentados (como é o caso da região de estudo), não recomenda que a distância entre os postos (estações) seja muito grande.

O método das isoietas foi aplicado a partir dos valores médios anuais do período de 1982 a 2002. A Figura 5.3 apresenta a interseção da área do sistema com as isoietas das bacias, o que delimita as respectivas áreas ponderadas entre as isoietas para o cálculo da precipitação média da área do sistema. Cada área foi tomada a partir do limite da estação fluviométrica das bacias hidrográficas correspondentes.

A Tabela 5.3 apresenta a relação dos cálculos das precipitações médias em todas as áreas representadas. A precipitação média obtida com o uso do método das isoietas foi da ordem de 1.200 mm. Para a variável evapotranspiração (ET) foram utilizados os valores da estação meteorológica de Posse (GO), disponibilizados pelo INMET para o período de 1982 a 2002.

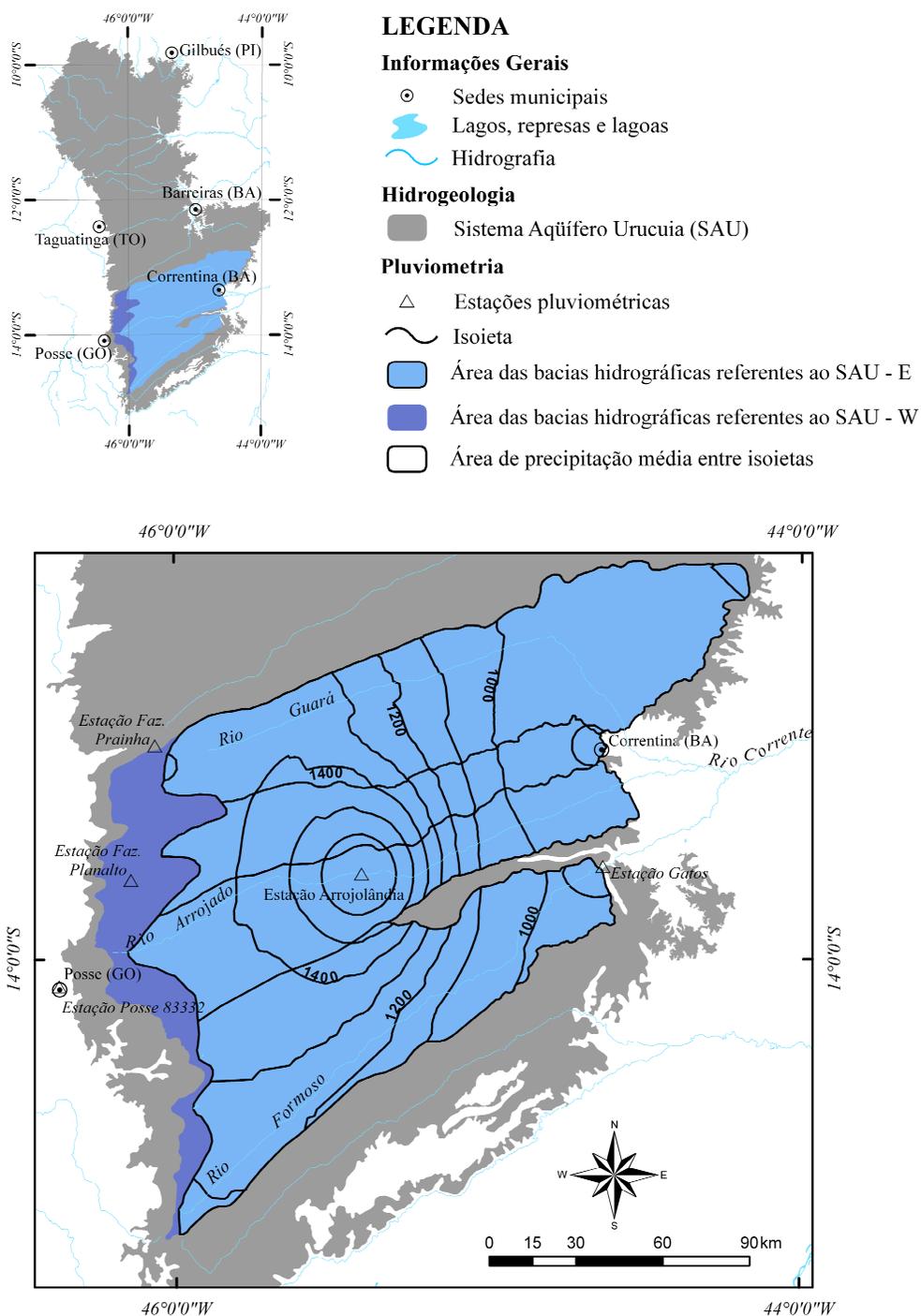


Figura 5.3 – Área do sistema do balanço hidrogeológico em interseção com as isoietas.

Utilizou-se como variável de saída a evapotranspiração real (ETR), obtida pelo balanço hídrico climatológico, de acordo com o método de Thornthwaite & Mather (1955), aplicado conforme desenvolvimento feito por D'Angiolella & Vasconcellos (2004).

A variável de saída *E* utilizada no balanço hidrogeológico foi tomada a partir dos valores médios mensais de todo o período (1982 a 2002), dos registros obtidos das estações fluviométricas citadas anteriormente.

Tabela 5.3 - Relação dos cálculos das precipitações médias pelo método das isoietas, consideradas no balanço hidrogeológico.

Precipitações por área de isoietas - Estação Gatos (rio Formoso)					
Nome	A _{i,i+1} (m ²)	P _i (mm)	P _{i+1} (mm)	P _{med} (mm)	V (m ³)
A1-Gatos	1,42·10 ⁸	1.000	1.008,56	1.004,28	1,42·10 ⁸
A2-Gatos	4,95·10 ⁸	1.000	1.000	1.000	4,95·10 ⁸
A3-Gatos	1,06·10 ⁹	1.100	1.000	1.050	1,11·10 ⁹
A4-Gatos	7,14·10 ⁸	1.200	1.100	1.150	8,21·10 ⁸
A5-Gatos	2,09·10 ⁹	1.300	1.200	1.250	2,61·10 ⁹
A6-Gatos	1,65·10 ⁹	1.400	1.300	1.350	2,22·10 ⁹
A7-Gatos	3,18·10 ⁸	1.500	1.400	1.450	4,61·10 ⁸
A8-Gatos	2,88·10 ⁷	1.500	1.550	1.525	4,40·10 ⁷
A9-Gatos	1,59·10 ⁸	1.200	1.150	1.175	1,87·10 ⁸
P média (rio Formoso) =1.217,3 mm					
Precipitações por área de isoietas - Estação Arrojado (rio Arrojado)					
Nome	A _{i,i+1} (m ²)	P _i (mm)	P _{i+1} (mm)	P _{med} (mm)	V (m ³)
A1-Arrojado	8,60·10 ⁸	971	1.000	985,50	8,47·10 ⁸
A2-Arrojado	3,36·10 ⁸	1.000	1.100	1.050,00	3,53·10 ⁸
A3-Arrojado	1,53·10 ⁸	1.100	1.200	1.150,00	1,76·10 ⁸
A4-Arrojado	1,21·10 ⁸	1.200	1.300	1.250,00	1,51·10 ⁸
A5-Arrojado	1,05·10 ⁸	1.300	1.400	1.350,00	1,42·10 ⁸
A6-Arrojado	1,09·10 ⁸	1.400	1.500	1.450,00	1,58·10 ⁸
A7-Arrojado	5,68·10 ⁸	1.500	1.600	1.550,00	8,81·10 ⁸
A8-Arrojado	4,80·10 ⁸	1.600	1.697	1.648,50	7,92·10 ⁸
A9-Arrojado	7,16·10 ⁸	1.400	1.500	1.450,00	1,04·10 ⁹
A10-Arrojado	1,27·10 ⁹	1.400	1.400	1.400,00	1,77·10 ⁹
P média (rio Arrojado) =1.338,55 mm					
Precipitações por área de isoietas - Estação Correntina (rio Correntina)					
Nome	A _{i,i+1} (m ²)	P _i (mm)	P _{i+1} (mm)	P _{med} (mm)	V (m ³)
A1-Correntina	1,14·10 ⁸	865	900	882,50	1,00·10 ⁸
A2-Correntina	4,90·10 ⁸	900	1.000	950	4,65·10 ⁸
A3-Correntina	2,03·10 ⁸	1.000	1.100	1.050	2,14·10 ⁸
A4-Correntina	1,70·10 ⁸	1.100	1.200	1.150	1,96·10 ⁸
A5-Correntina	1,43·10 ⁸	1.200	1.300	1.250	1,79·10 ⁸
A6-Correntina	1,36·10 ⁸	1.300	1.400	1.350	1,83·10 ⁸
A7-Correntina	9,49·10 ⁸	1.400	1.500	1.450	1,38·10 ⁹
A8-Correntina	3,76·10 ⁸	1.500	1.600	1.550	5,82·10 ⁸
A9-Correntina	7,41·10 ⁸	1.600	1.650	1.625	1,20·10 ⁸
A10-Correntina	5,43·10 ⁸	1.300	1.400	1.350	7,34·10 ⁸
P média (rio Correntina) =1.297,48 mm					

Precipitações por área de isoietas - Estação Mocambo (rio Guará)					
Nome	A _{i,i+1} (m ²)	P _i (mm)	P _{i+1} (mm)	P _{med} (mm)	V (m ³)
A1-Mocambo	3,73·10 ⁹	900	1.000	950	3,54·10 ⁹
A2-Mocambo	8,12·10 ⁶	865	900	882,50	7,17·10 ⁶
A3-Mocambo	8,44·10 ⁸	1.000	1.100	1.050	8,86·10 ⁸
A4-Mocambo	6,50·10 ⁸	1.100	1.200	1.150	7,48·10 ⁸
A5-Mocambo	6,53·10 ⁸	1.200	1.300	1.250	8,17·10 ⁸
A6-Mocambo	1,87·10 ⁹	1.300	1.400	1.350	2,53·10 ⁹
A7-Mocambo	2,36·10 ⁸	1.400	1.450	1.425	3,36·10 ⁸
A8-Mocambo	2,81·10 ⁷	1.400	1.450	1.425	4,00·10 ⁷
P média (rio Guará) =1.110,14 mm					

O tratamento consistiu primeiramente na confecção dos hidrogramas anuais de cada estação, por interpolação polinomial, com o uso do *software* Maple® 7.0, da *Waterloo Maple Advancing Mathematics*. As curvas foram definidas por funções polinomiais contínuas da vazão (Q) em função do tempo (t) de monitoramento ($Q = f(t)$). Todos os valores de $Q > 0$, portanto passíveis de integração.

A integração da função polinomial correspondente à medida da área limitada pela curva da vazão e pelo eixo do tempo, o que fornece o volume total escoado e registrado em cada estação ou o volume escoado em qualquer intervalo de tempo requerido, conforme a expressão a seguir:

$$V = \int_{ti}^{tf} f(t) dt, \text{ onde:}$$

V é o volume de água escoado no período compreendido entre um tempo inicial (t_i) ao final (t_f).

O volume obtido por meio dessa integração, entretanto, inclui os montantes das parcelas de escoamento superficial (E_s), interfluxo (Q_i) e fluxo de base (Q_b). Logo, foi necessário separar a variável E (E_s+Q_i) da Q_b .

Esse procedimento foi realizado de duas formas. Uma parcela do fluxo de base foi obtida pelo pela separação gráfica do escoamento superficial do fluxo de base, pelo "Método 2" citado por Tucci (2000). A obtenção do volume escoado do fluxo de base durante o período chuvoso (Q_{bc}) consistiu no cálculo das áreas dos polígonos formados pelo desenho da integração dos pontos "A" - início da ascensão do hidrograma - e "C" - término do escoamento superficial e início da recessão - com as linhas verticais paralelas ao eixo da vazão, estes determinados manualmente. O volume de fluxo de base referente ao período de recessão (Q_{br}), por sua vez, foi calculado pela integração da função polinomial da curva de vazão nesse período, com uso do *software* Maple® 7.0.

A variável E resultante da separação do hidrograma, contudo, representa o escoamento superficial de toda a área de drenagem das bacias hidrográficas até o local das estações fluviométricas. Assim, como o balanço trata-se de um balanço hidrogeológico, ou seja, em que o aquífero ou a área da bacia hidrogeológica é o sistema em observação, subtraiu-se do total escoado a parcela proporcional de volume correspondente à diferença das áreas das bacias hidrográficas para as das bacias hidrogeológicas, ou seja, utilizou-se como valor final a vazão específica correspondente à área da bacia hidrogeológica à leste do divisor de fluxo subterrâneo regional.

A apresentação de toda a separação gráfica do escoamento superficial do fluxo de base está no item 5.3.

De posse de todas variáveis necessárias ao balanço hidrogeológico apresenta-se na tabela 5.4 o balanço hidrogeológico referente às áreas das bacias individualmente.

Tabela 5.4 – Balanço hidrogeológico para o período de 1982 a 2002 na zona vadosa da área da bacia hidrogeológica do SAU, região de Correntina (BA).

<i>Estação</i>	<i>Área total (m²)</i>	<i>P (mm)</i>	<i>P · A (m³)</i>	<i>ETR (mm)</i>	<i>ETR · A (m³)</i>	<i>Es (m³)</i>	<i>R (m³)</i>	<i>R (mm)</i>	<i>%R P</i>
Mocambo	8,02·10 ⁹	1.110,14	8,90·10 ⁹	917,4	7,35·10 ⁹	1,43E·10 ⁸	1,40·10 ⁹	174,95	15,8
Correntina	3,20·10 ⁹	1.297,48	4,15·10 ⁹	917,4	2,93·10 ⁹	3,46·10 ⁷	1,18·10 ⁹	369,28	28,5
Arrojado	4,71·10 ⁹	1.338,56	6,31·10 ⁹	917,4	4,32·10 ⁹	1,77·10 ⁸	1,81·10 ⁹	383,53	28,7
Gatos	6,64·10 ⁹	1.217,30	8,09·10 ⁹	917,4	6,10·10 ⁹	8,66·10 ⁷	1,91·10 ⁹	286,87	23,6
Média	5,64·10⁹	1.240,87	6,86·10⁹	917,4	5,18·10⁹	1,10·10⁸	1,57·10⁹	278,98	24,1

Os resultados exibem um valor de recarga R médio de $1,57 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ para o período de 1982 a 2002 na área analisada, o que corresponde a cerca de 24% da precipitação P na área no período. Pimentel *et al.* (2000) obtiveram percentuais semelhantes (20%) dos valores de recarga em relação a precipitação na bacia do rio das Fêmeas no período de 1984 a 1995.

5.3 FLUXO DE BASE (SISTEMA AQUÍFERO X SISTEMA DE DRENAGEM)

A relação entre os aquíferos e os rios é algo essencial na análise do ciclo hidrogeológico de uma região. Fatores como os litotipos, solos, relevo, clima, regime de precipitação, interagem como influenciadores nessa relação de diversas formas. Pode-se ainda acrescentar como um fator dinâmico a antropização, que pode estabelecer novos comportamentos nessa relação.

Os comportamentos mais comuns são a dos rios ditos efluentes ou perenes e influentes ou intermitentes, que se referem, respectivamente, aqueles que são alimentados pelos aquíferos adjacentes e aqueles que alimentam por infiltração a partir de seu leito o aquífero subjacente.

Na região do oeste baiano os rios são perenes, sendo alimentados pela contribuição do Sistema Aquífero Urucuia. Essa contribuição é registrada juntamente com outros componentes do escoamento total nas diversas estações fluviométricas instaladas nos rios da região. Muitos registros são longos, mas descontínuos; outros são mais recentes.

Na presente avaliação, a contribuição do sistema aquífero para a drenagem foi constituída por uma área de quatro bacias hidrográficas, dos rios Formoso, Arrojado, Correntina e Guará, as quais apresentam um registro coincidente do escoamento, em uma região compreendida entre as cidades de Correntina (BA) e Posse (GO).

O fluxo de base Q_b foi alcançado por meio da separação gráfica dos hidrogramas referentes a cada bacia de drenagem, conforme descrito no item anterior. As figuras 5.4 a 5.7 apresentam os gráficos correspondentes de cada estação, com ilustração da separação gráfica do fluxo de base no período chuvoso Q_{bc} e na época de recessão Q_{br} das precipitações pluviais.

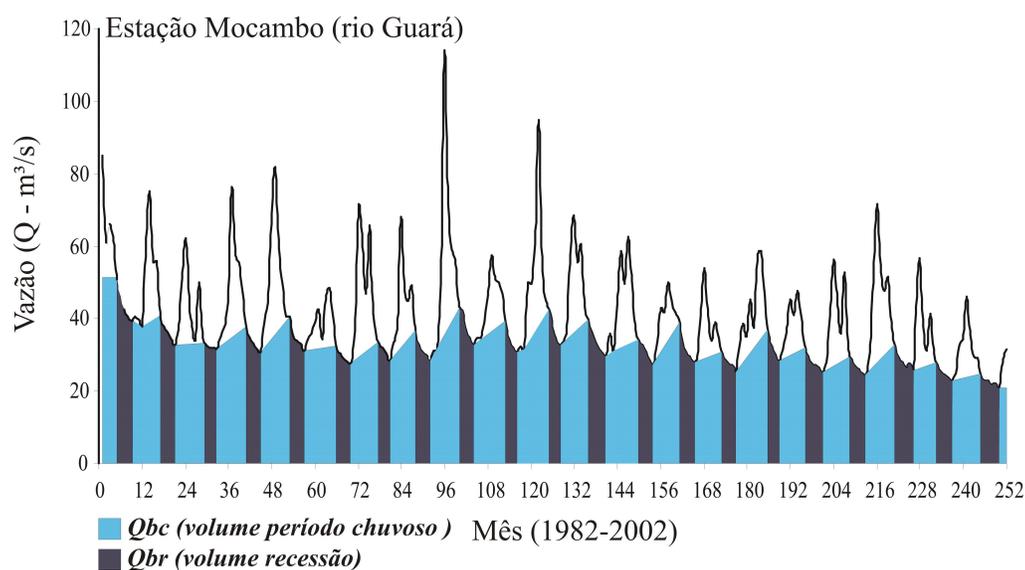


Figura 5.4 – Gráfico de Q x t com ilustração da separação gráfica de Q_b na estação Mocambo.

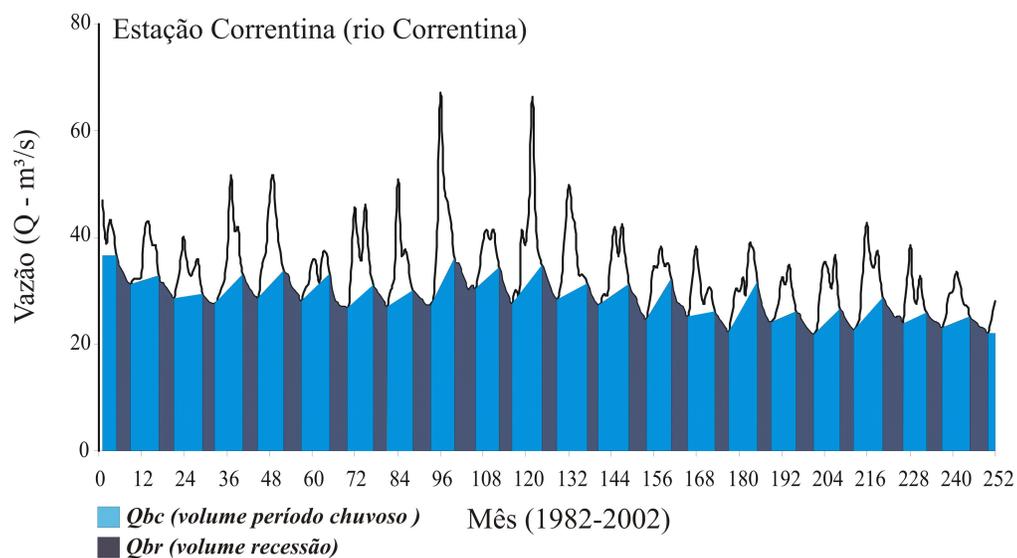


Figura 5.5 – Gráfico de $Q \times t$ com ilustração da separação gráfica de Q_b na estação Correntina.

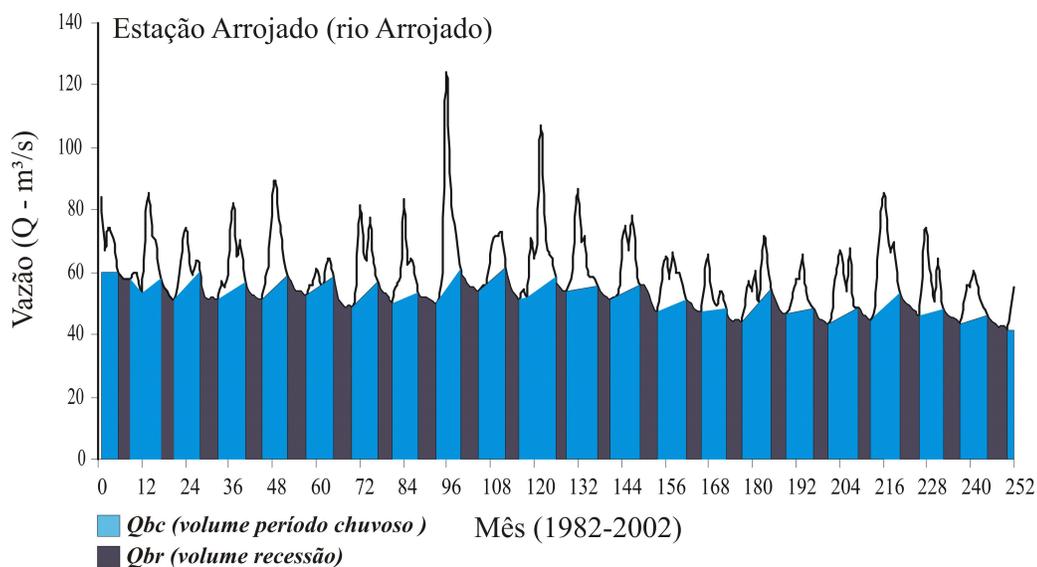


Figura 5.6 – Gráficos de $Q \times t$ com ilustração da separação gráfica de Q_b na estação Arrojado.

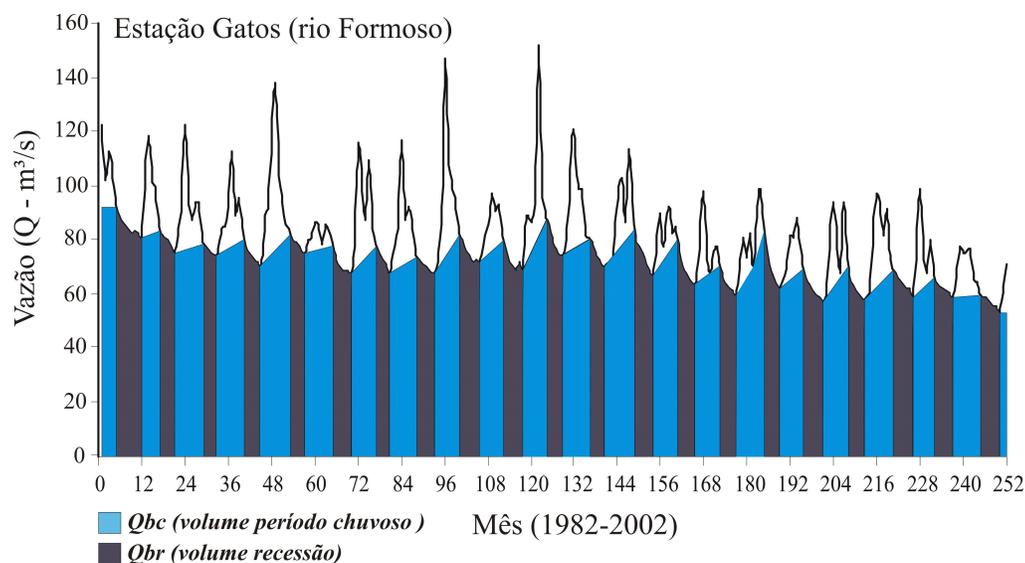


Figura 5.7 – Gráficos de $Q \times t$ com ilustração da separação gráfica de Qb na estação Gatos.

O valor médio de Qb para o período de 1982 a 2002 nas estações analisadas foi de $1,35 \cdot 10^9 m^3$, correspondente em média a 20% da precipitação (P) nas bacias. Se analisado em relação ao escoamento total (E) registrado nos rios nesse período, esse percentual eleva-se para um valor médio de pouco mais de 91% (Tabela 5.5).

O escoamento superficial (Es) proporcional a área do balanço hidrogeológico, por sua vez, representa apenas 2% em média do valor precipitado e mais de 8% em média do escoamento total no período analisado (Tabela 5.6).

Tabela 5.5 – Valores de fluxo de base (Qb) e percentuais em relação a precipitação (P) e ao escoamento total (E) para o período de 1982 a 2002.

Estação	Qb total (m^3)	% $Qb P$	% $Qb E$
Mocambo (rio Guará)	$9,64 \cdot 10^8$	11	87
Correntina (rio Correntina)	$8,56 \cdot 10^8$	21	95
Arrojado (rio Arrojado)	$1,43 \cdot 10^9$	23	88
Gatos (rio Formoso)	$2,15E \cdot 10^9$	27	96
Média	$1,35E \cdot 10^9$	20,5	91,5

Tabela 5.6 – Percentuais do escoamento superficial (Es) em relação a precipitação (P) e ao escoamento total (E) para o período de 1982 a 2002.

Estação	% $Es P$	% $Es E$
Mocambo (rio Guará)	2	13
Correntina (rio Correntina)	1	5
Arrojado (rio Arrojado)	3	12
Gatos (rio Formoso)	1	4
Média	1,75	8,5

Do ponto de vista do Sistema Aquífero Urucuia, porém, é possível observar outro quadro de variáveis e sistema no mesmo período (1982 a 2002). Considerando agora a zona saturada do SAU na área selecionada como sistema de análise do balanço hidrogeológico, tem-se como variáveis de entrada e saída aquelas relacionadas na Tabela 5.7.

Tabela 5.7- Variáveis de entrada e saída consideradas para o balanço hidrogeológico tendo como sistema a zona saturada do SAU, nas áreas das bacias dos rios Formoso, Arrojado, Correntina e Guará.

ENTRADA	SAÍDA
Recarga (R)	Fluxo de base (Qb) Vazão explotada dos poços (Qp) Volume armazenado na zona saturada ($Varm$) Recarga no embasamento (Re)

A variável de entrada R foi calculada no balanço hidrogeológico anterior, onde representava uma variável de saída do sistema zona vadosa do SAU na área selecionada. A variável de saída caracterizada como fluxo de base Qb representa a reserva renovável do SAU na área selecionada, Qp a vazão explotada por meio de poços tubulares. As variáveis de saída $Varm$ e Re representam respectivamente, o volume armazenado na zona saturada do SAU e o volume de água liberado para o embasamento. A figura 5.8 exibe um desenho esquemático do sistema e as variáveis associadas ao modelo proposto.

Segundo essas considerações a equação básica do balanço hidrogeológico pode ser escrita da seguinte forma:

$$R - Qb - Qp - Varm - Re = \frac{dv}{dt}$$

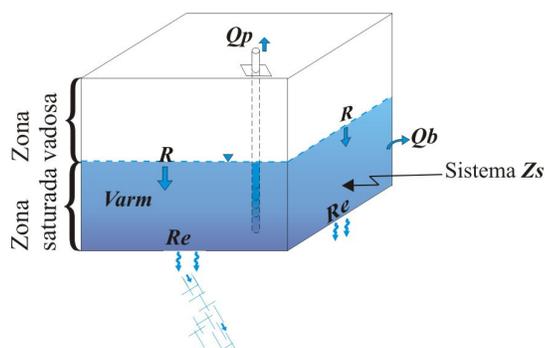


Figura 5.8 – Apresentação esquemática das variáveis de entrada e saída do balanço hidrogeológico na zona saturada (sistema) da área selecionada.

A variável de saída Qp não foi contabilizada neste balanço, uma vez que o número de poços cadastrados por esta pesquisa nas bacias selecionadas representa apenas uma parcela do universo total de poços tubulares instalados na região. As variáveis de saída $Varm$ e Re foram representadas como uma soma ($Varm + Re$) haja vista a impossibilidade de separá-las.

Considera-se o sistema em equilíbrio dinâmico, ou seja, onde a variação do armazenamento seja nula. A equação do balanço neste caso torna-se a seguinte:

$$R - Qb - (Varm + Re) = 0$$

Deste modo, pode-se isolar a variável almejada no balanço hidrogeológico na seguinte equação:

$$(Varm + Re) = R - Qb$$

Nessas circunstâncias o balanço realizado apresentou valor médio de $2,22 \cdot 10^8 m^3$ o que representa a soma do armazenamento na zona saturada com o volume possivelmente "perdido" para os aquíferos subjacentes ($Varm + Re$). Esse montante representa cerca de 17% em relação a recarga na zona saturada do SAU nessa área e apenas 4% em média da precipitação, para o período considerado. A Tabela 5.8 relaciona os valores individualmente para cada bacia (estação) existente na área selecionada.

Tabela 5.8 – Balanço hidrogeológico para o período de 1982 a 2002 na zona saturada da área da bacia hidrogeológica do SAU - região de Correntina (BA).

Estação	R (m ³)	Qbtotat (m ³)	Varm+Re (m ³)	% Varm+Re R	% Varm+Re P
Mocambo (rio Guará)	1,40·10 ⁹	9,64·10 ⁸	4,38·10 ⁸	31	5
Correntina (rio Correntina)	1,18·10 ⁹	8,56·10 ⁸	3,25·10 ⁸	27	8
Arrojado (rio Arrojado)	1,81·10 ⁹	1,43·10 ⁹	3,74·10 ⁸	21	6
Gatos (rio Formoso)	1,91·10 ⁹	2,15·10 ⁹	-2,48·10 ⁸	-13	-3
Média	1,57·10⁹	1,35·10⁹	2,22·10⁸	17	4

Embora os valores obtidos sejam a média do período, foi possível observar que em uma das áreas, aquela referente à bacia do rio Formoso (estação Gatos) o balanço apresentou um valor médio negativo para o período, o que indica que houve um maior volume de água saindo que entrando no sistema considerado nessa bacia específica.

Diante desse resultado podem-se tecer algumas considerações particulares. Dentre as características diferenciais dessa área em relação às demais consideradas no balanço hidrogeológico pode-se avaliar que:

- A área da bacia hidrogeológica que drena à montante da estação Gatos é a única do balanço que está situada imediatamente antes do contato dos arenitos do Grupo Urucua com o

embasamento da bacia, ou seja, está completamente inserida na área efetiva do SAU nessa região;

- A estação de Gatos foi a que apresentou o maior volume de fluxo de base (Q_b), cerca de $2,15 \cdot 10^9 \text{m}^3$ dentre as estações analisadas;

Embora a área da bacia hidrogeológica selecionada para este balanço seja bidimensional, pode-se somar ao exposto o fato de que na área da bacia do rio Formoso ocorrem as maiores espessuras das rochas do Grupo Urucua, segundo o levantamento geofísico. Isto deve ser considerado uma vez que o sistema deste balanço é a zona saturada do SAU na área selecionada. Neste caso, a área de influência da estação Gatos provavelmente drenaria um maior volume da unidade aquífera subjacente que a das outras estações onde foi realizado o balanço hidrogeológico.

Os resultados dos balanços hidrogeológicos, tanto considerando a zona vadosa como sistema com a zona saturada como matriz de observação, mostram que o SAU apresenta excelentes condições de circulação de água, com alta taxa média de recarga e alta regularização da vazão dos cursos superficiais pelo interfluxo e pelo fluxo de base. Essas características corroboram o alto percentual das reservas permanentes (10% por ano) considerado para a estimativa das reservas exploráveis (conforme 7.2, Reservas Hídricas subterrâneas).

CAPÍTULO VI

GEOFÍSICA

6.1 ESTUDOS ANTERIORES

Os estudos geofísicos realizados na área do Sistema Aquífero Urucuia consistem de levantamentos recentes voltados para a obtenção de informações a respeito da espessura dos arenitos do Grupo Urucuia, visto que nenhuma perfuração de poço na área efetiva do sistema ultrapassou até então a espessura total dessas rochas, ou seja, não chegaram a atingir o embasamento da bacia.

São basicamente cinco os trabalhos desenvolvidos na região: Bonfim & Gomes (2004), que utilizaram o método gravimétrico; Tschiedel (2004), trabalhou com o método da sondagem eletromagnética; Amorim Jr. & Lima (2003), Amorim Jr. (2003) e Lima (2000), empregaram a sondagem elétrica vertical (SEV) e a polarização induzida (IP), nas bacias do rio das Fêmeas e do rio dos Cachorros, respectivamente.

Bonfim & Gomes (2004), utilizaram informações do levantamento gravimétrico de escala regional do estado da Bahia, na escala 1: 1.000.000. Os autores reinterpretaram esses dados, com a finalidade de focalizar na investigação da topografia do embasamento da Bacia Sanfranciscana, ou seja, a espessura dos sedimentos do Grupo Urucuia. Observaram as informações de três perfis esquemáticos na região do oeste baiano: o perfil AA', submeridional, e os outros dois perfis BB' e CC', de direção NW-SE, localizados na parte central da bacia, região de Barreiras (figura 6.1).

Os conjuntos de litotipos foram diferenciados por meio do contraste entre as respectivas densidades. Para o conjunto do Grupo Urucuia a densidade média foi de 1,95 g/cm³, para o embasamento do Grupo Bambuí obteve-se o valor médio de 2,3 g/cm³ e, para o embasamento granito-gnáissico, valores entre 2,7 a 2,75 g/cm³.

A espessura dos arenitos do Grupo Urucuia, segundo a interpretação dos autores, chega a atingir cerca de 1,5 Km de espessura, dispostos ora sobre as rochas do Grupo Bambuí ora sobre o embasamento cristalino, numa estruturação interpretada na forma de grabens. Segundo Bonfim & Gomes (2004), a estruturação em grabens permite que seja levantada a hipótese de que nem todos os sedimentos pséfíticos, psamíticos e pelíticos considerados como do Grupo Urucuia, sejam realmente pertencentes a essa unidade. Podem ser mais antigos, relacionados, por exemplo, às unidades paleozóicas da Bacia do Parnaíba.

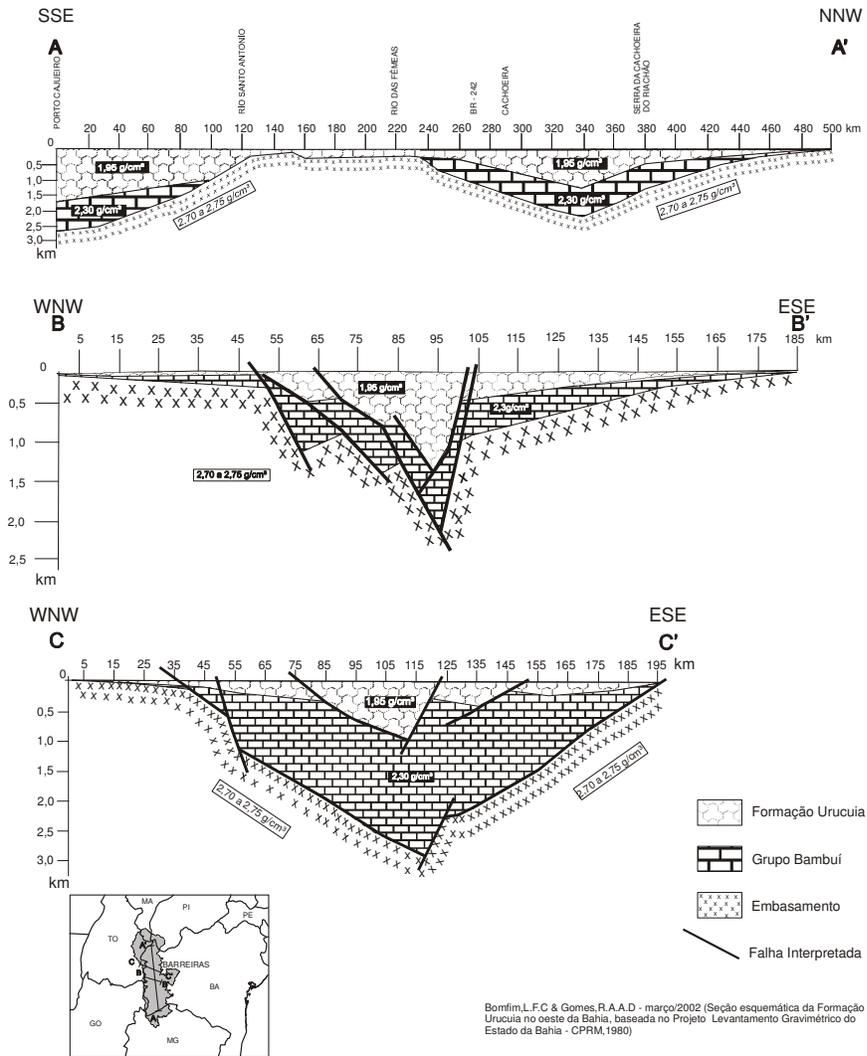


Figura 6.1 - Perfis AA', BB' e CC', interpretados por Bonfim & Gomes (2004), baseados no projeto do levantamento gravimétrico do estado da Bahia, CPRM de 1980.

Tschiedel (2004), por sua vez, realizou um levantamento de escala regional sobre as rochas do Grupo Urucua, por meio da execução de dois perfis: um ao longo da BR-020, de direção NNE e outro nas adjacências da BR-242, aproximadamente EW, entre LEM e Barreiras. Os arenitos do Grupo Urucua, segundo o autor, apresentaram espessuras da ordem de 300 a 600 metros.

Amorim Jr. & Lima (2003), Amorim Jr. (2003), desenvolveram um estudo geofísico na bacia do rio das Fêmeas, afluente do Rio Grande com o emprego dos métodos de sondagem elétrica vertical (SEV) e polarização induzida (IP) no domínio do tempo. O levantamento consistiu de 80 estações, com espaçamento médio de 6 km entre os centros das SEV's (figura 6.2). O arranjo utilizado foi do tipo Schlumberger, com espaçamento máximo AB/2 de 1.000 metros.

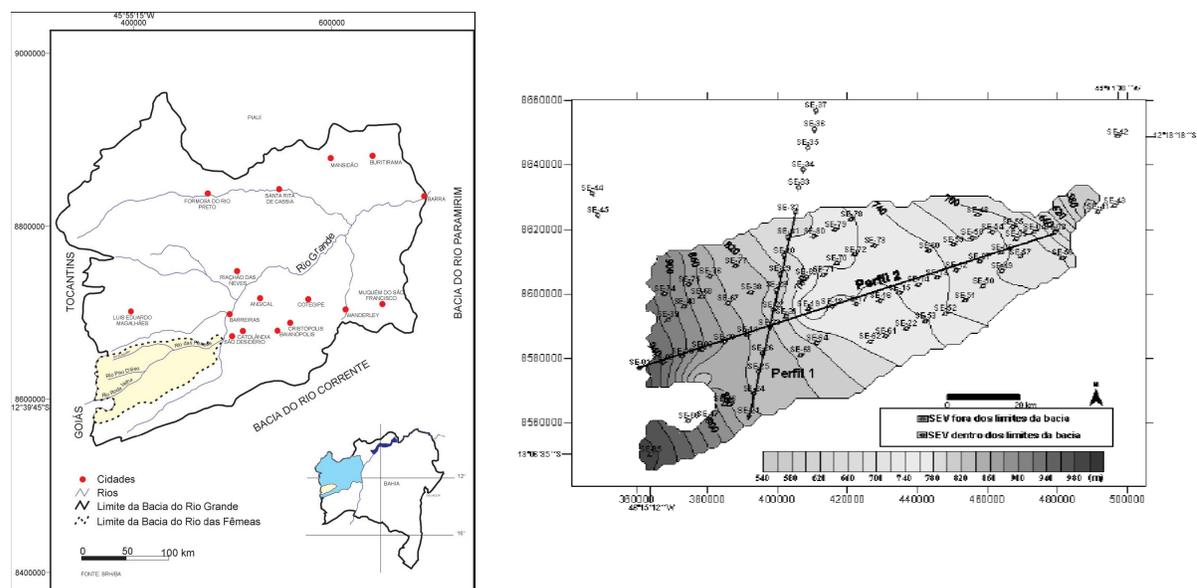


Figura 6.2 – Localização da bacia do rio das Fêmeas. Centro das SEV's. Fonte: Amorim Jr. (2003).

A interpretação dos autores considerou a presença de uma zona superficial, zona não saturada do aquífero, com resistividades (ρ) entre 1.000 e 43.700 $\Omega\cdot\text{m}$, que pode alcançar até mais de 100 metros de espessura; a zona saturada do sistema aquífero, com resistividades entre 4.000 e 23.000 $\Omega\cdot\text{m}$. Segundo os autores os altos valores poderiam estar associados à presença de níveis silicificados e os menores à presença de argilosidade nos arenitos. O substrato observado no estudo apresentou resistividade de cerca de 100 $\Omega\cdot\text{m}$, representativo das rochas pelito-carbonatadas do Grupo Bambuí. Amorim Jr. (2003) também obteve em algumas sondagens fora dos limites da bacia valores de resistividades de 1.700 a 1.900 $\Omega\cdot\text{m}$.

Os autores detectaram ainda a existência de um eixo divisor de fluxo subterrâneo na parte ocidental da bacia, onde os níveis estáticos ultrapassam os 200 metros de profundidade; a partir desse ponto o fluxo passa a ser de leste para oeste.

Lima (2000) realizou 50 estações de SEV e IP (domínio do tempo) na bacia do rio dos Cachorros, afluente do rio de Janeiro, este afluente do rio Grande. O arranjo utilizado foi do tipo Schlumberger, com abertura máxima entre os eletrodos de 1.000 metros. Os valores de resistividades obtidos foram entre 4.000 e 30.000 $\Omega\cdot\text{m}$ na zona não-saturada do aquífero Urucuia, que atinge na área investigada até 20 metros de profundidade e valores entre 2.000 e 5.000 $\Omega\cdot\text{m}$ na zona saturada do aquífero. Os perfis gerados nesse trabalho mostram espessuras de até 370 metros para as rochas do Grupo Urucuia na bacia estudada.

6.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Os estudos geofísicos no âmbito desta pesquisa buscaram principalmente a obtenção da espessura das rochas do Grupo Urucuia, com vistas ao cálculo das reservas hídricas subterrâneas do sistema aquífero. Utilizou-se para este fim, uma avaliação do modelo geoeletrico, expresso em termos dos valores de resistividade representativas da geologia na área de estudo. Esta expectativa esteve fundamentada no contraste desta propriedade física esperada entre um pacote predominantemente arenoso, mais resistivo, do Grupo Urucuia, sobre um substrato menos resistivo, formado pelas rochas pelito-carbonatadas, do Grupo Bambuí e embasamento granítico.

O método empregado nesta pesquisa na caracterização deste modelo geoeletrico foi o eletromagnético (EM), que se encontra atualmente com crescente utilização nas pesquisas de águas subterrâneas, como aquelas desenvolvidas por Silva (2005) e Taylor *et al.* (1992).

Os métodos eletromagnéticos são classificados de acordo ao modo de medição como técnicas nos domínios do tempo (TDEM, *Time-Domain* ou *TEM*, *Transient EletroMagnetic*) ou da frequência (FDEM, *Frequency-Domain ElectroMagnetic*). Esses métodos podem ter seus sensores e transmissores colocados em plataformas aéreas – levantamentos aéreos – ou terrestres. São denominados ativos, quando utilizam fontes artificiais em busca do fenômeno da indução magnética; ou passivos, quando fazem o uso de fontes naturais (Reynolds 1997).

A utilização do fenômeno da indução magnética pelos métodos eletromagnéticos (EM) não requer contatos galvânicos com o terreno na investigação da subsuperfície (Gouveia & Costa e Silva 1995). Essa característica é uma das vantagens desses métodos, uma vez que os levantamentos são mais rápidos e ágeis do que um levantamento equivalente feito com uso de métodos elétricos, por exemplo, que necessitam de eletrodos fincados no solo (Reynolds 1997). Este fator foi explorado nesta pesquisa, dado a dificuldade que se teria em estabelecer contatos galvânicos na superfície arenosa.

O fenômeno da indução magnética é governado por equações complexas que relacionam campos vetoriais que descrevem as inter-relações entre os campos magnético e elétrico e suas fontes. No espaço os campos magnético e elétrico podem ser descritos tanto em termos de vetores de intensidade de campo \mathbf{E} (V/m) e \mathbf{H} (A/m) quanto em termos de vetores de densidade de fluxo \mathbf{D} (C/m²) e \mathbf{B} (Wb/m² ou tesla)¹. Esses campos são, em geral, funções da posição espacial (x, y, z) e também da frequência f (hertz) ou do tempo t (s) (West & Macnae 1991).

Nesta pesquisa aplicou-se o método eletromagnético com medições no domínio do tempo (TEM) ao qual será dada ênfase neste embasamento teórico.

¹Onde: \mathbf{B} - densidade de fluxo magnético; \mathbf{D} - densidade de fluxo elétrico; \mathbf{H} - intensidade do campo magnético; \mathbf{E} - intensidade do campo elétrico.

Segundo Nabighian & Macnae (1991) as técnicas de investigação no domínio do tempo têm se desenvolvido usando-se duas formas de medição: a sondagem eletromagnética e o caminhamento ou perfilagem eletromagnética. A primeira técnica utilizada normalmente para delinear estruturas acamadas – de interesse geológico nas explorações de água subterrânea e óleo, explorando-se as variações verticais na condutividade elétrica enquanto a segunda é aplicada para localizar variações laterais nesta propriedade física, como é o caso na pesquisa por depósitos de sulfetos maciços a grandes profundidades.

Nos levantamentos de campo terrestres no modo TEM uma corrente alternada de baixa frequência é aplicada numa bobina transmissora, disposta na superfície do terreno, comumente denominada de "loop". A corrente gera um campo magnético primário, que se propaga em subsuperfície, e ao encontrar um meio condutor induz-lhe contra-correntes (*eddy currents*). Essas correntes, por sua vez, geram outro campo magnético, o secundário (Reynolds 1997) (Figura 6.3). Num tempo ($t = 0$) a corrente aplicada na bobina transmissora é bruscamente interrompida e pode-se medir o campo secundário no receptor, na ausência do primário (Nabighian & Macnae 1991).

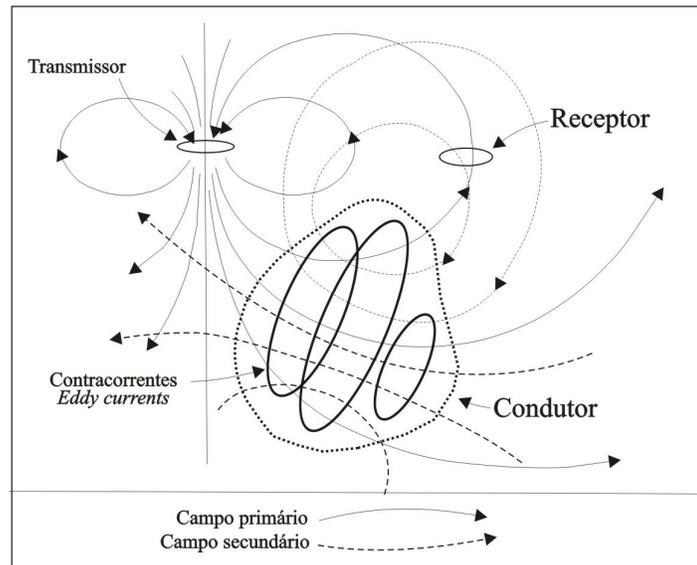


Figura 6.3 - Esquema generalizado do princípio utilizado nos levantamentos dos métodos eletromagnéticos. Modificado de Reynolds (1997).

Nas medidas eletromagnéticas no domínio do tempo, a corrente possui um ciclo ligado e outro desligado, com pulsos de polaridade invertida (geralmente ondas quadradas, retangulares, triangulares ou semi-senoidais). As medidas no receptor são feitas durante o ciclo desligado, quando somente o campo secundário está presente (Nabighian & Macnae 1991) em janelas discretas de tempo, a partir de tempo ($t = 0$) denominado de *ramp time* ou *Tx Delay* (Figura 6.4).

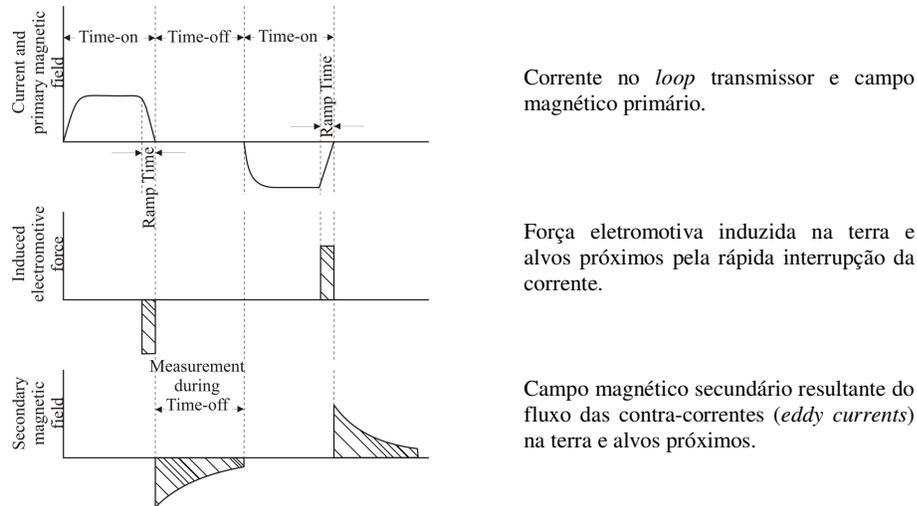


Figura 6.4 – Formas de onda no TEM. Fonte: McNeil (1990).

Após a interrupção da corrente, com a finalização do campo magnético primário, rapidamente as contra-correntes (*eddy currents*) são geradas próximas ao fio transmissor para manter o campo magnético na terra no valor que existiu imediatamente antes da interrupção. Essas contra-correntes propagam-se a grandes profundidades com o passar do tempo (Mills *et al.* 1988) (Figura 6.5). As medições do decaimento do campo magnético no centro do *loop* em função do tempo são equivalentes às medidas de resistividade em função da profundidade (McNeil 1990).

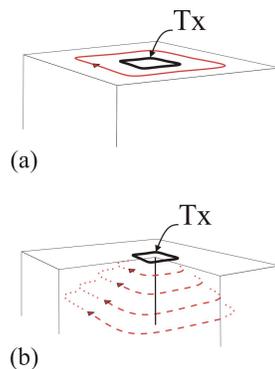


Figura 6.5 – Ilustração esquemática do fluxo das contra-correntes (*eddy currents*): (a) imediatamente após a interrupção da corrente, (b) algum tempo depois. Modificado de McNeil (1990).

No arranjo *in loop*, utilizado nesta pesquisa a bobina receptora é disposta no centro do loop, onde registra a variação temporal do campo de indução eletromagnética $\partial B / \partial t$, ou seja, seu decaimento em intervalos discretos do tempo, arranjados logaritmicamente, e a resistividade aparente do meio rochoso.

A resistividade elétrica de uma substância é a medida da dificuldade com que uma corrente elétrica flui através dela, ou seja, a sua resistência à passagem de uma corrente. A maioria dos solos e rochas é isolante elétrico e tem com alta resistividade (McNeill 1980). Entretanto, a presença de substâncias metálicas, matéria orgânica, água podem ocasionar uma diminuição nos valores dessa propriedade (Telford *et al.* 1990). A tabela 6.1 apresenta exemplos de variações de resistividades de alguns tipos de rochas.

Tabela 6.1 – Resistividades de alguns tipos de rochas. Fonte: Telford *et al.* 1990

Rocha	Resistividade ($\Omega\cdot m$)
Granito	$3 \cdot 10^2 - 10^6$
Basalto	$10 - 1,3 \cdot 10^7$ (seco)
Xisto	$20 - 10^4$
Grafita xisto	10-100
Gnaisse	$6,8 \cdot 10^4$ (úmido) – $3 \cdot 10^6$ (seco)
Mármore	$100 - 2,5 \cdot 10^8$ (seco)
Quartzito	$10 - 2 \cdot 10^8$
Arenito	$1 - 6,4 \cdot 10^8$
Calcário	$50 - 10^7$
Argilito	10-800

Nas sondagens eletromagnéticas a profundidade de investigação (D , em metros) é aproximadamente $D = 28 \cdot \sqrt{\rho a \cdot t}$, onde ρa é a resistividade aparente ($\Omega\cdot m$) e t é o tempo (*late time*), em milissegundos. Não há limite teórico para a máxima profundidade de investigação; entretanto, na prática o limite é ditado pela magnitude do menor sinal detectável. O tamanho do *loop*, a corrente usada, a sensibilidade do sistema receptor, e o *background* do ruído do ambiente, e as características físicas do local, todos contribuem para ditar a máxima profundidade de exploração (Zonge 2005).

Taylor *et al.* (1992) obtiveram 100 metros em profundidade de investigação numa configuração do *loop* transmissor de 50x50 metros, com corrente de 3 a 4 A e receptor disposto na parte central do *loop*. Nas áreas de baixas resistividades dos locais estudados, entretanto, a profundidade de exploração foi reduzida para menos de 20 metros. Mills *et al.* (1988), por sua vez conseguiram investigar aquíferos com profundidade média de 55 e 120 metros de profundidade com *loops* de 100 x 100 metros e 200 x 200 metros, respectivamente.

A relação entre a profundidade de exploração e a resistividade do meio foi representada por McNeill (1980) (Figura 6.6). Esse gráfico apresenta a profundidade de ocorrência da máxima intensidade das contra-correntes em função do tempo para diferentes valores de

resistividade do meio. O gráfico aponta que nos ambientes com altas resistividades há uma maior profundidade de difusão das correntes, e o contrário nos meio menos resistivos.

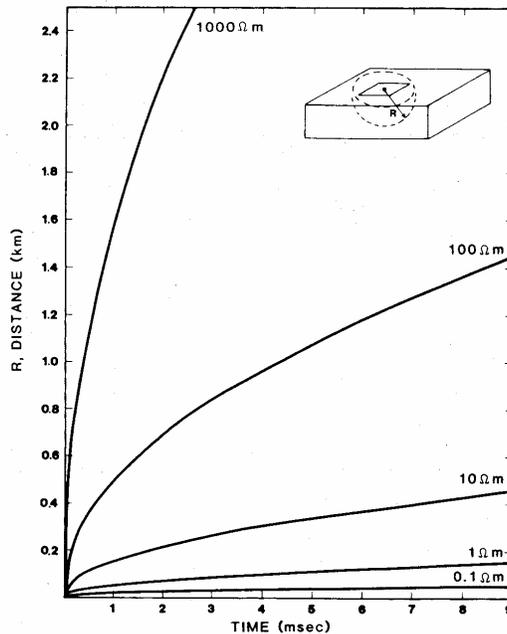


Figura 6.6 – Comportamento da "taxa de difusão" da máxima intensidade de corrente para um meio uniforme, a diferentes valores de resistividade. Fonte: McNeil (1980) apud Mills et al. 1988.

No que tange às fontes de erro teóricas nos levantamentos com uso do TEM são principalmente devidas a três fontes principais (Nabighian & Macnae 1991):

- (a) erros geométricos nas posições do conjunto transmissor-receptor e efeitos topográficos;
- (b) ruídos culturais estáticos;
- (c) ruídos culturais dinâmicos.

No primeiro caso essas fontes incluem erros na montagem da bobina transmissora e modificações em seu plano devidas à topografia do terreno.

Os ruídos culturais estáticos surgem pela presença de encanamentos, cabos e cercas metálicas ou outros materiais metálicos na área de levantamento. Alguns desses materiais servem como canais de corrente que podem causar distorções nos dados coletados.

Os ruídos culturais dinâmicos são causados por um grande número de fontes. Para frequências menores que 1 Hz, as fontes de erro são sinais geomagnéticos da ionosfera terrestre, enquanto que para frequências acima de 1 Hz, entre 6 e 10 Hz, por exemplo, os sinais gerados por uma descarga elétrica de um raio produzem interferências que são fontes eletromagnéticas naturais.

6.2.1 Aplicações em hidrogeologia

Os métodos eletromagnéticos têm-se demonstrado importantes ferramentas de investigação hidrogeológica desde a década de 70 (Reynolds 1997).

Fitterman & Stewart (1986) apresentaram a aplicação da sondagem eletromagnética em quatro tipos de investigações hidrogeológicas: mapeamento de zonas preenchidas com cascalhos e aluviões; mapeamento de lentes de areia e cascalho em tilitos; detecção da interface entre água salgada e água doce; e aplicação em hidroestratigrafia, sendo esta última apresentada como modelo de aplicação hipotética para o Aquífero Botucatu (denominado atualmente de Sistema Aquífero Guarani), de extensão regional (Gilboa *et al.* 1976). Nesse estudo os autores destacaram a necessidade de contraste entre as resistividades das rochas/feições investigadas e a espessura mínima necessária para assegurar a detecção, que é variável em função da profundidade de investigação.

Mills *et al.* (1988) utilizaram com resultados satisfatórios a técnica de sondagem eletromagnética para mapear a intrusão salina em Monterey, na Califórnia (EUA). O estudo contou com a execução de 100 sondagens, com *loops* de 100 x 100 metros, para investigações de um aquífero com profundidade média de 55 metros e de 200 x 200 metros, para investigar o aquífero com profundidade de 121 metros.

McNeil (1990) apresentou como estudo de caso aplicação da sondagem eletromagnética em estudo de mapeamento da qualidade das águas subterrâneas.

Taylor *et al.* (1992), por sua vez, demonstraram a utilidade do uso de sondagens eletromagnéticas pouco espaçadas para caracterizar a hidrogeologia local e definir áreas favoráveis à exploração de águas subterrânea em ambiente árido. Nesse trabalho o autor utilizou os resultados modelados em conjunto com pseudo-seções (tempo versus ρ_a) para determinar locais favoráveis para perfurações exploratórias.

Silva (2005) utilizou dados de sondagem aeromagnéticos como auxílio para traçar o sistema de falhas e fraturas e na visualização da geologia de subsuperfície para investigação hidrogeológica, no *Greenstone Belt* de Mundo Novo, no estado da Bahia.

Segundo Fitterman & Stewart (1986) as técnicas de sondagem eletromagnética não têm sido extensivamente utilizadas em estudos hidrogeológicos como os métodos elétricos, devido aos altos custos dos equipamentos e ao grande tempo necessário no processamento dos dados.

6.3 RESULTADOS

6.3.1 Aquisição dos dados

Os levantamentos de campo nesta pesquisa consistiram, primeiramente, num teste para aferição dos diversos parâmetros pertinentes ao levantamento e às condições geoeletricas locais, como frequências, tamanho do loop, *ramp time*, e presença de ruídos. A rotina de campo consistiu na execução de 2 ou 3 pontos ao dia, duração de aproximadamente duas horas para montagem e desmontagem do *loop* e aquisição dos dados. As dificuldades inerentes aos trabalhos de campo deveram-se aos deslocamentos diários de cerca de 100 km, sendo a maioria em estrada não-pavimentada, pelo ambiente aquisição muitas vezes de cerrado fechado, pela carga pesada dos equipamentos utilizados e pelas dificuldades logísticas da região.

Utilizou-se nesse primeiro ensaio 5 frequências diferentes: 0,25; 0,5; 1; 2 e 8 Hz e um *ramp time* (*TxDelay*) médio de 190 μ s, com algumas variações. Os testes realizados quanto ao tamanho do lado das bobinas transmissoras (*loops*) de seção quadrática foram testados nas seguintes configurações: 200 x 200m; 350 x 350m e 700 x 700m. A técnica de medição usada foi a de sondagens eletromagnéticas verticais com o receptor sempre no centro da espira da bobina transmissora, ou arranjo *in loop*.

Esse levantamento preliminar foi seguido de um tratamento dos dados obtidos com a variação de diversas componentes do levantamento para aferi-las para a aquisição final.

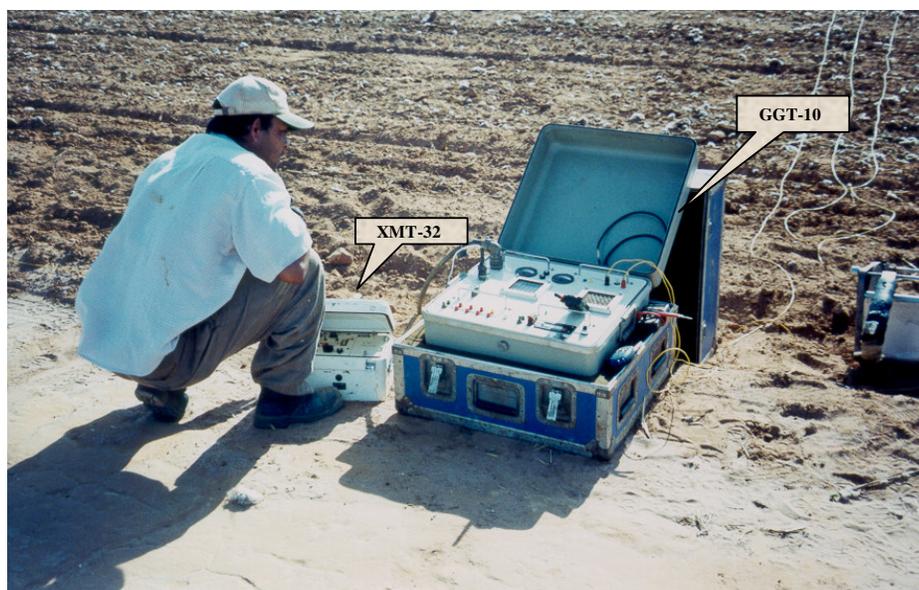
A aquisição final dos dados, no levantamento definitivo, onde todos os parâmetros foram previamente aferidos, consistiu na utilização de bobinas com 350 metros de lado, com frequências de 0,5; 1 e 2 Hz. A corrente utilizada foi em média de 15A e *ramp time* de 180 μ s. O

cálculo do *ramp time* foi feito a partir da seguinte relação: $TxDelay = \frac{2 \cdot L^{1,25}}{5 + R} \Rightarrow \frac{2 \cdot 350^{1,25}}{5 + 12} \cong 178 \mu s$,

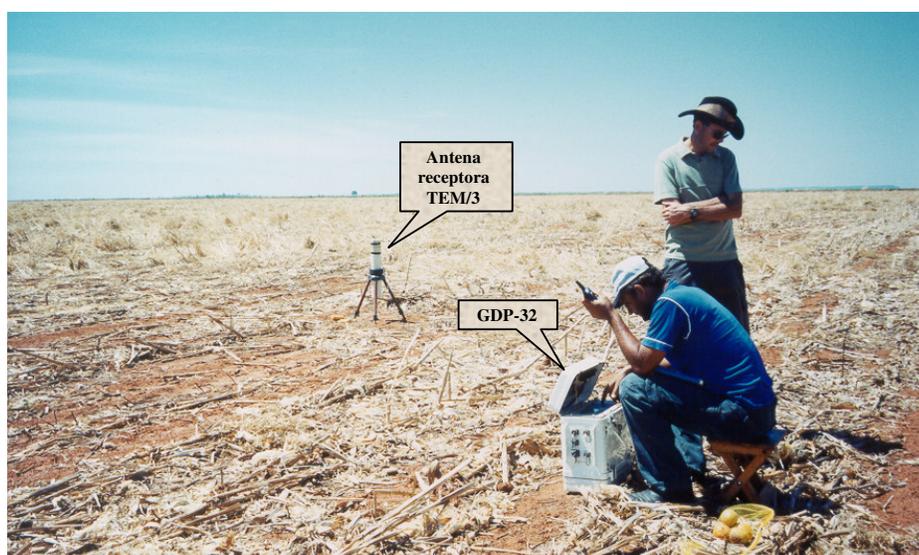
onde: *L* é o tamanho do lado do *loop* (m) e *R* é a resistência medida no *loop* (Ω) (Zonge 1997).

O sistema transmissor utilizado no teste e no levantamento final foi composto pelo módulo GGT-10, fonte de corrente, controlado pelo módulo XMT-32 (Figura 6.7a) e alimentado por um conjunto motor-gerador de 7,5KVA. Utilizou-se fio condutor de cobre para montar no terreno uma bobina quadrada (*loop*), onde as extremidades desse condutor foram conectadas ao transmissor de modo que fosse possível circular um corrente de cerca de 15A pela bobina.

O sistema receptor, por sua vez, foi composto por uma antena magnética, modelo TEM/3, conectada ao módulo GDP-32, responsável pela leitura e armazenamento dos dados de campo (Figura 6.7b). Todos esses equipamentos são de fabricação da *Zonge Engineering & Research Organization Inc.* (EUA) e pertencentes à Universidade de Brasília (UnB).



(a)



(b)

Figura 6.7 – Equipamentos utilizados na aquisição geofísica. (a) Sistema transmissor (GGT-10 e XMT-32); (b) Sistema receptor (antena TEM/3 e GDP-32).

Consistiu, assim, de uma bobina transmissora simples, disposta sobre a superfície do solo em forma de quadrado, e uma antena receptora localizada na parte central do arranjo, também denominado de "centro da bobina" ou *In Loop* (Figura 6.8).

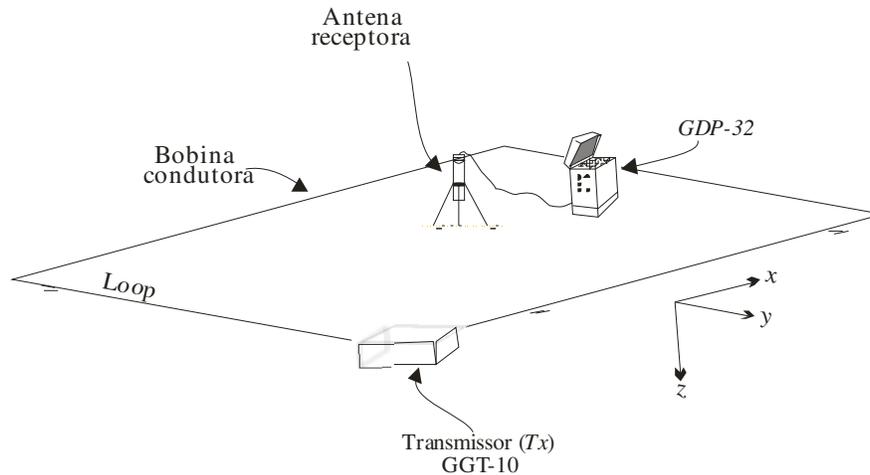


Figura 6.8 – Configuração esquemática do arranjo in loop, quadrado de 350 x 350 metros, com a bobina receptora centralizada, utilizada no levantamento geofísico.

No que tange aos possíveis ruídos nos levantamentos realizados nesse trabalho, tem-se que, os ruídos relativos à geometria da bobina transmissora foram controlados pela distribuição cuidadosa da espira com auxílio de GPS. Os possíveis erros relativos aos efeitos topográficos foram descartados devido a topografia plana da área de aquisição.

Os ruídos culturais estáticos na área de levantamento foram efetivamente controlados evitando-se, principalmente, cercas metálicas que delimitam as propriedades rurais na região. Observou-se que os ruídos ocasionados pela existência de cercas ou outros materiais metálicos eram intensificados caso estivessem associados à presença de redes de transmissão de energia elétrica. Nesse ambiente ruidoso observou-se que o distanciamento de cerca de 6 km destas fontes extinguiu tal interferência.

Dentre os ruídos culturais dinâmicos perceptíveis em campo, os mais comuns foram o tráfego de veículos nas estradas e vias de acesso, que foram evitadas. O trânsito de tratores nas lavouras próximas aos locais de aquisição dos dados também foi evitado.

A aquisição de dados nos levantamentos geofísicos deste trabalho consistiu na execução de 27 estações (*loops*), sendo 24 do levantamento final e três aproveitadas dos levantamentos de teste. Estas estações foram distribuídas ao longo da área do SAU, desde a bacia do rio Formoso, na parte sul, até a bacia do rio Preto, no município de Formosa do Rio Preto (BA) (Figura 6.9). Alguns *loops* foram coincidentes ou próximos de locais onde foram realizados levantamentos com o método de sondagem elétrica vertical e polarização induzida, desenvolvido por Amorin Jr. (2003), com o objetivo de comparar os valores de resistividade e profundidade com o uso de diferentes métodos.

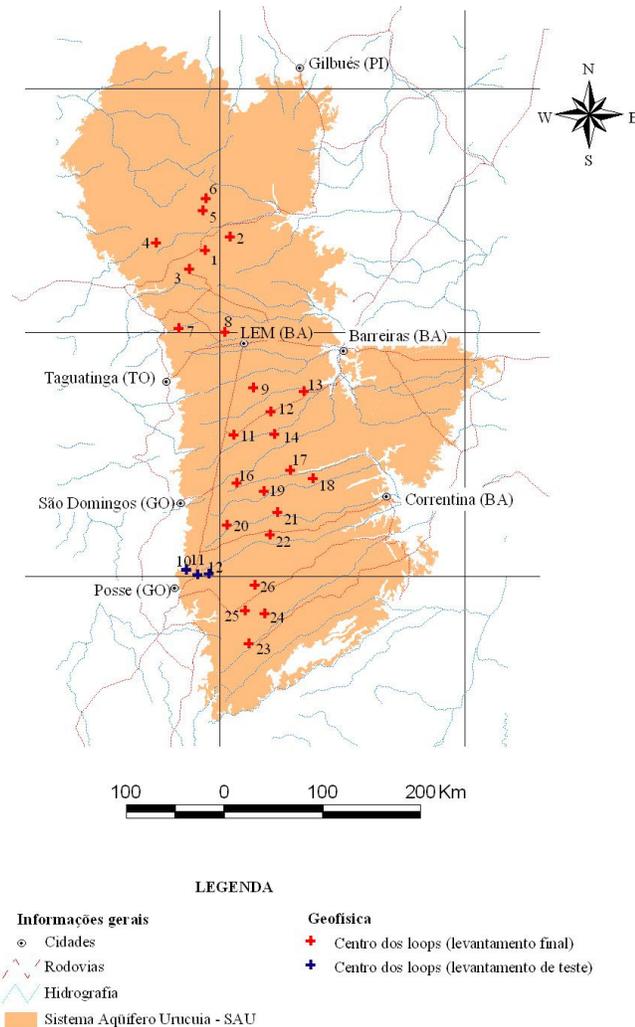


Figura 6.9 - Mapa de localização das estações geofísicas.

6.3.2 Tratamento e interpretação dos dados

Os dados coletados em campo foram extraídos do GDP-32 na forma bruta de coleta, (arquivos .raw) onde são apresentados na forma de planilhas que contém todas as informações do levantamento, como as dimensões do *loop* e a posição da bobina receptora, as frequências utilizadas, o tempo de rampa (*ramp time*), a resistividade aparente (ρ_a) e a tensão de decaimento do campo secundário em função dos tempos centrais de cada janela de amostragem usada.

O tratamento inicial dos dados consistiu na confecção de gráficos bilogarítmicos do tempo versus tensão de decaimento do campo secundário da média de três leituras feitas pelo receptor. Esses gráficos são importantes na visualização de ruídos no levantamento ou dos limites impostos pela configuração instrumental utilizada.

A partir da observação dos gráficos brutos, onde todas as leituras realizadas em campo estão plotadas, verificou-se que os dados obtidos com 2,0 Hz de frequência apresentavam menos ruídos do que aqueles com 0,5 Hz e 1,0 Hz. A figura 6.10 apresenta três exemplos de gráficos brutos de campo.

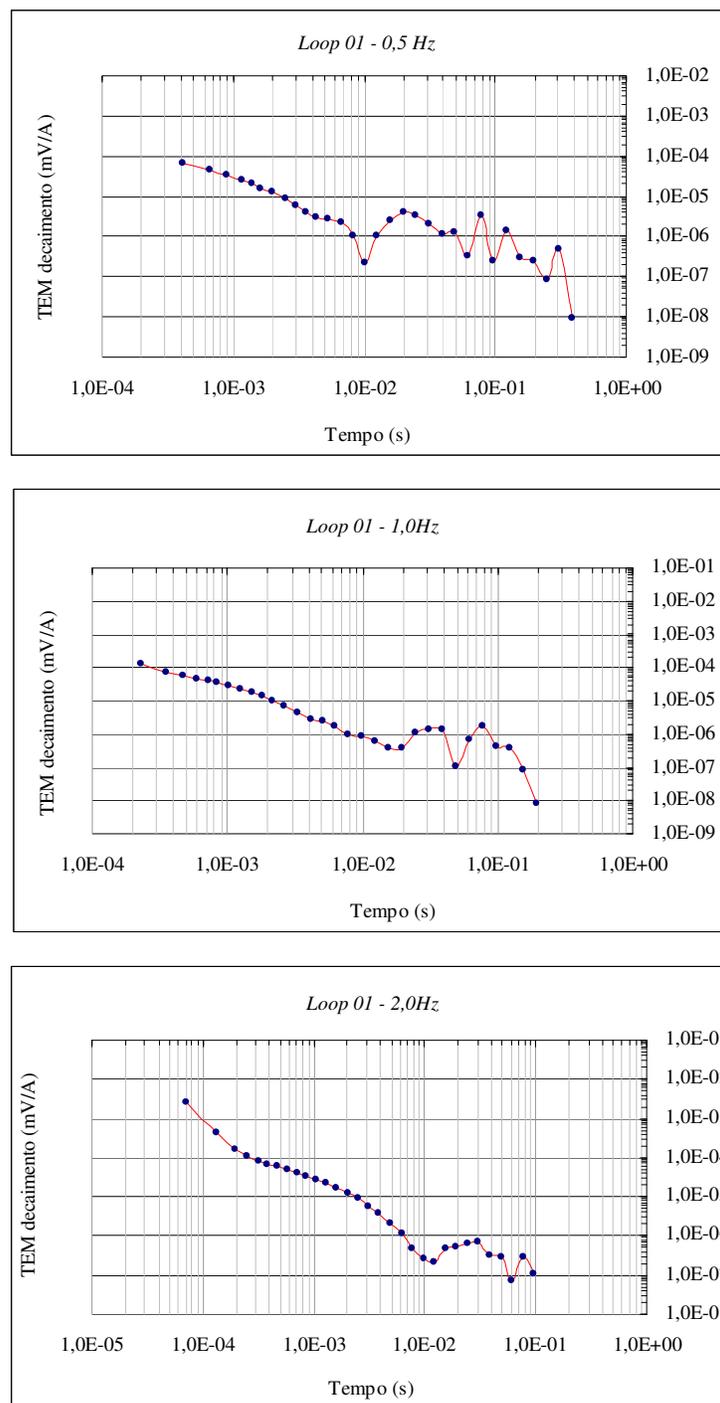


Figura 6.10 – Exemplos de gráficos brutos de campo, com frequência de 0,5; 1,0 e 2,0 Hz.

Com base nessa observação optou-se em utilizar apenas os dados adquiridos com frequência de 2,0 Hz. De todos os gráficos brutos adquiridos com 2,0 Hz de frequência foram excluídos os pontos considerados ruidosos, conforme exemplo apresentado na figura 6.11. Os gráficos e planilhas de todos os pontos estão apresentados em anexo.

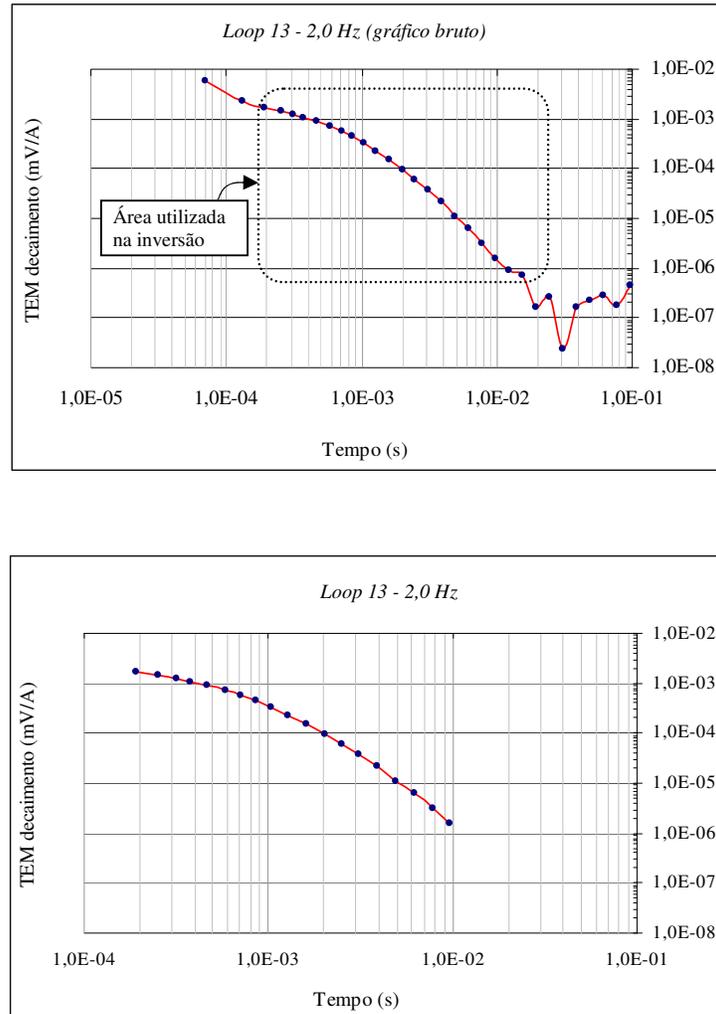


Figura 6.11 – Exemplos de gráficos brutos e modificações feitas, com indicação da área utilizada no tratamento final.

Ainda no tratamento inicial dos dados confeccionou-se pseudo-seções, onde foram plotados dados de resistividade aparente versus tempo (10.000 vezes o \log_{10}), para compatibilizar as escalas. As seções foram confeccionadas pela integração de duas ou mais sondagens próximas e/ou alinhadas entre si. Esse procedimento evita a introdução de incertezas causadas por equivalências (Mallick & Verma 1979), e segundo Taylor *et al.* (1992) muitas feições estratigráficas e estruturais são facilmente discriminadas nas pseudo-seções antes mesmo de convertê-las em seções de profundidade e resistividade.

As pseudo-seções apresentam a integração dos valores de resistividade aparente em profundidade e lateralmente, facilitando a visualização das variações ao longo da bacia. A figura 6.12 apresenta alguns exemplos de pseudo-seções confeccionadas, com *loops* dispostos na direção aproximadamente leste-oeste. A tendência observada releva uma diminuição progressiva da resistividade aparente com o tempo e uma diminuição também desses valores para a parte mais a leste da bacia.

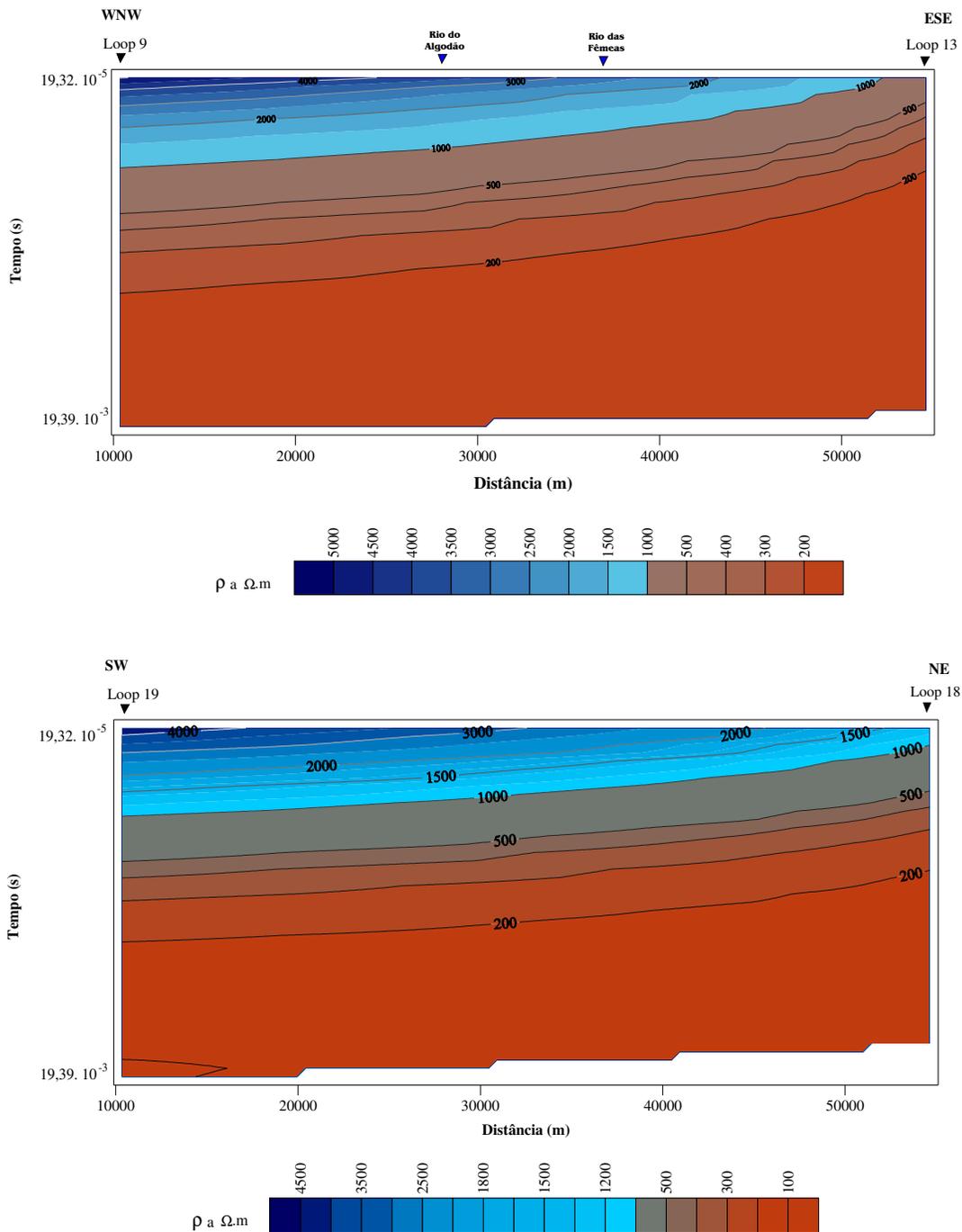


Figura 6.12 – Exemplos de pseudo-seções de loops alinhados aproximadamente na direção leste-oeste.

Outra seção confeccionada com um maior número de pontos, mostra uma visão mais integrada da bacia. A figura 6.13 apresenta a pseudo-seção formada pelos loops 17, 21, 22, 25 e 26, compondo uma seção com mais de 130 Km de extensão. Também exibe uma tendência de diminuição dos valores de resistividades aparentes com o decorrer do tempo.

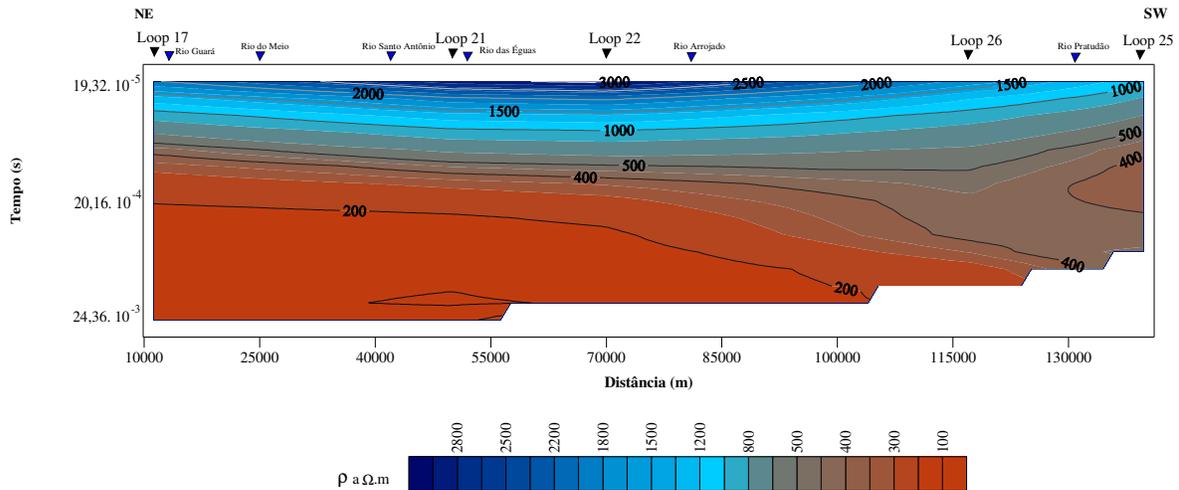


Figura 6.13 – Pseudo-seção integrada dos loops 17, 21, 22, 25 e 26.

A interpretação dos dados adquiridos em campo foi feita no *software TEMIX XL*[®], da *Interprex Limited*, programa executado em sistema operacional DOS, que executa a modelagem assistida por técnicas de minimização – inversão.

Este programa modela os dados da função de decaimento do campo magnético secundário ($\partial B_z / \partial t$) em termos de modelos geoeletricos, expressos em função de espessura *versus* resistividade, para os níveis com diferentes resistividades discriminados.

Um dos problemas comuns no processamento de dados de sondagens eletromagnéticas é a equivalência, que representa um fenômeno de solução ambígua, onde vários modelos podem representar a resposta "certa" para os dados experimentais.

Tendo um conjunto de modelos igualmente consistentes com os dados (modelos equivalentes), deve-se então fazer a pergunta crucial: qual modelo é o real ou o mais aplicado ao caso em estudo? A resposta é fortemente dependente da quantidade e confiabilidade de informações independentes disponíveis (p. ex.: geológicas) e da habilidade de manipulação dessas informações pelo intérprete (Goldman *et al.* 1994). Segundo esses autores uma alternativa popular atualmente é o uso de mais de um método numa mesma área de investigação. Uma alternativa seria utilizar sondagens paramétricas onde já se têm informações dos parâmetros do meio investigado.

Tabarovsky *et al.* (1985) *apud* Goldman *et al.* (1994) consideraram dois tipos de equivalências, uma relacionada ao modelo inicial utilizado e uma relacionada aos dados experimentais, tais como ruídos externos e acurácia instrumental.

O *software TEMIX XL*[®] disponibiliza uma função que testa automaticamente mudanças nos parâmetros (resistividade e espessura) indicados na matriz de resolução e encontra vários modelos equivalentes, o que possibilita observar variações nos parâmetros e/ou modelos equivalentes referente a um dado obtido. A solução final consta de um modelo físico ideal do meio geológico investigado, apresentado no software como uma curva de resistividade aparente versus tempo e modelo final associado com as possibilidades de equivalências.

A interpretação final foi focada primeiramente nas sondagens que coincidiram com os locais de realização das SEV's de Amorim Jr. (2003) ou localizadas próximas a estas, na bacia do rio das Fêmeas, com vistas a utilizá-las como referência.

6.3.3 Apresentação dos resultados finais

Dentre as 26 sondagens eletromagnéticas executadas na aquisição final e as 12 do teste, em apenas 27 executou-se a interpretação final, as demais foram excluídas devido a presença de ruídos. Os resultados estão apresentados na forma de curvas interpretadas no *software TEMIX XL*[®], mapa de isópacas regional e perfis geoeletricos confeccionados pela integração de sondagens próximas. Alguns gráficos e curvas interpretadas serão apresentados neste capítulo, de forma ilustrativa, enquanto os demais produtos estão apresentados em anexo.

As curvas de resistividade aparente obtidas em campo exibem sempre um meio com altas resistividades que representa os arenitos eólicos do Grupo Urucuia, seguido de resistividades mais baixas que retratam o embasamento da bacia (figura 6.14).

O modelo geral obtido consistiu de quatro camadas, sendo que apenas as duas primeiras serão associadas a um perfil geoeletrico da área, haja vista os objetivos do levantamento e as profundidades de investigação para cada sondagem. A profundidade de investigação teórica (D) das sondagens variou entre cerca de 900 a 2.000 metros, de acordo com Zonge (2005), conforme relacionado na tabela 6.2.

Os modelos obtidos do processamento são apresentados na forma de dois gráficos, um com pequenos quadrados que representam os dados de campo e uma linha contínua que representa a curva teórica ajustada na interpretação, e um segundo gráfico com o modelo de quatro camadas gerado representado por uma linha contínua e linhas pontilhadas que representam os modelos equivalentes. Nos gráficos estão apresentados os valores de

resistividade e profundidade das camadas, assim como os erros médios quadráticos do modelo. A figura 6.15 exibe dois gráficos da parte norte da bacia; na figura 6.16 apresentam-se gráficos da parte central, enquanto que na figura 6.17 têm-se as apresentações de gráficos da parte sul.

Os valores de resistividade obtidos para a primeira camada, atribuídos às rochas do Grupo Urucuia apresentaram variações da ordem 15.000 a 60.000 Ω -m, sendo os menores valores situados na parte leste do SAU. O embasamento da bacia apresentou resistividades variadas ao longo da extensão da bacia.

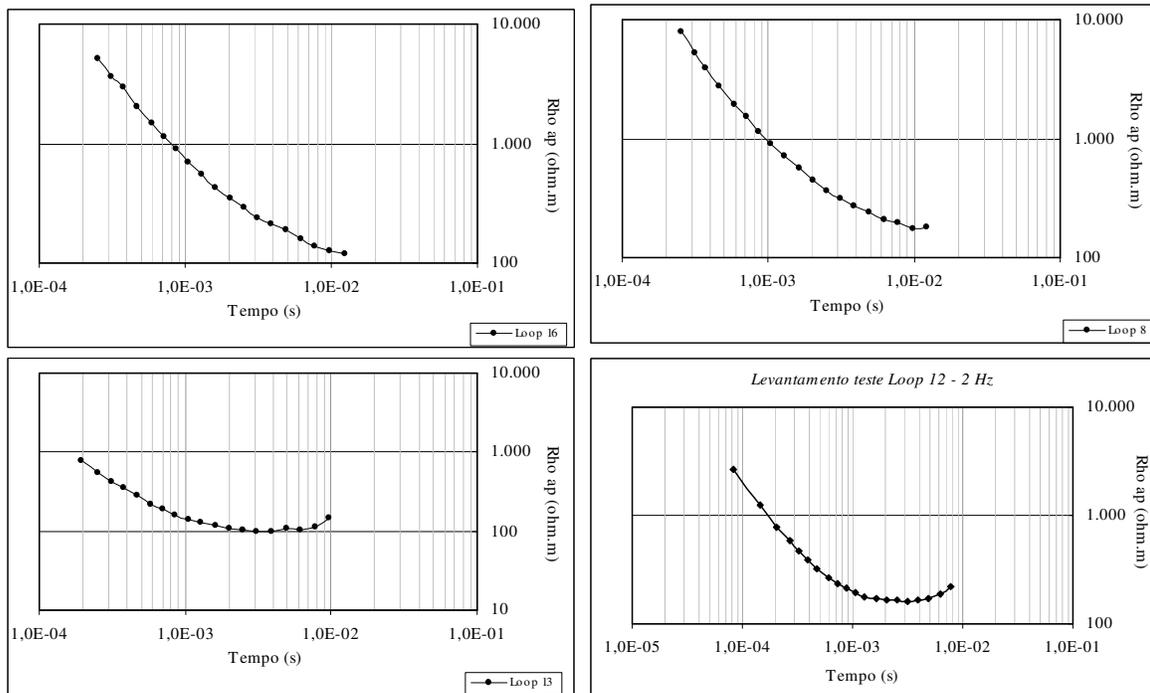


Figura 6.14 - Exemplos de curvas de resistividade aparente (Ω .m) versus tempo (s).

Tabela 6.2 – Profundidade de investigação teórica investigadas, segundo $D = 28 \cdot \sqrt{\rho a \cdot t}$ (Zonge 2005).

N° Loop	D (m)	N° Loop	D (m)
Loop 01	1.234	Loop 14	950
Loop 02	1.462	Loop 15	-
Loop 03	1.028	Loop 16	1066
Loop 04	1.570	Loop 17	997
Loop 05	1.156	Loop 18	1.207
Loop 06	1.844	Loop 19	1.040
Loop 07	1.180	Loop 20	1.144
Loop 08	1.323	Loop 21	897
Loop 09	1342	Loop 22	1.066
Loop 10	-	Loop 23	2.016
Loop 11	1.130	Loop 24	1.556
Loop 12	952	Loop 25	1.550
Loop 13	1046	Loop 26	1.229

Na parte norte valores da ordem de 8.000 a 24.000 $\Omega\cdot m$, onde os maiores valores podem ser atribuídos às rochas da bacia do Parnaíba, as quais são nessa latitude da bacia provavelmente recobertas pelas rochas cretáceas da Bacia Sanfranciscana, enquanto as resistividades da ordem de 8.000 $\Omega\cdot m$ podem ser atribuídas ao embasamento granítico. Na parte central a resistividade média do embasamento é de 9.600 $\Omega\cdot m$, também atribuída ao embasamento granítico, enquanto que na porção sul, a resistividade do embasamento apresentou um valor médio de cerca de 400 $\Omega\cdot m$, atribuída nestes casos às rochas carbonáticas e pelíticas do Grupo Bambuí.

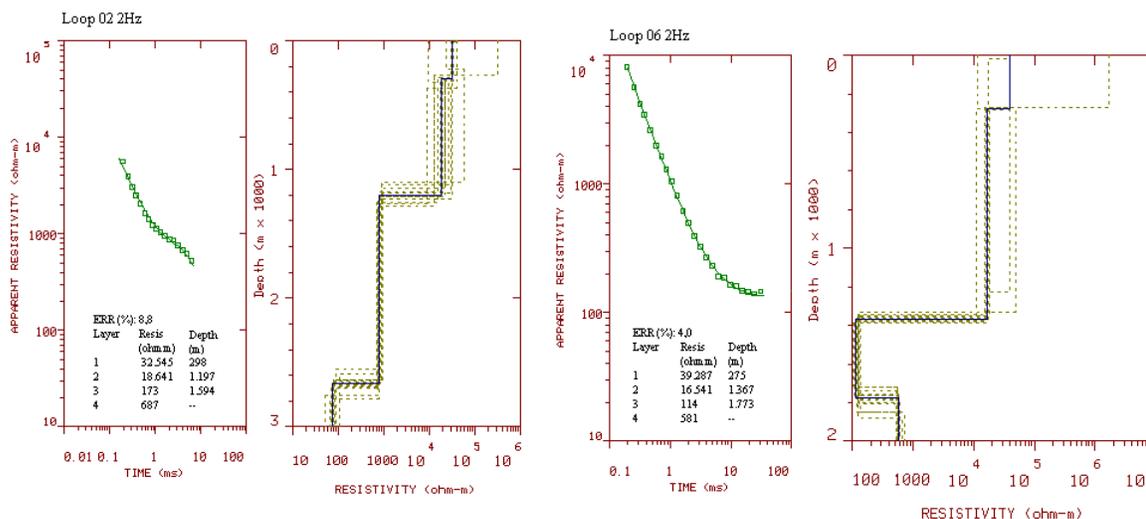


Figura 6.15 - Curvas interpretadas e modelos dos loops 02 e 06, Formosa do rio Preto (BA).

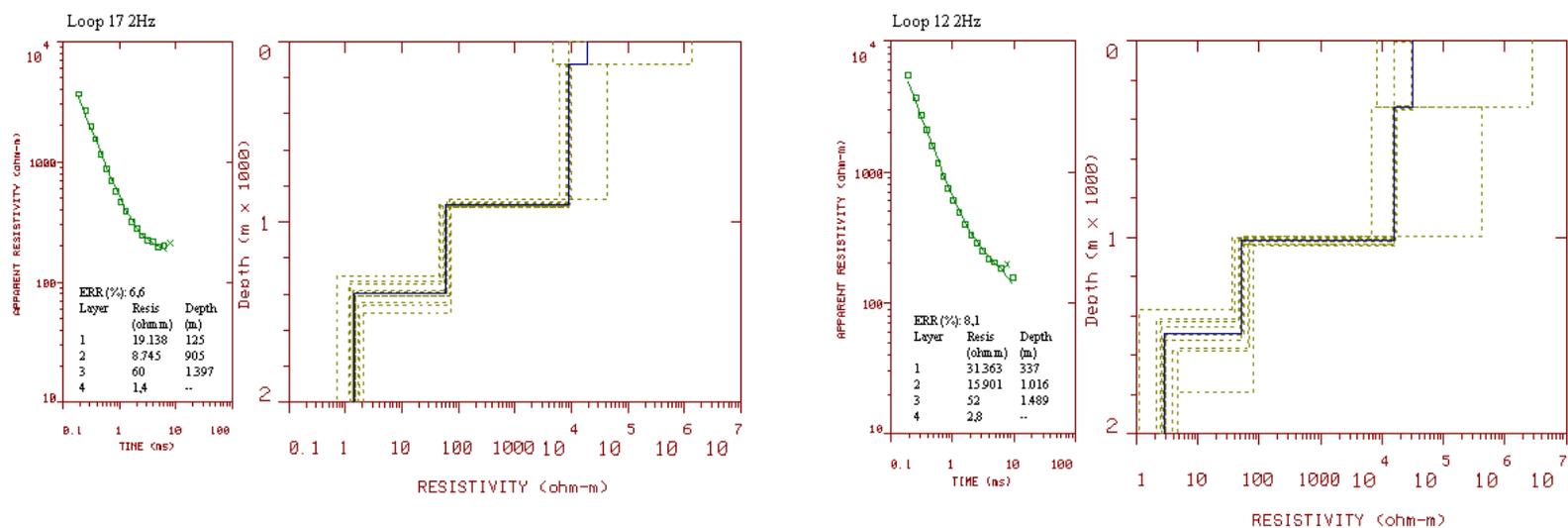


Figura 6.16- Curvas interpretadas e modelos dos loops 12 e 17, município de São Desidério (BA), parte central da área.

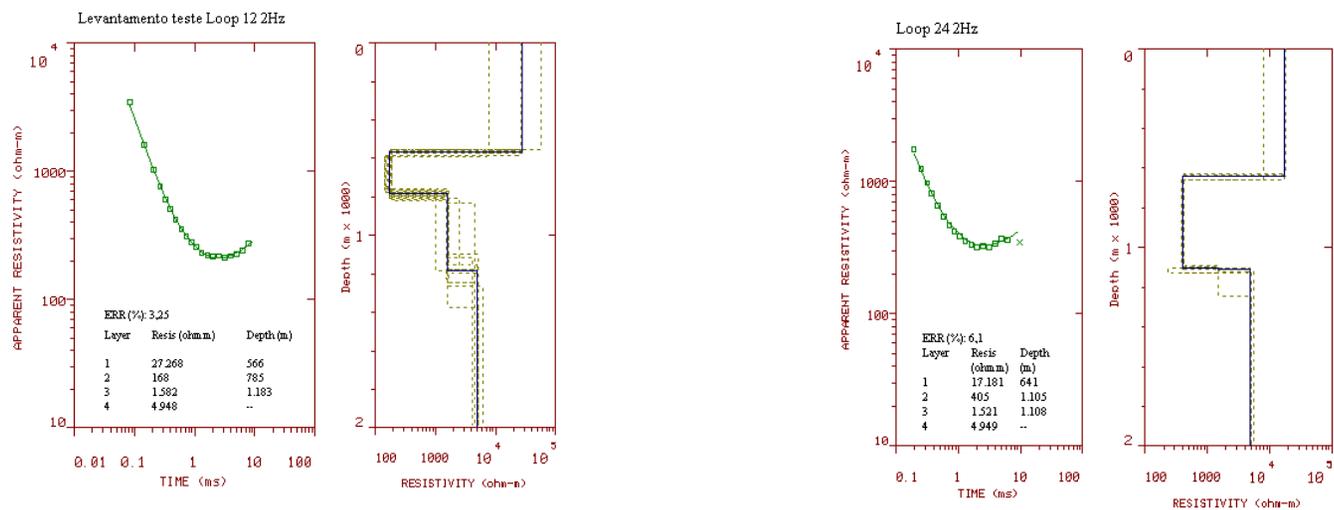


Figura 6.17 - Curvas interpretadas e modelos dos loops 12 (teste) e 24, município de Jaborandi (BA), parte sul da área.

O mapa de isópacas da figura 6.18 apresenta isolinhas de espessuras das rochas do Grupo Urucuia na sub-bacia Urucuia, com espaçamento de 50 metros. O mapa foi confeccionado a partir das informações do levantamento geofísico deste trabalho e de informações do levantamento de Amorin Jr. (2003), utilizando-se do método IDW (*Inverse Distance Weighted*), o qual assume que cada ponto tem uma influência local, que diminui com a distância.

O referido mapa exhibe espessuras menores na parte leste da bacia, de cerca de 50 a 100 metros; valores estes atestados nos perfis dos poços tubulares perfurados pela CERB nessa região. As espessuras maiores das rochas estão na parte oeste da sub-bacia, com valores acima de 450 metros.

Na parte sul do mapa a bacia apresenta um depocentro, onde as espessuras atingem mais de 600 metros, sendo estes valores também atestados por estudos de sísmica de refração na região. As limitações do mapa notadas principalmente na parte norte da sub-bacia Urucuia deve-se à ausência de informações das espessuras dessas rochas nessa área.

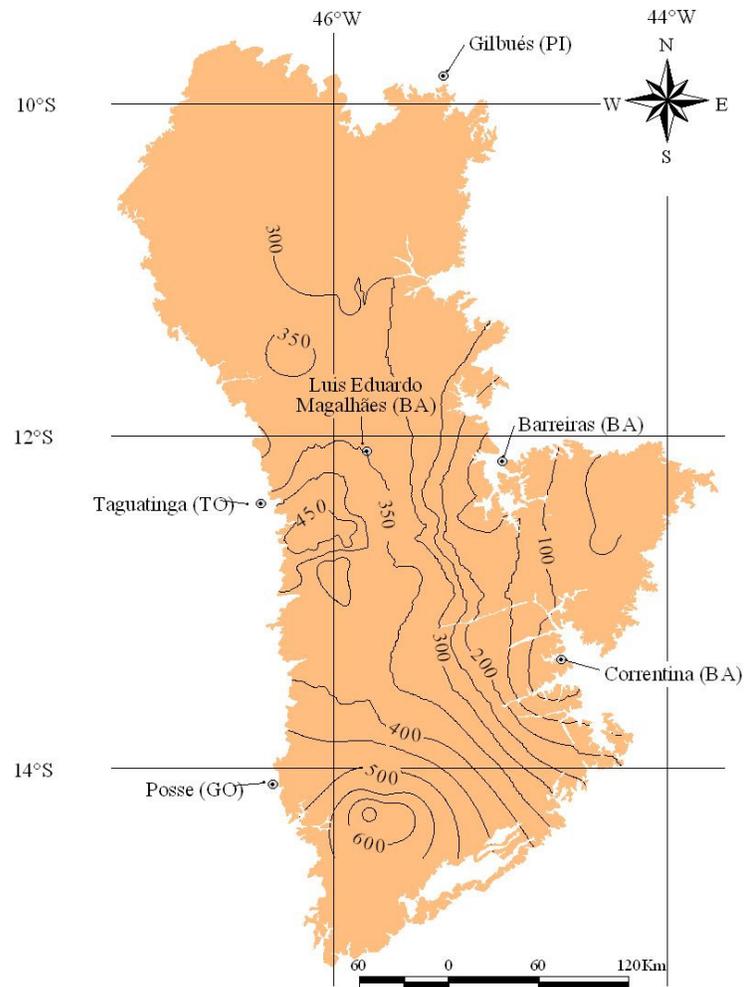


Figura 6.18 - Mapa de isópacas das rochas do Grupo Urucuia, na sub-bacia Urucuia, parte norte da Bacia Sanfranciscana.

Dois perfis geoeletricos de direcao EW e NNW-SSE sao apresentados na figura 6.19, onde ha a integracao dos resultados de *loops* adjacentes e alinhados, com as correlacoes com as unidades geologicas da regio. A espessura das rochas do Grupo Urucuia varia da ordem de 100 a 600 metros. Observa-se no perfil de direcao EW uma diminuicao progressiva da espessura das rochas de oeste para leste, acompanhado tambem neste sentido da diminuicao das resistividades obtidas. As resistividades das rochas do embasamento nesse perfil sao tipicas de natureza granito-gnaissica.

No perfil de direcao NNW-SSE tem-se uma secao com disposicao das espessuras dos arenitos do Grupo Urucuia e as respectivas unidades de embasamento. Esse perfil exhibe um depocentro na parte sul da bacia, onde os arenitos atingem cerca de 600 metros, valores atestados por estudos de sismica de refracao realizados naquela regio (Soares *et al.* 2006 inf. verbal).

No que tange as resistividades do embasamento da bacia, houve nos resultados deste levantamento a predominancia de resistividades tipicas de rochas graniticas. Embora haja evidencias da presenca de rochas do Grupo Bambui na bacia, pelos resultados alcançados por Amorim Jr (2003), pelo mapeamento geologico e pela presenca de pozos de abastecimento perfurados em rochas calcareas; algumas razoes podem explicar a ausencia e/ou inobservancia de resistividades tipicas dessas rochas.

E provavel que em alguns locais da bacia a espessura dessas rochas seja pequena ou ate mesmo que estejam ausentes em alguns trechos da bacia. Na regio compreendida entre as cidades de São Domingos (GO) e Correntina (BA), nota-se no mapeamento geologico que as rochas do Grupo Urucuia estao em parte em contato direto com o embasamento cristalino, o que poderia indicar ate mesmo a ausencia das rochas do Grupo Bambui na regio central da bacia. Nessa mesma area tem-se no cadastro de pozos da CERB alguns pozos situados proximos aos *loops* 17 e 18 que explotam agua diretamente das rochas cristalinas, e na regio de Correntina pozos que apresentam em seus perfis litologicos rochas calcareas sobrejacentes a rochas do embasamento cristalino. Essas evidencias podem indicar a espessura reduzida das rochas Grupo Bambui em algumas areas ou ate mesmo a ausencia destas na parte central da bacia.

Embora Amorim Jr. & Lima (2003) tenham apresentado como substrato da bacia as rochas do Grupo Bambui e sabido que o levantamento nao investigou a espessura dessas rochas. Em Amorim Jr. (2003) constata-se que nas sondagens entre as cidades de Barreiras e São Desiderio e proximo a Taguatinga as resistividades obtidas de cerca de 1.700 e 1.900 $\Omega\cdot m$ para o substrato sao tipicas do embasamento granitico. Nessa regio o mapeamento geologico aponta ocorrencia das rochas do Grupo Bambui, mas pode-se pensar na possibilidade desta ocorrencia ter espessuras pequenas.

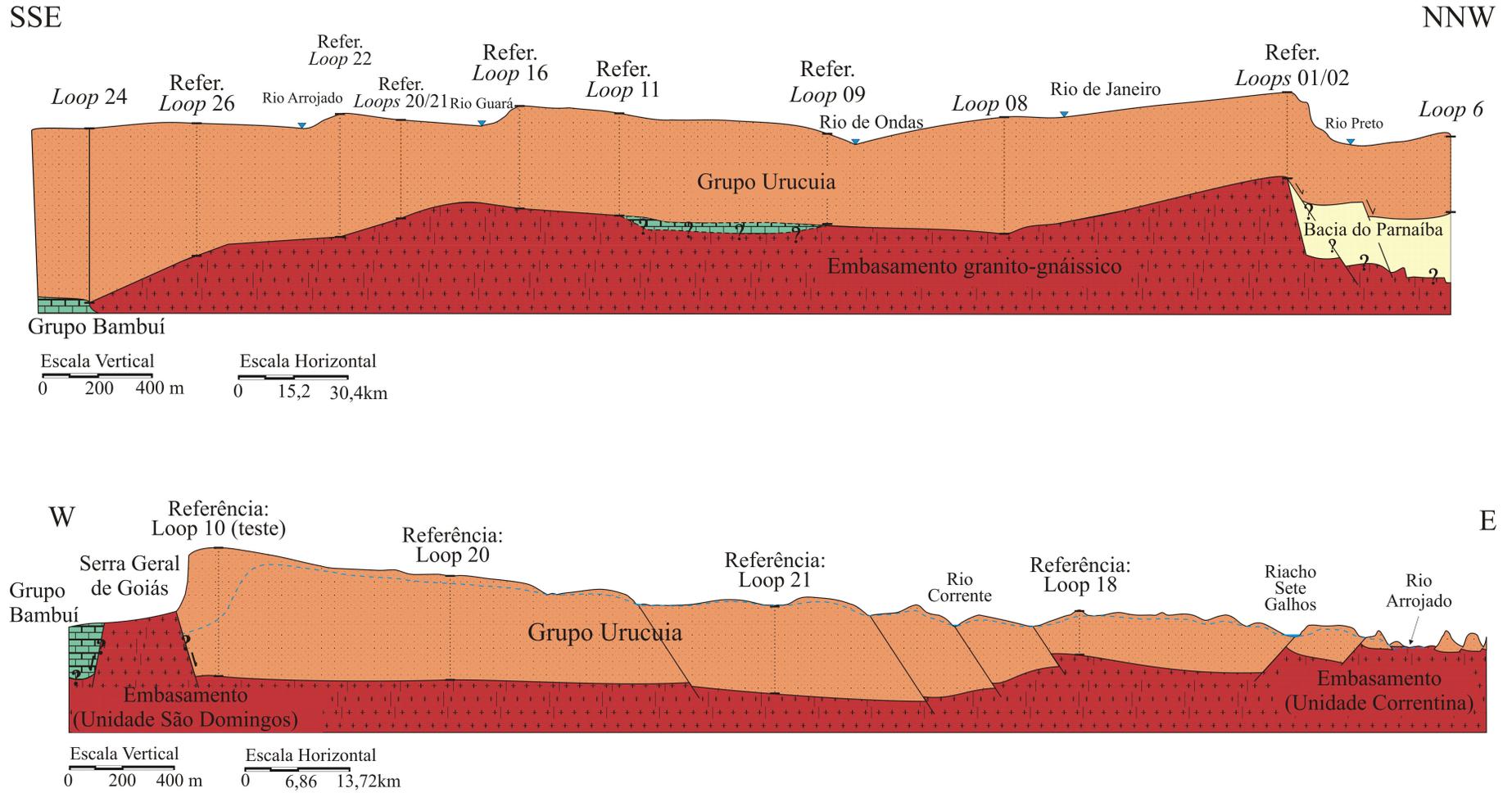


Figura 6.19 – Perfis geológicos integrados pelos resultados da investigação geofísica.

É provável também que o presente estudo não tenha detectado pequenas espessuras de rochas do embasamento atribuídas ao Grupo Bambuí, uma vez que as configurações utilizadas (tamanho do *loop*, frequência, etc.) não foram eficientes para tal objetivo. Fitterman & Stewart (1986) citaram a necessidade de uma espessura mínima das camadas de acordo com a profundidade investigada, para assegurar a sua detecção. De qualquer forma no perfil NNW-SSE inferiu-se a presença de rochas do Grupo Bambuí na bacia do rio das Fêmeas, uma vez que foi detectada por outros autores.

Na investigação realizada nesta pesquisa não foi possível mapear a profundidade do nível d'água no SAU, provavelmente devido ao baixo contraste resistivo entre o meio aquífero e a água doce armazenada nas rochas, que apresenta baixos valores de condutividade elétrica, ou seja, poucos íons dissolvidos. Algumas medidas de condutividade elétrica da água de poços apontaram valores de 7 $\mu\text{S/cm}$. Aquino et al. (2002) obtiveram um valor médio de 6,73 $\mu\text{S/cm}$ para a condutividade elétrica medida em poços na sub-bacia do rio do cachorro, ao norte da cidade de Luis Eduardo Magalhães.

Do mesmo modo, com os estudos geofísicos não foi possível mapear a presença de aquíferos, representado no pacote rochoso principalmente por níveis de arenitos silicificados, fato atribuído à inexistência de contraste resistivo, ou ainda devido às restritas espessuras desses níveis.

CAPÍTULO VII

CONSIDERAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

7.1 ASPECTOS GERAIS DE USO E OCUPAÇÃO

A região do oeste baiano teve sua colonização relacionada diretamente com a agricultura. Esse processo foi lento até o final dos anos 50, quando a região contava com apenas 11 municípios, uma população de 273.126 habitantes e densidade demográfica de 1,8 hab/km². Segundo os dados do Censo 2000 do IBGE, a população de cerca de 822.806 habitantes e uma densidade demográfica de 4,84 hab/km² estão distribuídas em 39 municípios.

A agricultura, principal atividade de impulso ao crescimento e desenvolvimento dessa região, configura-se por meio de culturas irrigadas e de sequeiro, entre elas a soja, o milho, o algodão, o café, o feijão, o arroz, o capim para semente, frutas, reflorestamento de eucaliptos e pinheiros. A produção de grãos, atividade que utiliza a maior extensão de área cultivada já atinge hoje mais de 3,8 milhões de toneladas/ano, segundo estimativas da Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia (AIBA) para a safra 2005/06.

A região do oeste baiano, segundo a AIBA (2006), conta atualmente com mais de 1,5 milhão de hectares de terras em produção, tendo a soja como cultura detentora da maior área plantada (870.000 ha), seguida do algodão com mais de 21.000 ha de área plantado.

As transformações no meio físico da região foram avaliadas pela EMBRAPA, que constatou um amplo crescimento relativo nos usos da terra. O crescimento no uso da classe agropecuária moderna e áreas irrigadas foi de 154% e 526%, respectivamente, no período de 1985 a 2000. Em contrapartida, os processos de erradicação e degradação das formações vegetais naturais também são relevantes, destacando-se a conversão de 881 mil ha de cerrado em uso agropecuário, o que representa um decréscimo de 21% da sua área total na região no intervalo de 15 anos.

Em sua totalidade, as áreas de cobertura vegetal nativa* somavam cerca de 9,2 milhões ha em 1985, caindo para 7,8 milhões ha em 2000, um decréscimo de aproximadamente 12,6% (Figura 7.1) (EMBRAPA 2003).

* As áreas de cobertura vegetal nativa, segundo EMBRAPA (2003) são representadas pelas classes Floresta Estacional, Vegetação Ciliar, Cerrado, Campo Cerrado, Transição Caatinga-Floresta Estacional-Cerrado e Transição Caatinga-Floresta Estacional-Cerrado-Campos Úmidos.

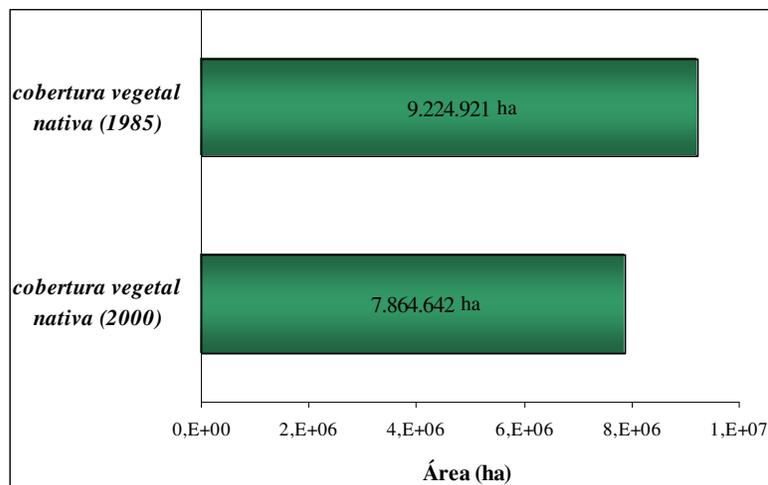


Figura 7.1 – Gráfico de representação da área total de cobertura nativa na região do oeste da Bahia, nos anos de 1985 e 2000. Fonte EMBRAPA (2003).

Esse cenário de ocupação é visivelmente identificado na região, onde amplas áreas de cultura predominam sobre a cobertura de cerrado (Figura 7.2a). Outra aparência comum na região é a presença de pivôs de irrigação, que ocupam individualmente, em média pouco mais de 1 Km² de área (Figura 7.2b), os quais por vezes utilizam água bombeada diretamente dos rios ou água subterrânea, explotada do SAU por meio de poços tubulares profundos para a irrigação de culturas na época da seca ou em períodos de veranicos durante a estação chuvosa.

A agricultura irrigada apresenta vantagens na região, haja vista a presença de rios perenes associados às excelentes condições de circulação dos aquíferos, que oferecem suporte aos projetos de irrigação. As características dos projetos de irrigação na região consistem na utilização de águas superficiais ao longo das drenagens, por meio do bombeamento direto dos rios; enquanto que nas áreas de cultivo mais distantes ou naquelas onde já se esgotou o volume máximo outorgável de água superficial na bacia, utilizam a água subterrânea. Ambas são utilizadas em sistemas de irrigação na forma de pivô-central, aspersão e micro-aspersão, no cultivo de café, arroz, frutas, entre outros.

A prática da irrigação se constitui no maior usuário de águas do País (Telles 2002) e na região do oeste baiano o contexto de uso da água não é diferente. As sedes das regiões administrativas de água em Barreiras e Santa Maria da Vitória registravam até maio de 2006 uma soma de 326.033,39 m³/h de vazão outorgada para os mananciais superficiais e subterrâneos. Na figura 7.3 constata-se o crescente número de outorgas concedidas pela SRH-BA na região do oeste da Bahia, nos últimos anos, com destaque para a predominância das águas superficiais (mais de 90% do total).



(a)



(b)

Figura 7.2 – Vista aérea de uma típica lavroua de sequeiro (a) e pivôs de irrigação (b) na região do oeste baiano. Fonte: Fotografia tomada por satélite ou avião, Google Earth®.

Embora as concessões de outorgas de águas subterrâneas ainda representem a menor parte do montante outorgado, entre 2003 e 2006, houve um aumento de 125% de outorgas de águas subterrâneas, contra 76% das águas superficiais. Esse montante representa uma evolução de vazão de águas subterrâneas outorgada de cerca de 4.500 m³/h em 2003 para 14.340 m³/h no ano de 2006 (Figura 7.4).

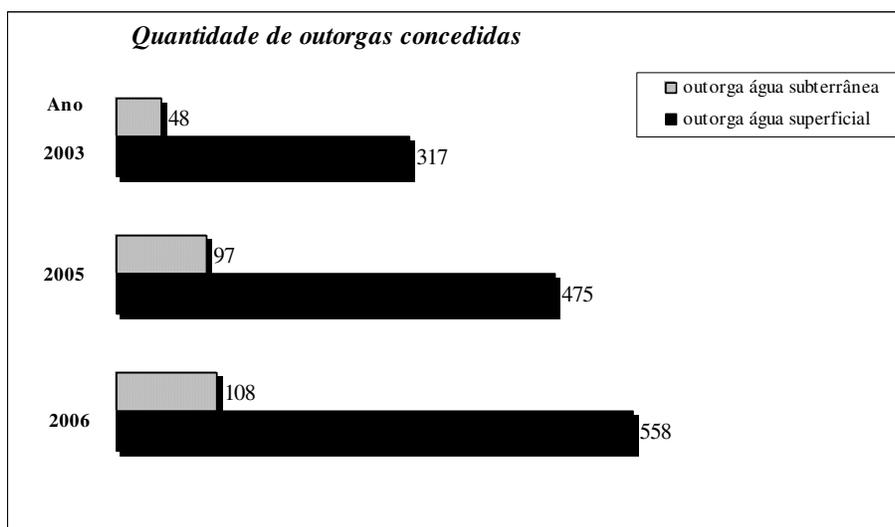


Figura 7.3 – Gráfico representativo da quantidade de outorgas de águas concedidas pela SRH-BA, na região do oeste da Bahia, nos anos de 2003, 2005 e 2006. Fonte: SRH-BA (2006)

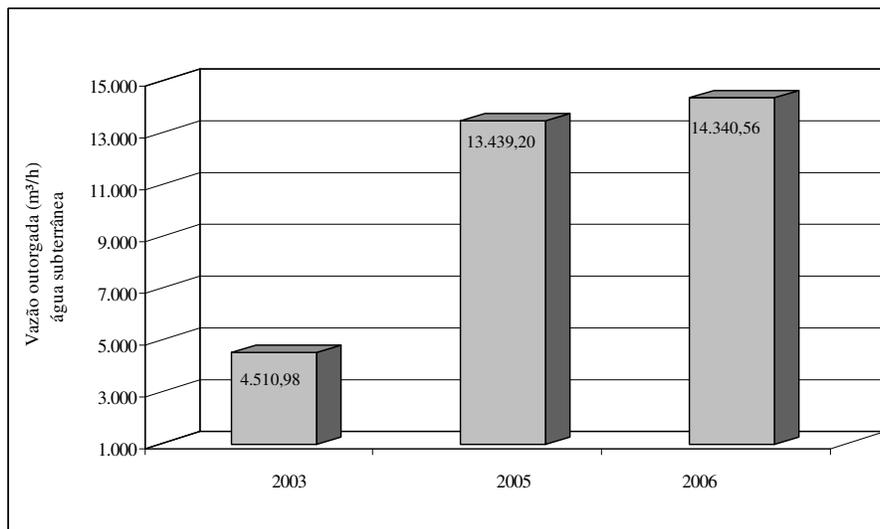


Figura 7.4 – Gráfico representativo do aumento da vazão outorgada pela SRH-BA, referente à água subterrânea, na região do oeste da Bahia, nos anos de 2003, 2005 e 2006. Fonte: SRH-BA (2006)

Segundo dados recentes da SRH-BA, existem apenas cerca de 300 poços com vazões outorgadas que exploram água subterrânea diretamente do SAU. Desse universo o maior volume outorgado (93%) refere-se ao uso destinado para irrigação (Figura 7.5). O município de Luís Eduardo Magalhães detém a maior vazão outorgada para este uso (5.079 m³/h), seguido de São Desidério (3.394 m³/h), Barreiras (2.311 m³/h), Correntina (2.139 m³/h), Jaborandi (337 m³/h) e Catolândia (36 m³/h).

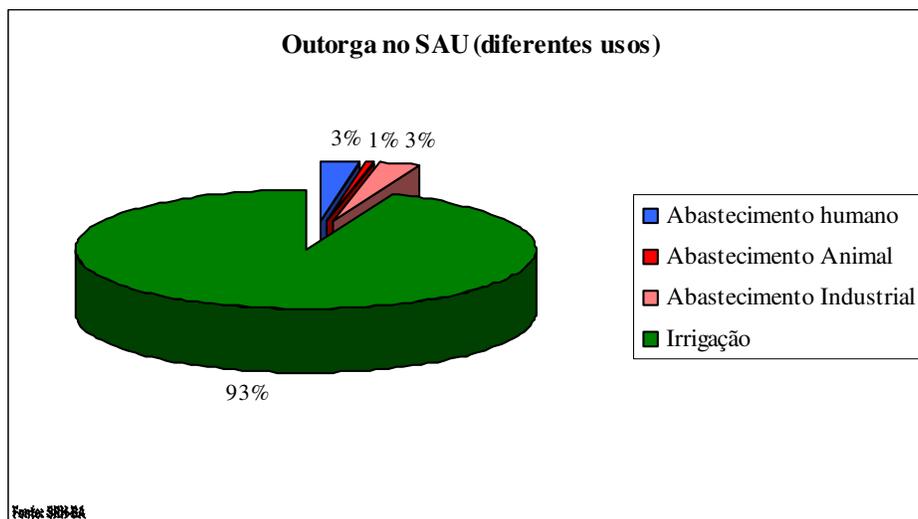


Figura 7.5 – Representação percentual de outorgas de águas subterrâneas no SAU, destinados a diferentes usos. Fonte: SRH-BA, junho de 2006.

Embora o sistema de outorga de água no estado da Bahia esteja bem desenvolvido, ainda existem muitos poços na região sem outorga, especialmente aqueles destinados a exploração de água subterrânea para uso doméstico e para aplicação de agrotóxicos nas lavouras. A soma do consumo de água explorada desses poços em toda a região, no entanto, não deve ser considerada desprezível, haja vista sua ativa exploração durante o ciclo de crescimento da soja e outras culturas nas lavouras da região.

Segundo informações dos produtores da região utilizam cerca de 500 litros de água por hectare durante o ciclo de crescimento da soja e 1.500 litros por hectare para a cultura de algodão, apenas para o procedimento de pulverização de agrotóxicos. A estimativa de consumo de água apenas para este procedimento, considerando a área plantada de 870.000 ha de soja e 211.181 ha de algodão, segundo registro da AIBA (2006), o volume total consumido durante a safra 2005/06 foi de cerca de $7,5 \cdot 10^8$ litros (ou $7,5 \cdot 10^5$ m³), somente para essas duas culturas.

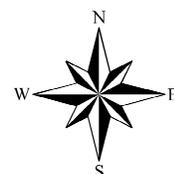
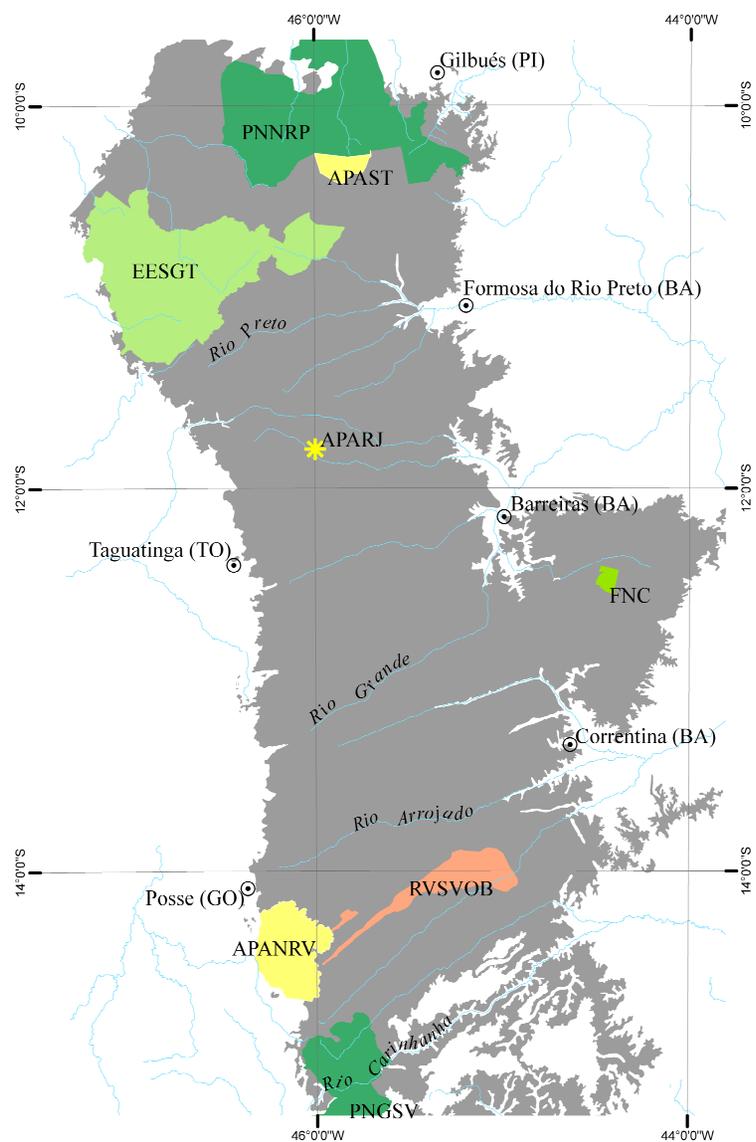
Soma-se a esta estimativa de consumo aquele também relacionado às culturas de milho, sorgo e de café e frutas irrigados; assim como a água utilizada no consumo doméstico das sedes das fazendas, que não foi estimada neste trabalho.

Com este quadro geral de uso e ocupação, a preocupação no desenvolvimento dessa região está no uso intensivo da terra, na grande demanda de água, pela importância que o SAU representa nas vazões de base dos rios que alimentam o médio São Francisco e, principalmente da visível falta de cumprimento da legislação ambiental no que se refere à preservação das reservas legais. Na região deveria ser reservado 20% da área de cada propriedade, segundo determinação da lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal), entretanto, poucas propriedades mantêm esse percentual de área para destinação à preservação dos ecossistemas naturais, segundo informações do IBAMA.

As áreas protegidas pelo Poder Público (Federal e Estaduais) e particulares, integrantes do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC- Lei nº 9.985/2000) representam importantes iniciativas para garantir um registro do bioma Cerrado na região do oeste da Bahia e adjacências (Figura 7.6). Entretanto, muitas delas foram criadas e/ou implantadas após a fase principal de ocupação da região. As Unidades de Conservação existentes na área ou situadas nas regiões limítrofes estão relacionadas na tabela 7.1.

Tabela 7.1 – Relação das Unidades de Conservação existentes na região do oeste baiano.

UNIDADE DE CONSERVAÇÃO (CATEGORIA)	NOME DA UNIDADE	ÁREA (HA)	OBSERVAÇÕES
Proteção Integral	Parque Nacional Grande Sertão Veredas.	231.668	
	Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.	733.162	
	Parque Estadual do Jalapão (TO).	158.885	
	Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins.	715.448	
	Refúgio de Vida Silvestre das Veredas do Oeste Baiano.	128.521	Parte dos vales dos rios Pratudinho e Pratudão (afluentes do rio Formoso).
Uso Sustentável	Área de Proteção Ambiental das Nascentes do Rio Vermelho.	176.159	
	Área de Proteção Ambiental Serra da Tabatinga.	35.327	
	Área de Proteção Ambiental da Bacia do Rio de Janeiro.	351.300	
	Floresta Nacional de Cristópolis.	12.839	
	Reserva Particular do Patrimônio Natural Lagoa do Formoso.	502	Fazenda Sertão Formoso Município: Cocos.
	Reserva Particular do Patrimônio Natural Guará I e II.	663	Município: Cocos.
	Reserva Particular do Patrimônio Natural Guará.	1.050	Fazenda Jurutu do Formoso Município: Cocos.
	Reserva Particular do Patrimônio Natural São Francisco da Trijunção.	162	Fazenda Trijunção Município: Cocos.



LEGENDA

Informações Gerais

- ⊙ Sedes municipais
- Lagos, represas e lagoas
- Hidrografia

Geologia

- Grupo Urucua

Unidades de Conservação

Uso Sustentável

- A.P.A. Nascentes do Rio Vermelho (APANRV)
- A.P.A. da Serra de Tabatinga (APAST)
- F.N. de Cristópolis (FNC)
- A.P.A. do Rio de Janeiro (APARJ)

Proteção Integral

- E.E. Serra Geral do Tocantins (EESGT)
- P.N. das Nascentes do Rio Parnaíba (PNNRP)
- R.V.S. das Veredas do Oeste Baiano (RVSVOB)
- P.N. Grande Sertão Veredas (PNGSV)

Figura 7.6 - Mapa de localização das unidades de conservação na região do oeste baiano.

A preservação das reservas legais das propriedades rurais da região seria um dos passos para a garantia mínima de sustentabilidade da relação demanda x disponibilidade de água para aquela região, uma vez que a melhor eficiência da infiltração da água nos solos se dá nas áreas de Cerrado, conforme resultados obtidos dos ensaios de infiltração.

A garantia da infiltração deve refletir na manutenção do processo de recarga do Sistema Aquífero Urucuia em seus diversos ambientes hidrogeológicos, e conseqüentemente, na continuidade, em longo prazo, do exercício das funções básicas de produção, regulação e filtro dos aquíferos dentro do sistema e ecossistemas interligados, como os afluentes dos rios Tocantins e São Francisco.

Apesar do quadro regional preocupante, diante dos resultados da caracterização do sistema e reservas hídricas é possível enxergar ações que poderiam vir a melhorar o sistema de gestão de recursos hídricos da região. A seguir apresentar-se-á uma avaliação preliminar das reservas hídricas subterrâneas do SAU, seguida de propostas de ações, de âmbito regional, com vistas à melhoria das políticas públicas em implementação na região.

7.2 RESERVAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS

O cálculo das reservas hídricas para o SAU neste trabalho pretende propor uma estimativa preliminar do volume de água armazenado nessas rochas, com vistas a avaliar a potencialidade desse sistema e auxiliar em seu processo de gestão. Portanto, os parâmetros como área do sistema (A), área de confinamento (A_c), oscilação anual do nível estático (Δh), porosidade efetiva (η_e), espessura saturada do aquífero (b), carga hidráulica média (h) e coeficiente de armazenamento (S) utilizados no cálculo das reservas são valores médios, obtidos de cadastros da CERB, estudos da SRH-BA, resultados de projetos de consultorias, de informações obtidas nos cadastros de campo, estudos geofísicos e interpretações deste trabalho.

Os critérios de estimativa da área do SAU para efeito dos cálculos das reservas hídricas são: exclusão de áreas descontínuas de afloramento do Grupo Urucuia, na forma de morros isolados que ocorrem ao longo de toda a borda oeste e leste do chapadão central; exclusão das áreas de ocorrência do Grupo Urucuia ao sul do rio Carinhanha e na região das sedes dos municípios de São Desidério e Baianópolis, uma vez que a espessura dessa unidade nessas regiões é restrita, com predomínio do aquífero cárstico representado pelas rochas carbonáticas do Grupo Bambuí.

A poligonal considerada para os cálculos das reservas inclui, portanto, a área efetiva delimitada para o sistema aquífero, conforme mapa apresentado na figura 4.11, o que totaliza

cerca de $76 \cdot 10^9 \text{ m}^2$. A área de confinamento utilizada para o cálculo do volume armazenado sob pressão na parte em que o sistema apresenta-se como aquífero confinado foi de $11,33 \cdot 10^9 \text{ m}^2$, e a área utilizada para o cálculo da reserva permanente nos subtipos aquífero livre profundo e regional totalizam $6,46 \cdot 10^{10} \text{ m}^2$, conforme delimitação apresentada no mapa da figura 4.15.

A espessura saturada considerada foi obtida pelo cálculo do valor médio de todas as informações geofísicas obtidas neste trabalho, por meio da investigação de 27 pontos ao longo de toda a extensão da área, apresentadas no capítulo seis; além de informações dos estudos geofísicos de Amorin Jr (2003) e Amorin Jr & Lima (2003), que obtiveram espessuras das rochas do Grupo Urucua e profundidade dos níveis estáticos na bacia do rio das Fêmeas. A essas informações acrescentou-se aquelas referentes aos poços cadastrados na região, carga hidráulica média, coeficiente de armazenamento médio, obtido da interpretação de ensaios de bombeamento. A porosidade efetiva média de 15% foi adotada por analogia com sedimentos eólicos similares (Araujo *et al.* 1995).

As **reservas permanentes** de água (R_p) representam o volume armazenado abaixo do nível mínimo de água, medido no período de estiagem e depende, portanto, do tipo de aquífero analisado. Considera-se neste trabalho para efeito de cálculo da reserva permanente total do SAU (R_p) como a soma das reservas dos subtipos aquífero livre profundo e livre regional (R_{PL}), somado ao subtipo aquífero confinado ou semiconfinado (R_{PC}).

Os cálculos das reservas permanentes do aquífero livre profundo ($R_{livre\ profundo}$), livre regional ($R_{livre\ regional}$) e subtipo aquífero confinado ($R_{P\ confinado}$) estão apresentados a seguir:

$$R_{PL} = R_{livre\ profundo} + R_{livre\ regional}$$

$$R_{P\ confinado} = A_C \cdot h \cdot S$$

$$R_{PL} = A_{prof} \cdot b_{prof} \cdot \eta_e + A_{reg} \cdot b_{reg} \cdot \eta_e$$

$$R_{P\ confinado} = A_C \cdot h \cdot S$$

$$R_{PL} = 8,60 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot 260\text{m} \cdot 0,15 + 67,34 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot 340\text{m} \cdot 0,15$$

$$R_{P\ confinado} = 11,3 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot 7\text{m} \cdot 10^{-4}$$

$$R_{PL} = 3,769 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$$

$$R_{P\ confinado} = 7,93 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

No cálculo do volume armazenado do aquífero livre regional ($R_{livre\ regional}$) incluiu-se também a área referente à parcela confinada do sistema. A reserva permanente do SAU totaliza cerca de **$3,77 \cdot 10^{12} \text{ m}^3$** ou mais de três trilhões de metros cúbicos.

No cálculo das **reservas reguladoras** (R_r) do SAU, por sua vez, utilizou-se a área efetiva total do sistema (A), a porosidade efetiva (η_e) de 15% e uma oscilação média (Δh) de 2,7 metros, obtidas de um monitoramento anual em 2003 da SRH-BA em alguns poços da região.

$$Rr = A \cdot \eta_e \cdot \Delta h \Rightarrow Rr = 76 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot 0,15 \cdot 2,7 \text{ m}$$

A reserva reguladora do SAU totaliza **30,78·10⁹ m³/ano** considerando a oscilação média medida no ano de 2003.

As **reservas de exploração ou explotáveis** (R_{exp}), por sua vez, constituem a quantidade máxima de água que poderia ser explorada de um aquífero, sem riscos de prejuízos ao manancial, e são constituídas pelas reservas reguladoras e uma parcela da reserva permanente (Costa 2000). Representa, portanto, o volume total de água que pode ser explorado do aquífero, considerando a garantia da sustentabilidade do sistema. A escola americana denomina de *safe yield*.

Entretanto, no cálculo desse montante concorrem vários fatores que dependem do conhecimento técnico do aquífero, e por isso há uma grande discussão no meio técnico referente ao valor do porcentual da reserva permanente que deve ser considerado nesse cálculo ou até mesmo se a reserva reguladora poderia ser considerada integralmente na composição nesse cálculo, o que pode ser considerada uma discussão em andamento e um conceito ainda subjetivo no meio científico. Costa (2000) apontou que um dos aspectos mais controvertidos da hidrogeologia é o da conceituação e avaliação das reservas explotáveis; também apontado por Fetter (1994) como um conceito paradoxo.

Dentre os fatores que devem ser considerados para o estabelecimento do porcentual devem ser considerados: conhecimento dos atributos do aquífero e conhecimento do modelo conceitual do aquífero, principalmente no que se refere ao regime de recarga, importância do aquífero na regularização dos rios e condições gerais de circulação hídrica. Kendy (2003) apontou ainda que a gestão hídrica sustentável depende da acurácia dos dados de consumo de água, da perda de água por evaporação e transpiração ou por outro lado do volume que não retornou de alguma forma ao sistema.

Esse estudo considera que toda a reserva reguladora deve fazer parte da disponibilidade, uma vez que em sua estimativa já é levada em conta a descarga de base para alimentação da rede de drenagem superficial. O valor medido do Δh já inclui a descarga de base.

Por outro lado esse trabalho considera que uma parte da reserva permanente possa também compor os valores da disponibilidade, uma vez que com o regime de exploração há o rebaixamento dos níveis que causa a possibilidade de recarga adicional (infiltração induzida), em longo prazo, pelo estabelecimento de um novo equilíbrio no sistema.

Portanto, considerando que o sistema aquífero em questão tem excelentes parâmetros de potencialidade, mas tem sua área de recarga comprometida pela retirada considerável da

vegetação nativa, e ainda que exerce uma importante função na regularização dos rios, adota-se neste trabalho um percentual de 10% da reserva permanente.

É sabido, entretanto, que esse percentual adotado é um valor subjetivo, que deve ser discutido entre os pesquisadores que atuam na região e no meio científico hidrogeológico e deve ser revisto a medida que os conhecimentos sobre o sistema aquífero avançarem e com o avanço também da adoção de medidas mais efetivas para a gestão dos recursos hídricos na região, como a concessão de outorga e cobrança pelo uso da água, além da exigência da preservação das reservas legais nas propriedades rurais.

A reserva explorável do SAU seria de $4,0778 \cdot 10^{11} m^3$, levando-se em consideração o seguinte cálculo:

$$R_{e\ xp} = Rr + \% \cdot Rp$$

$$R_{e\ xp} = 30,78 \cdot 10^9 m^3 + 0,10 \cdot 3,77 \cdot 10^{12} m^3$$

$$R_{e\ xp} = 4,0778 \cdot 10^{11} m^3$$

7.3 SUGESTÕES PARA INTERVENÇÕES E MONITORAMENTOS

As sugestões propostas a seguir partem de princípios básicos utilizados nas legislações federal e estadual do estado da Bahia, que remontam aos instrumentos das políticas nacional (lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997) e estadual de recursos hídricos (lei estadual 6.855 de 12 de maio de 1995), além de outras simples ações que poderiam contribuir para melhoria da gestão dos recursos hídricos na região.

Sugere-se que seja efetivamente implantada na região do oeste da Bahia, a outorga de direito de uso para as águas subterrâneas, independente da vazão outorgada. Nesse sentido seria obrigatória a solicitação de outorga para os poços que atendem tanto aos projetos de irrigação, como aqueles utilizados nas sedes das fazendas para abastecimento doméstico e pulverização das lavouras. Deve-se iniciar ainda o sistema de outorga com cobrança, pelo menos inicialmente, dos poços que exploram água para irrigação, uma vez que o volume utilizado é bem maior que aquele utilizado pelos demais poços. A instalação de hidrômetros nos poços seria a garantia de uma cobrança justa apenas do volume utilizado a cada mês ou safra.

Os instrumentos de outorga e cobrança já são previstos na Política Estadual de Recursos Hídricos da Bahia, sendo apenas uma questão de colocá-la em prática. Esses instrumentos das políticas estadual e federal, se eficientemente empregados, funcionam como excelentes ferramentas na obtenção de informações sobre mananciais com poucos dados disponíveis como é o caso do Sistema Aquífero Urucuia, assim como no disciplinamento do uso da água.

Sugere-se que, sempre que possível, no relatório de outorga dos poços utilizados em irrigação, fossem apresentadas medições dos níveis d'água durante o ensaio de bombeamento no poço bombeado e em um piezômetro próximo, o que garantiria a possibilidade de melhores interpretações sobre os parâmetros do aquífero.

A outorga dos poços menores, por sua vez, embora ainda não implantada, supriria pelo menos a princípio, a carência de informações básicas ao longo de toda a área do aquífero, no que se refere a informações como níveis estáticos, dinâmicos, vazão de bombeamento.

É provável que haja uma rejeição inicial por parte dos pequenos usuários e daqueles que utilizam água explorada dos poços menores. Todavia, poderia ser aplicada na região uma campanha educativa e de incentivo à regularização da exploração de água junto à SRH-BA, em parceria com empresas, escolas e associações de agricultores, onde seriam didaticamente apresentadas as condições de sustentabilidade do manancial para as atuais e futuras gerações em termos do uso da água em atividades econômicas e usos para as necessidades básicas.

Com enfoque apontado para os usuários de poços de menores vazões, e sobretudo aqueles nos quais as propriedades situam-se na área do subtipo aquífero livre profundo, onde os níveis estáticos são mais profundos, poderia ser incentivado o uso da água da chuva para a aspersão de agrotóxicos, haja vista que nessa região normalmente ocorrem as maiores alturas pluviométricas.

Esse procedimento seria implantado a partir da construção de reservatórios superficiais ou subterrâneos, que seriam preenchidos com água da chuva captada por meio de calhas instaladas nos telhados dos galpões das sedes. Esses tipos de galpões estão presentes em quase todas as propriedades, possuem uma grande área de cobertura para armazenamento de máquinas, instrumentos e grãos, e poderiam ser usados para a captação de água para usos menos exigentes.

Apresenta-se um exemplo dessa prática na Fazenda São Luis, situada à oeste do divisor de fluxo subterrâneo, com acesso aproximado após 4 Km da GO-463 (acesso à cidade de São Domingos) (Figura 7.7).

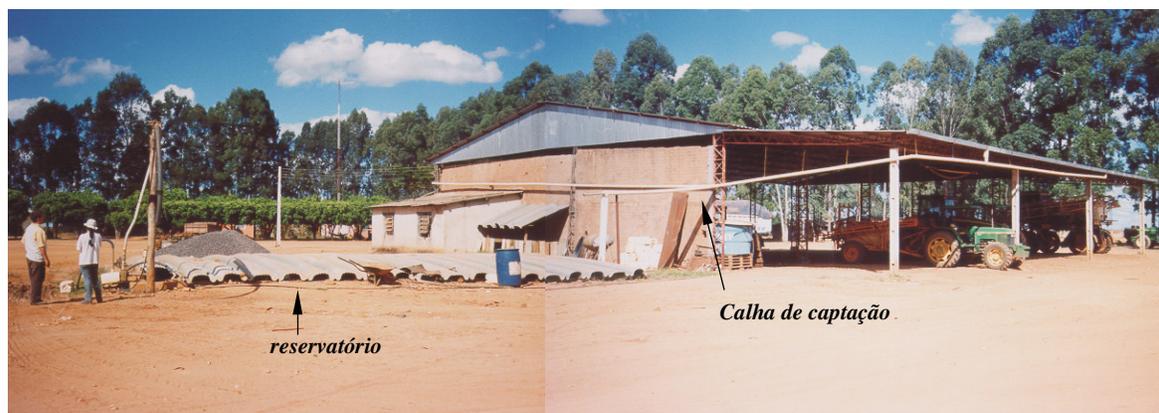


Figura 7.7 – Exemplo de sistema de captação e reservação de água da chuva para uso em aspersão de agrotóxico, Fazenda São Luiz.

Além dessas práticas básicas os órgãos de gestão de recursos hídricos e ambiental devem intensificar a fiscalização no que se refere a disposição das embalagens de agrotóxicos utilizados nas lavouras. Em diversas ocasiões de trabalhos de campo foi possível observar a disposição inadequada dessas embalagens no solo, sem impermeabilização. Os solos presentes na região, essencialmente arenosos facilitam a percolação dessas substâncias para o aquífero além daquele volume que já é aplicado nas lavouras. Exemplos desse descaso foram documentados em lavouras próximos à região da Vila Rosário (Figura 7.8).



Figura 7.8 – Disposição irregular em solo "nu" de embalagens de agrotóxicos, em lavoura de soja situada próximo à Vila Rosário, Correntina (BA).

Outra prática comum na região é o manuseio e armazenamento de óleo diesel utilizado nas máquinas, tratores e geradores de energia. Como a região é extensa e dispõe de poucos postos de abastecimento é comum o armazenamento nas sedes em reservatórios subterrâneos e recipientes dispostos em superfície. Sugere-se que o órgão fiscalizador atente para o correto armazenamento e manuseio desse tipo de combustível, com vistas a evitar possíveis derramamentos e/ou vazamentos nas áreas do aquífero.

No que se refere aos monitoramentos sugere-se a implantação de estações fluviométricas nos rios, e manutenção daquelas já existentes. O monitoramento dos níveis estáticos em alguns poços deve ser feito com vistas a obter um monitoramento em longo prazo, assim como da oscilação anual devido à sazonalidade. A implantação dos monitoramentos dos níveis deve ser prioritária nas regiões com maior densidade de poços que servem aos sistemas de irrigação e/ou naqueles casos em que os poços são instalados próximos de rios. Sempre que possível os sistemas de medição deveriam ser automáticos.

A manutenção de áreas naturais na forma de novas unidades de conservação seria fundamental não apenas para a preservação da biodiversidade, como também para a manutenção do equilíbrio dinâmico do sistema aquífero como um todo. Estima-se que uma área com maiores dimensões e com maior continuidade poderia ser definida ao longo de toda a porção central/leste da área do SAU. Essa área teria a função de corredor ecológico, na interface entre as paisagens típicas do cerrado e da caatinga, além de ser uma das poucas áreas de recarga do SAU que tem preservada a vegetação nativa. Em parte dessa área já se encontram instaladas reservas legais de algumas propriedades e RPPN, que poderiam ser contíguas às futuras unidades de conservação.

CAPÍTULO VIII

DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa mostraram que o Sistema Aquífero Urucuia (SAU) representa um manancial subterrâneo de dimensão regional, do tipo intergranular, constituído basicamente por arenitos eólicos do Grupo Urucuia, disposto na região do oeste da Bahia.

A zona vadosa do SAU é composta essencialmente por espessos latossolos de textura média a arenosa, que desempenham um importante papel nas condições de recarga do sistema. A avaliação nas condições de infiltração dos solos mostrou que os diversos usos a que os solos são submetidos refletem-se principalmente em mudanças nas suas propriedades físicas, especialmente na sua porção superficial.

A compactação é o principal fator observado e é resultante de diversas intervenções antrópicas referentes às principais atividades desenvolvidas na região (agricultura e pecuária) incluindo o preparo dos solos para o cultivo, retirada da vegetação natural, construção de vias de acesso e estradas não-pavimentadas entre as lavouras, tráfego de máquinas pesadas e formação de áreas de pastagem. Essa compactação é qualitativamente representada pelo aumento do volume de água escoada na superfície do terreno durante o período chuvoso, e foi constatada a partir de mudanças das condições de infiltração da água nos solos, materializadas pela redução dos valores de condutividade hidráulica vertical desses solos (notadamente nos primeiros centímetros da superfície até 30 cm).

As condições de infiltração são primordiais para a garantia da recarga do sistema aquífero subjacente. Observou-se que a maior parcela das áreas usadas para agricultura intensiva na região situa-se na área de recarga do sistema aquífero. Portanto, merecem atenção especial o manejo dos solos nessa região, sobretudo no que se refere à manutenção de áreas de reserva legal nas propriedades e o incentivo ao plantio direto.

O dados obtidos nesta pesquisa e outros estudos desenvolvidos na região permitiram identificar um eixo divisor de fluxo subterrâneo na parte oeste da área. Esse divisor de fluxo na borda ocidental do sistema dá-se devido à presença de um limite físico da unidade aquífera, ou seja, nessa região o Grupo Urucuia forma uma escarpa que compõe a Serra Geral de Goiás, com desnível médio de mais de 200 metros.

O declínio progressivo da espessura saturada na direção oeste foi constatado pelo aumento da profundidade do nível estático dos poços e pela presença das nascentes dos afluentes da bacia hidrográfica do rio Tocantins no pé da serra, o que indica uma alimentação dessa rede

de drenagem pelo SAU. Essa situação é provavelmente ocasionada pela ausência de camadas confinantes ou menos permeáveis que seriam responsáveis pela retenção da água a menores profundidades.

O local exato da posição desse eixo divisor de fluxo subterrâneo provavelmente é variável devido à flutuação sazonal do nível d'água. Sua posição deve representar um equilíbrio hidrodinâmico entre o sistema, os fatores climáticos, suas unidades limítrofes e as condições de fluxo regional.

Identificou-se no SAU quatro subtipos de aquíferos: aquífero livre regional, aquífero suspenso local, aquífero confinado ou semiconfinado e aquífero livre profundo. A delimitação espacial desses subtipos na região é preliminar e deve provavelmente ser refinada à medida que forem ampliadas as informações cadastrais de poços tubulares (níveis estáticos, perfis litológicos e perfis construtivos).

O subtipo aquífero confinado ou semiconfinado comporta-se como tal devido à presença de níveis silicificados que funcionam como aquitardes. Entretanto, entende-se que é necessário que esses níveis sejam relativamente extensos para funcionarem efetivamente como camadas confinantes ou semiconfinantes.

O aquífero suspenso local pode representar grande importância na manutenção de alguns corpos d'água na região, como lagoas naturais e campos úmidos. Sua importância também se remete à possibilidade de que nos locais de sua ocorrência seja possível o aproveitamento da água subterrânea por captações rasas, mesmo que apenas para suprimento doméstico.

A delimitação da área efetiva do SAU contou com um universo de poços cadastrados muito menor do que aquele realmente existente na região. Assim sendo, é certo que o adensamento de informações deve refinar a delimitação dessa área, sobretudo na região leste e norte do sistema.

Os parâmetros hidrodinâmicos obtidos neste trabalho igualmente são passíveis de otimização, à medida que forem disponibilizadas mais informações de ensaios de bombeamentos em um maior número de poços e com critérios mais exigentes. Nesse sentido, será fundamental a avaliação de resultados de ensaios de bombeamento com uso de poços de observação a distâncias variáveis dos poços de bombeamento.

O balanço hidrogeológico realizado na porção central da área de ocorrência do SAU apresentou resultados que apontam para uma dinâmica de fluxo eficiente do manancial subterrâneo. O balanço hidrogeológico tendo a zona vadosa como sistema mostrou que a recarga na zona saturada do SAU, naquela área para o período de 1982 a 2002, representa cerca de 24% da precipitação. Valores semelhantes foram obtidos por outros autores em outros locais dentro

do sistema.

A relação entre o sistema aquífero e a drenagens na região foi avaliada por meio da separação do fluxo de base do escoamento superficial nas estações fluviométricas da área selecionada. O fluxo de base nesse caso representou em média 90% do escoamento total registrado nas estações. Esse fato revela a eficiência da infiltração das águas das chuvas nos latossolos da região em detrimento ao escoamento superficial.

O sistema aquífero nessas circunstâncias representa maior importância na contribuição para a drenagem que propriamente para o armazenamento em longo prazo de água no sistema. Esse resultado também revela que o SAU é um sistema com condições favoráveis à circulação de água, onde a renovação deve ser rápida. Esse fato sugere que provavelmente as águas armazenadas no sistema sejam águas jovens.

No balanço hidrogeológico que avaliou a zona saturada do SAU como sistema do balanço obteve-se um déficit em uma sub-bacia para o volume que soma o armazenamento na zona saturada com a recarga para o embasamento, em relação à variável de entrada (recarga). Nessa área o sistema aquífero como o meio circundante apresenta um déficit de armazenamento, o que exerce maior importância da contribuição do SAU pra recarga de outros aquíferos e para o escoamento nos rios do que propriamente para o armazenamento de água no sistema.

A região em que houve déficit apresentou o maior volume de saída da variável fluxo de base, o que já se esperava, haja vista ter essa região as maiores espessuras e conseqüentemente maior volume de rochas passível de ser drenada a partir do sistema aquífero.

Os rios favorecidos por essa característica são os afluentes do rio São Francisco; daí a grande importância do SAU para esta bacia hidrográfica que é alvo de um dos projetos mais polêmicos na área dos recursos hídricos no Brasil na atualidade: o Projeto de Integração da bacia do rio São Francisco. O Ministério da Integração Nacional inclusive já recebeu da ANA a outorga de direito de uso dos recursos hídricos do rio São Francisco para a execução do referido projeto.

A reserva hídrica permanente do Sistema Aquífero Urucuia soma um volume de mais de três trilhões de metros cúbicos ($3,19 \cdot 10^{12}$ m³); a reserva reguladora totaliza $30,77 \times 10^9$ m³/ano, enquanto que a reserva explotável seria de $3,5 \cdot 10^{12}$ m³, considerando a soma da reserva reguladora e 10% do volume da reserva permanente. Esses valores mostram ser o SAU um reservatório promissor, comparável com outros sistemas regionais no Brasil.

O levantamento geofísico realizado na região permitiu constatar a presença de um depocentro no controle da sedimentação do Grupo Urucuia na porção sul da sub-bacia Urucuia da Bacia Sanfranciscana.

No aspecto de detalhamento dos resultados do levantamento geofísico não foi possível identificar a presença de barreiras hidráulicas, aquitardes e nem observar relações entre os subtipos dentro do sistema. Esse fato deveu-se provavelmente à ausência de contraste resistivo entre os arenitos e os níveis silicificados e/ou devido a espessuras restritas dos níveis silicificados. Provavelmente as configurações (tamanho do *loop*, frequência, corrente, etc) de aquisição de dados tenham sido desfavoráveis ao alcance desses objetivos.

A conclusão principal desta pesquisa é de que o Sistema Aquífero Urucua representa não apenas um simples aquífero, mas sim um sistema com subtipos inter-relacionados de dimensões regionais. Representa um manancial de fundamental importância na demanda de água para irrigação no oeste baiano, bem como exerce um papel essencial na manutenção das vazões dos afluentes da margem esquerda do rio São Francisco, os rios Corrente, Grande e Carinhonha. Deste modo, entende-se que essa região merece atenção especial dos órgãos gestores e usuários no que tange ao manejo da ocupação do solo na região, condições de exploração dos poços e manutenção ou recuperação das áreas de reservas legais, sobretudo na área principal de recarga do sistema.

Os principais atributos hidrodinâmicos e dimensionais do SAU são:

- condutividade hidráulica média de $1,3 \cdot 10^{-6}$ m/s para o aquífero em suas porções livres e de $2,8 \cdot 10^{-5}$ m/s para as áreas sob confinamento;
- transmissividade média de $4,0 \cdot 10^{-4}$ m²/s para as porções livres e de $1,17 \cdot 10^{-2}$ m²/s para as áreas sob confinamento;
- valores de espessuras totais variáveis de 100 a 600 metros.
- espessura saturada do sistema apresenta valores da ordem de 80 a 460 metros.
- porosidade eficaz média de 15%.

Diante da caracterização e conclusões enumeradas são apresentadas algumas sugestões de estudos futuros no âmbito do sistema, assim como ações no campo da gestão, de forma que este trabalho venha a contribuir na implantação das iniciativas de gerenciamento que visem ao uso sustentável do Sistema Aquífero Urucua em compatibilidade com as atividades econômicas desenvolvidas na região. A seguir as principais sugestões são apresentadas:

- Estudos sobre a datação das águas subterrâneas no Sistema Aquífero Urucua no âmbito dos subtipos aquíferos identificados;
- Avaliação da vulnerabilidade natural e risco à contaminação do sistema;
- Avaliação dos aspectos hidroquímicos das águas subterrâneas, com atenção voltada às atividades potencialmente contaminantes desenvolvidas na região, como a aplicação de agrotóxicos e manipulação e armazenamento de óleo diesel;

- Manutenção de piezômetros ao longo da área do sistema para observação da variação sazonal do nível estático;
- Implantação efetiva da outorga de direito de uso da água subterrânea, tanto para poços que exploram água para irrigação por pivôs quanto àqueles destinados apenas a exploração de água para abastecimento doméstico e para a aplicação de agrotóxicos;
 - Cadastramento universal do número e tipos de usuários da água subterrânea;
 - Implantação do instrumento de cobrança na região;
 - Realização de campanha educativa permanente nas escolas, comunidades e associações de agricultores, quanto ao uso racional e valor econômico da água;
- Melhoria na fiscalização ambiental, com vistas à cobrança da manutenção das reservas legais das propriedades e quanto ao armazenamento e manipulação de óleo diesel, com atenção especial às propriedades que possuem reservatório de combustíveis enterrados;
- Incentivar a técnica de captação da água da chuva e armazenamento para uso na pulverização, principalmente nas regiões com maior altura pluviométrica.

Sugere-se ainda que do ponto de vista do mapeamento hidrogeológico nacional o nome "Sistema Aquífero Urucuia-Areado" seja designado apenas àquela região onde as rochas do Grupo Urucuia associam-se às do Grupo Areado, ou seja, nas situações onde ambas as unidades geológicas componham uma única unidade aquífera.

CAPÍTULO IX

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. 1981. Glossário de termos técnicos de geologia e engenharia. São Paulo, Boletim n°.4, 35p.
- ABGE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. 1996. Ensaio de permeabilidade em solos - orientações para sua execução no campo. 3 ed. São Paulo, Boletim n°.4, 35p.
- AIBA - ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DO OESTE DA BAHIA. 2006. Disponível em: www.aiba.com.br.
- ALMEIDA, L. DE. 2003. Caracterização Hidrogeológica da Bacia do Alto rio Claro no estado de Goiás: Subsídios para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília (DF). Dissertação de Mestrado. 101p.
- AMORIM JUNIOR, V. 2003. Avaliação Hidrogeológica do aquífero Urucuia na bacia do rio das Fêmeas usando IP-Resistividade. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 82 p
- AMORIM JUNIOR, V. & LIMA, O. A. L. de. 2003. *Aquífero Urucuia: uma avaliação hidrogeológica integrando resistividade e polarização induzida no domínio do tempo*. International Congress of the Brazilian Geophysical Society, 8, Rio de Janeiro, Brasil.
- ANA/GEF/PNUMA/OEA 2004. Enquadramento dos Corpos d'Água. Estudo Técnico de Apoio ao PBHSF – N° 05. Subprojeto 4.5C– Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco-PBHSF (2004-2013) 111p.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. 2005. Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil. *Caderno de Recursos Hídricos*, 123p.
- AQUINO, R. F. de; NASCIMENTO, K. R. F.; RODRIGUES, Z. R.; VIEIRA, C.; MAIA, P. H. P. & COSTA, A. B. 2003. Caracterização hidrogeoquímica e isotópica das águas superficiais e subterrâneas do oeste baiano – Bacia do rio das Fêmeas – Bahia. In: ABRH, Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, Curitiba (PR), CD-ROM.
- AQUINO, R. F. de; SILVA, F. F. da; SCHUSTER, H. D. M.; BATISTA, L. H. G.; URASAKI, F. Y. A. 2002. Aspectos Hidroquímicos e da Qualidade da Água Superficial e Subterrânea do Oeste Baiano – sub bacia do Rio do Cachorro – Bahia. In: ABRH, Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 6, Maceió, CD-ROM.

- ARAÚJO, L. M. FRANÇA, A. B. E POTTER, P. E. 1995. Aquífero Gigante do MERCOSUL no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: Mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. UFPR e PETROBRÁS, 16 p. Curitiba, Paraná – Brasil.
- BERNARDO, S. 1986. Manual de irrigação. Viçosa: UFV, 596p.
- BONFIM, L. F. C. & GOMES, R. A. A. D. 2004. Aquífero Urucuaia – Geometria e Espessura: Idéias para Discussão. Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13, Cuiabá (MT).
- BRASIL. 2006. Lei Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Disponível em: www.planalto.gov.br/legislação.
- BRASIL/MMA/SRH/ANA. 2003. Panorama Nacional dos Recursos Hídricos. Plano Nacional de Recursos Hídricos – Documento Base de Referência. Disponível em: www.ana.gov.br.
- BRASIL. SRH/FGV. 1998. Plano Nacional de Recursos Hídricos, Brasília, 10 v.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL/CIA PESQ. RECURSOS MINERAIS - DNPM/CPRM. 1983. Províncias Hidrogeológicas do Brasil.
- BRASIL. 1982. Ministério de Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD-23 Brasília; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra, vol. 29, 660p. Rio de Janeiro.
- CABRAL, J. 2000. Movimento das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA F. A. C. E FILHO, J. M. (Coordenação). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. (2ª edição) Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPE, p. 35 - 51.
- CADAMURO, A. L. M. 2002. Proposta, Avaliação e Aplicabilidade de Técnicas de Recarga Artificial em Aquíferos Fraturados para Condomínios Residenciais do Distrito Federal. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Dissertação de Mestrado, 130p.
- CADAMURO, A. L. de M.; REGO, A. P. de M. ; JOKO, C. T.; GIUSTINA, C. C. D.; PONTES, C. H. C.; D'ANGIOLELLA, G.; OLIVEIRA, L. A. de; LIMA, M. C. 2000. Hidrogeologia Aplicada na região de Caldas Novas – Goiás- Caracterização dos Aquíferos e Balanço Hídrico Preliminar, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 93p.
- CAMPOS, J. E. G. 1992. *A Glaciação Permo-Carbonífera nas Regiões de Canabrava e Santa Fé de Minas - MG*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília (DF). Dissertação de Mestrado. 104p.

- CAMPOS, J. E. G. 1996. *Estratigrafia, Sedimentação, Evolução Tectônica e Geologia do Diamante da porção centro-norte da Bacia Sanfranciscana*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília (DF). Tese de Doutorado. 204p.
- CAMPOS, J. E. & DARDENNE, M. A. 1997a. Estratigrafia e Sedimentação da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, **27** (3): 269-282.
- CAMPOS, J. E. & DARDENNE, M. A. 1997b. Origem e Evolução Tectônica da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, **27** (3): 283-294.
- CAMPOS, J. E. & DARDENNE, M. A. 1994. A Glaciação Neopaleozóica na Porção Meridional da Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, **24** (2): 65-76.
- CAMPOS, J. E. G.; FREITAS-SILVA, F. H. 1998. *Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal*. Brasília, IEMA / SEMATEC / UnB, p. 1-87, (Vol. IV Relatório Técnico).
- CASTANY, G. 1963. *Traite Pratique Dês Eaux Souterraines*. Paris: DUNOD. 657p.
- COOPER, H. H. & JACOB, C. E. 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants an summarizing well field history. *Am. Geophys. Union Trans.* Vol. 27, p. 526-534.
- COSTA, W. D. 2000. Uso e gestão de Água Subterrânea. In: FEITOSA F. A. C. E FILHO, J. M. (Coordenação). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. (2ª edição) Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPE, p. 341 - 367.
- COSTA, J. B. S.; IGREJA, H. L. S.; BORGES, M. S. & HASUI, Y. 1991. Tectônica Mesozóico-Cenozóica da Região Norte do Brasil. In: SBG, Simpósio Nacional de Estudos tectônicos, 3, Resumos....Rio Claro, p. 108-110.
- COSTA, M. T. & BRANCO, J. J. R. 1961. Roteiro da excursão Belo Horizonte. Inst. Pesquis. Radioativas/UFMG. Contribuição ao XIV Congr. Bras. Geol. Publicação 5, 126p.
- CPRM (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL) & CBPM (COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL). 2003. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia – Sistema de Informações Geográficas – SIG. CD-ROM.
- CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2002. Nova Carta ao Milionésimo do Brasil. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Sistema de Informações Geográficas – SIG. CD-ROM.

- D'ANGIOLELLA, G. & VASCONCELLOS, V. L. D. 2004. Balanço Hídrico GD 4.0-2004: planilha eletrônica para cálculo do balanço hídrico climatológico. *Revista Bahia Agrícola*, 6 (3): 14-16.
- DARDENNE, M. A. 1978. Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí no Brasil Central. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais....Recife, Vol. 2, p. 597-610.
- DARDENNE, M. A.; MAGALHÃES, L. F. & SOARES, L. A. 1978. Geologia do Grupo Bambuí no Vale do Rio Paraná. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 30, Recife, Anais....Recife, Vol. 2, p. 611-615.
- DARDENNE, M. A.; GONZAGA, G. M. & CAMPOS, J. E. G. 1991. The diamond-bearing Cretaceous conglomerates of the Canabrava área, Minas Gerais, Brazil. 5 th International Kimberlite Conference. *Field Guide Book*.Araxá. CPRM. P. 83-88.
- DARDENNE, M. A. 2000. *The Brasilia Fold Belt*. In: SBG, International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro, CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAS FILHO, A. & CAMPOS, D. A. Tectonic Evolution of South America, p. 231-263.
- DRISCOLL, F. G. 1986. *Groundwater and Wells*. Second Edition. Johnson Screens, Minnesota. 1089p.
- EARTH MANUAL. 1974. A Water Resources Technical Publication - A guide to the use of soils as foundations and as construction materials for hydraulic structures, 2 ed. Washington D.C, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 810 p.
- EMBRAPA 2003. Tecnologias de Produção de Soja Região Central do Brasil 2003. Sistema de Produção, 1. Versão Eletrônica Jan 2003, EMBRAPA SOJA. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/producaosoja/manejo.htm>. Acesso em: 23/03/2006.
- EMBRAPA. 1999. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: 5ª aproximação*. Rio de Janeiro. 412p.
- EMBRAPA. 2003. Monitoramento por Satélites. Monitoramento da expansão das áreas irrigadas na região Oeste da Bahia. Disponível em: <http://www.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 27/10/2003.
- FETTER, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3 ed. New York, Toronto, 691 p.
- FITTERMAN, D. V. & STEWART, M. T. 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics*, **51**(4): 995-1005.
- FREEZE, R. A. & CHERRY, J. A. 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall. 604p.

- FUNATURA. 1991. *Caracterização dos solos da área de Chapada da fazenda Jatobá, no Município de Correntina (BA)*. Brasília (relatório interno).
- GEO BRASIL 2002. O estado do meio ambiente no Brasil, p. 23-216. *In: Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil/Organizado por Thereza Christina Carvalho Santos e João Batista Drummond Câmara*. - Brasília: Edições IBAMA, 2002. 440p.:il.
- GILBOA, Y.; MERO, F. & MARIANO, I. B. 1976. The Botucatu aquifer of South America, model of an untapped continental aquifer. *Journal of Hydrology*, **29**: 165-179.
- GÓES, A. M. O. & FEIJÓ, F. J. 1994. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **8** (1): 57-67.
- GOLDMAN, M.; du PLOOY, A. & ECKARD, M. 1994. On reducing ambiguity in the interpretation of transient electromagnetic sounding data. *Geophysical Prospecting*, **42**:3-25.
- GOUVEIA, L. J. & COSTA E SILVA, L. M. 1995. *Geofísica de Prospecção*. Editora CEJUP Ltda., Universidade Federal do Pará, Belém (PA) 311p.
- GROSSI SAD, J. H.; CARDOSO, R. N. & DA COSTA, M. T. 1971. Formações Cretácicas em Minas Gerais: Uma Revisão. *Revista Brasileira de Geociências*, **1**: 1-13.
- HASUI, Y.; COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S.; ASSIS, J. F. P.; PINHEIRO, R. V. L.; BARTORELLI, A. PIRES NETO, A. G. & MIOTO, J. A. 1991. A Borda Sul da Bacia do Parnaíba no Mesozóico. *In: SBG, Simpósio Nacional de Estudos tectônicos, 3, Resumos....Rio Claro, pág. 93-95.*
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1993. Mapa de Unidades de Relevo do Brasil. Escala 1: 5.000.000, Rio de Janeiro.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística & EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2001. Mapa de Solos do Brasil. Escala 1: 5.000.000, Rio de Janeiro.
- KATTAH, S. S. 1991. *Análise Faciológica e Estratigráfica do Jurássico/Cretáceo Inferior da Porção Meridional da Bacia do São Francisco, Oeste do Estado de Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. UFOP. Ouro Preto. 213p. (inédita).
- KENDY, E. 2003. The false promise of sustainable pumping rates (Technical Commentary). *Groundwater*, vol. 41 n^o 1, p. 2-4.
- KINDERMANN, G. & CAMPAGNOLO, J. M. 1998. *Aterramento Elétrico*. Editora Sagra Luzzato, Porto Alegre. 4^a Edição. 214P.

- LIMA, O. A. L. 2000. Estudos Geológicos e Geofísicos do Aquífero Urucuia na Bacia do rio do Cachorro – Oeste da Bahia. 42p. Publicação da SRH-BA e UFBA. Disponível em www.srh.ba.gov.br/publicações.
- MACHADO, J. L. F. 2006. A Verdadeira face do aquífero Guarani: mitos e fatos. ABAS Informa – Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas fevereiro/2006, n° 162.
- MALLICK, K. & VERMA, R. K. 1979. Time-Domain Electromagnetic Sounding - Computation of Multi-Layer Response and The Problem of Equivalence in Interpretation. *Geophysical Prospecting*, Vol. 27 Issue 1, p. 137-155.
- MARTINS, E. S.; LOPES ASSAD, M. L. R. C.; CAMPOS, J. E. G. 1993. Comportamento de solos desenvolvidos de arenito Urucuia. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 24, Goiânia. Anais, 1: 171 – 171.
- MCNEIL, J. D. 1980. Electrical Conductivity of Soils and Rocks: Geonics Limited Technical Note TN-5, Mississauga, Ontario, Canadá:, 22p.
- MCNEIL, J. D. 1990. Use of Electromagnetic Methods for Groundwater Studies. In: Ward, S. H. 1990. Geotechnical and Environmental Geophysics, V. 1, Review and Tutorial. Society of Exploration Geophysics, TULSA, EUA.
- MENTE, A.. 2000. As Condições Hidrogeológicas do Brasil, Capítulo 13, p. 323 – 340. In: FEITOSA F. A. C. E FILHO, J. M. (Coordenação). *Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações*. (2ª edição) Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID – UFPE, 391p.
- MILANI, E. J. & THOMAS FILHO, A. 2000. *The Sedimentary Basins of South America*. In: SBG, International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro, CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAS FILHO, A. & CAMPOS, D. A. Tectonic Evolution of South America, p. 389-449.
- MILLS, T.; HOEKSTRA, P.; BLOHM, M. & EVANS, L. 1988. Time Domain Electromagnetic Soundings for Mapping Sea-Water Intrusion in Monterey County, California. *Groundwater*, vol. 26, N° 6, p. 771-782.
- NABIGHIAN, M. N. E MACNAE, J. C. (1991) Time Domain Electromagnetic Prospecting Methods, In: M. N. NABIGHIAN, ED. *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, Vol. 2, p.427–520, *Soc. Expl. Geophys.*
- NASCIMENTO, K. R. F. (COORDENAÇÃO) 2003. Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-Bacia do Rio das Fêmeas – BA. Relatório Final (Subprojeto 3.2-Projeto

- de Gerenciamento Integrado das Atividades Desenvolvidas em Terra na Bacia do São Francisco ANA/GEF/PNUMA/OEA). Disponível em: www.ana.gov.br/gefsf.
- NASCIMENTO, K. R. F. (COORDENAÇÃO) 2002. Perfuração de Poços. Relatório Final (Subprojeto 3.2-Uso Conjunto das Águas Superficiais e Subterrâneas da Sub-Bacia do Rio das Fêmeas).
- NEUMAN, S. P. 1972. Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table. *Water Resources Research*, vol. 8, nº 4, p. 1031-1045.
- NEUMAN, S. P., 1974. Effect os partial penetration on flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resources Research*, vol. 10, nº. 2, p. 303-312.
- NEUMAN, S. P., 1975. Analysis of pumping test data from anisotropic unconfined aquifers considering delayed yield, *Water Resources Research*, vol. 11, nº. 2, p. 329-342.
- PESSAGNO JR, E. A. & DIAS-BRITO, D. 1996. O Silexito a Radiolários do Sul da Bacia Sanfranciscana, Brasil: Idade, Origem e Significado. Boletim do Simpósio sobre o Cretáceo, 4. UNESP – Campus Rio Claro – SP, p. 213-221.
- PIMENTEL, A. L.; AQUINO, R. F. SILVA, R. C. A. & VIEIRA, C. M. B. 2000. Estimativa da recarga do aquífero Urucua na sub-bacia do rio das Fêmeas – Oeste da Bahia, utilizando separação de hidrogramas. In: Congresso sobre Aproveitamentos e Gestão de Recursos Hídricos em Países de Idioma Português, CD-ROM.
- RAMOS, A. M. & SILVA, F. F. da. 2002. Contribuição dos Mananciais Superficiais do Estado da Bahia para o Rio São Francisco. In: ABRH, Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 6, Maceió, CD-ROM.
- REBOUÇAS, A. C. & AMORE, L. 2002. O Sistema Aquífero Guarani – SAG. Rev. Águas Subterrâneas, Nº 16, maio, p. 135-143.
- REBOUÇAS, A. C. (1991) Development and Trends of Groundwater Research, *In: Ciência e Cultura: Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science*, Vol. 43, Pp. 117–122, SBPC.
- REYNOLDS, J. M. 1997. An Introduction to Applied and Environmental Geophysics. John Wiley & Sons, England, 796p.
- ROSA, M. L. S.; CONCEIÇÃO, H.; PAIM, M. M.; SANTOS, E. B.; ALVES DA SILVA, F. C.; LEAHY, G. A. S. & BASTOS LEAL, L. R. 1996. Magmatismo potássico/ultrapotássico pós a tardi orogênico (associado a subducção) no oeste da Bahia: batólito monzo-sienítico de Guanambi-Urandi e os Sienitos de Correntina. *Geochimica Brasiliensis*, **10** (1): 27-42.

- SANTANA, A. G. de; CARDOSO, E. R.; SILVA, F. F. da & PEREIRA, J. S. 2002. Metodologia para Controle das Outorgas de Direito de Uso da Água em bacias Hidrográficas. In: ABRH, Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 6, Maceió, CD-ROM.
- SCHUSTER, H. D. M; SILVA, F. F. da; TEIXEIRA, S. L.; BATISTA, L. H. G. & FREITAS, W. A. 2002. Estudos Hidrogeológicos do Aquífero Urucuia no Oeste baiano para Obtenção de Parâmetros nas outorgas de mananciais Subterrâneos. In: ABAS, Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 12, Santa Catarina, CD-ROM.
- SCHUSTER, H. D. 2003. Modelagem de Fluxo Subterrâneo com vistas à definição de parâmetros para outorgas de mananciais subterrâneos na bacia hidrográfica do rio dos Cachorros – Oeste do estado da Bahia. Projeto rio dos Cachorros e Anexos. 113p.
- SGARBI, G. N. C. 1989. *Geologia da Formação Areado. Cretáceo Inferior a Médio da Bacia Sanfranciscana, Oeste do estado de Minas Gerais*. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro (UFRJ). 324p (inédita).
- SGARBI, P. B. C. 1991. Petrografia e geoquímica da Fm. Mata da Corda na região de Carmo do Paranaíba, oeste de Minas Gerais. Dissertação de mestrado, UFRJ, 214p.
- SGARBI, G. N. C. 1991. Arenitos eólicos da Formação Areado (Bacia Cretácea do São Francisco): caracterização, diagênese e aspectos químicos. *Revista Brasileira de Geociências*, **21** (4): 342-354.
- SGARBI, G. N. C. 1997. *Aspectos Paleogeográficos e Sedimentológicos do Mesozóico no Oeste do Estado de Minas Gerais*. Tese de Doutorado. Brasília (UnB). 224p (inédita).
- SGARBI, G. N. C. 2000. The Cretaceous Sanfranciscan Basin, Eastern Plateau of Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **30** (3): 450-452.
- SGARBI, G. N. C.; SGARBI, P. B. de A.; CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. & PENHA, U. C. 2001. Bacia Sanfranciscana: O Registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco. In PINTO, C. P. & MARTINS-NETO, M. A. *Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais*. SBG/MG – Belo Horizonte, p. 93-138.
- SILVA, F. F. da; NETO, A. V. L; CARDOSO, E. R. SCHUSTER, H. D. M. 2005. Aplicação da modelagem matemática no uso conjunto água superficial e subterrânea para a gestão de recursos hídricos no oeste do Estado da Bahia. In: ABRH, Simpósio de Recursos Hídricos da Amazônia, 2, Palmas (TO).

- SILVA, C . A. 2003. *Geofísica de Superfície no Complexo de Americano do Brasil, GO: Integração e Interpretação*. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília (DF), Dissertação de Mestrado, 81p.
- SILVA, O. A. 2005. *Análise de dados aerogeofísicos aplicados à exploração e ao gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos*. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Tese (Doutorado). 88p.
- SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J. & RESCK, D. V. S. 1994. Perdas de Matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, **18**: 541-547.
- SILVA, A. B. E.; MENDONÇA JÚNIOR, T.; OLIVEIRA, T.; ANCHESCHI, W. J.; CRUZ, A. S. DE J.; GIACOMETI. A. N.; ARRUDA, G.A.; DAOUD, W.E. K.; SANTOS, R. V.; BIZZI, L. A.; CARVALHO JÚNIOR, A. L. P.; PEREIRA, S. P.; FERREIRA, A. M.; COLELA JÚNIOR, O.; BANHOS, S. S.; ROSA, J. W. C.; ABDALLAH, S.; SERRADOURADA, H. P.; AZEVEDO, G. C.; SANTOS, R. B.; MARTINEZ, J. E. A. & PONTES, C. S. 1983. Geologia da Região de São Domingos – GO. Trabalho Final de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- SOUZA, C. C. 2003. Relatório Técnico Estudos Geológicos e Geofísicos. GRUPO CACHOEIRA BRAZIL FARMS LTDA, Luis Eduardo Magalhães (BA). CA - PERFURAÇÃO DE POÇOS ARTESIANOS LTDA – ME. Relatório Técnico Interno. 25p.
- SOUZA, M. T. & CAMPOS, J. E. G. 2001. O papel dos regolitos nos processos de recarga de aquíferos do Distrito Federal. *Revista Escola de Minas* **54**(3):191-198.
- SPIGOLON, A. L. D. & ALVARENGA, C. J. 2002. Fácies e elementos arquiteturais resultantes de mudanças climáticas em um ambiente desértico: Grupo Urucuia (Neocretáceo), Bacia Sanfranciscana. *Revista Brasileira de Geociências*, **32** (4): 579-586.
- SRH-BA SUPERINTENDÊNCIA DE RECURSOS HÍDRICOS DA BAHIA. 2006. Estatísticas da concessão de outorga de Água. Disponível em: <http://www.srh.ba.gov.br>. Acesso em: junho de 2006.
- TELLES, D. D' A. 2002. Água na Agricultura e Pecuária, p. 305-337. In: REBOUÇAS, A. da C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação, 703 p. 2ª edição, editora Escrituras, São Paulo, 2002.
- THEIS, C.V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Trans. Amer. Geophys. Union*, **16**: 519 – 524.

- TAYLOR, K.; WIDMER, M. E CHESLEY, M. 1992. Use of transient electromagnetics to define local hidrogeology in an arid alluvial environment, *Geophysics*, **57**:342–352.
- TELFORD W.M., GELDART L.P., SHERIFF R.E. 1990. *Applied Geophysics*. Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 770 p.
- THORNTHWAITE, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* **38**:55-94
- TSCHIEDEL, M. W 2004. Aplicação de estudo geofísico como contribuição ao conhecimento da tectônica da Sub-Bacia Urucuia. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, 76 p
- TUCCI, C. E. M. 2000. Escoamento Superficial. p. 391 – 441. In TUCCI, C. E. M. (Organizador) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Editora Universidade/UFRGS: ABRH, Porto Alegre, p.943.
- VIDAL, C. L. R. 2003. Disponibilidade e Gerenciamento Sustentável do Aquífero Serra Grande no município de Picos-Piauí. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 194p.
- WEST, G. F. & MACNAE, J. C. 1991. Physics os the Eletromagnetic Induction Exploration Method, Chapter 1. In: M. N. NABIGHIAN, ED. *Electromagnetic Methods in Applied Geophysics*, Vol. 2, p.5–42, *Soc. Expl. Geophys.*
- WREGE, M. 1997. Termos Hidrogeológicos Básicos. Caderno Técnico da Associação Brasileira Águas Subterrâneas, Nº 4.
- ZONGE - Zonge Engineering and Research Organization, Inc. 1997. GDP-32 Multifuncion receiver - Operation Manual: EUA, Zonge Engineering and Research Organization.
- ZONGE - Zonge Engineering and Research Organization, Inc. 2005. Introduction to TEM. 8p. Disponível em: www.zonge.com/PDF_Papers.

ANEXOS

ENSAIOS DE INFILTRAÇÃO

Lista dos pontos de realização dos ensaios de infiltração (número do ponto e coordenadas geográficas).

Nº do ponto	Coordenada Geográfica (em graus)	
	Latitude	Longitude
Ponto01	-13.95408500	-46.20392670
Ponto02	-13.89080170	-46.17796330
Ponto03	-13.76306500	-46.15983170
Ponto04	-13.70069830	-46.14285330
Ponto05	-13.98261830	-46.18262500
Ponto06	-13.95396170	-46.08904830
Ponto07	-13.92001000	-46.00539170
Ponto08	-13.95872500	-46.10904170
Ponto09	-13.78625000	-46.08207500
Ponto10	-13.80088830	-46.04616000
Ponto11	-14.01921000	-46.16471830
Ponto12	-14.07355670	-46.10737330
Ponto13	-14.00517670	-45.97560830
Ponto14	-13.94767000	-45.96082330
Ponto15	-14.05577830	-46.12617500
Ponto16	-13.82925000	-45.97919670
Ponto17	-13.80422000	-45.87810500
Ponto18	-13.67800670	-45.76839830
Ponto19	-13.65418830	-45.58523670
Ponto20	-13.69281670	-45.38379830
Ponto21	-13.58930170	-46.11903670
Ponto22	-13.36190000	-46.07138000
Ponto23	-13.09750500	-46.01616330
Ponto24	-12.86588000	-45.96631330
Ponto25	-12.63568330	-45.91774500
Ponto26	-12.39907170	-45.86881170
Ponto27	-12.08522170	-45.75876670
Ponto28	-12.00918670	-45.57513830
Ponto29	-12.10767670	-45.92456830
Ponto30	-12.12200500	-46.04626000

HIDROGEOLOGIA

1) Cadastro de poços levantados por esta pesquisa na região do oeste baiano

Poço N°	Propriedade	Latitude	Longitude	NE (m)	Profund. (m)	Observações
P01	Ouro Branco Algod.	-13,94995	-46,22579	-	-	Vila Rosário
P02	Faz. Cabeceira Grande	-13,94798	-46,23724	160	182	
P03	Rosario CERB-20	-13,95132	-46,20608	132	240	Vila Rosário
P04	Bunge Alimentos	-13,93819	-46,19225	-	-	
P05	Bunge Alimentos	-13,93866	-46,19252	-	-	
P06	Solo Maquinas Ag	-13,93816	-46,19403	127	142	
P07	Faz. Igarashi	-13,93722	-46,18920	-	-	
P08	Grupo Sta Izabel	-13,92313	-46,18666	-	-	
P09	Faz. N. S. Fátima	-13,89201	-46,19354	140	240	
P10	Faz. Ita Bra	-13,89044	-46,19307	-	-	
P11	Faz. Igarashi	-13,85926	-46,08735	-	90	
P12	Faz. Marina	-13,86040	-46,19724	120	-	
P13	Faz. Pato Branco	-13,82717	-46,18714	-	-	
P14	Faz. Neto's	-13,77943	-46,18920	-	165	
P15	Faz. Xanxere	-13,79399	-46,10365	70	180	
P16	Faz. 2 Amigos	-13,75893	-46,07869	70	120	
P17		-13,76050	-46,10354	70	130	nível silicificado a 100m
P18	Faz. Nice	-13,76303	-46,05369	-	-	
P19	Faz. Brasholandi	-13,78529	-46,02718	90	240	
P20	Faz. Gaio	-13,75228	-46,01928	-	-	
P21	Faz. Gaio	-13,75251	-46,01893	-	-	
P22	Faz. Vale do Arrojado	-13,75224	-46,00143	56	300	pivô- 520m³/h 14"/10"
P23	Faz. Vale do Arrojado	-13,76601	-46,00714	52	280	pivô-520m³/h
P24	Faz. Vale do Arrojado	-13,76023	-46,00963	53	150	sede 6"
P25	Faz. Vale do Arrojado	-13,75248	-46,00183	-	-	
P26	Faz. Shalon	-13,75141	-45,99540	-	-	
P27	Faz. Prata Nova	-13,69644	-45,98367	-	-	
P28	Faz. Veneza/Flor	-13,75772	-45,95079	36	120	
P29	Faz. Boi Forte	-13,69364	-45,94316	68	110	
P30	Faz. Morinaga	-13,75379	-45,87100	-	-	
P31	Faz. Ivatuba	-13,74931	-45,87010	40	100	
P32	Faz. Sao Jose	-13,70183	-45,89023	-	-	
P33	Faz. Sao Jose	-13,69707	-45,89570	72	380	
P34	Faz. Boi Branco	-13,68188	-45,85283	-	-	
P35	Faz. Tapera Gran	-13,73118	-45,81160	58	-	
P36	Faz. Ouro Verde	-13,53137	-45,81179	-	-	
P37	Faz. Sta Rita	-13,52981	-45,79544	-	-	
P38	Faz. Formosa	-13,52543	-45,78571	-	-	
P39	Faz. Boa Esperan	-13,54122	-45,84503	40	105	
P40		-13,56158	-45,90349	-	-	
P41	Pousada Nova Ita	-13,62425	-45,37379	52	72	
P42	Faz. Entre Rios	-13,48200	-44,96267	100	135	
P43	Faz. Entre Rios	-13,48156	-44,96271	-	-	
P44	Faz. Catule	-13,55889	-45,13328	60	120	
P45	Faz. Barra 2 Amo	-13,64840	-45,21288	80	156	
P46		-13,62289	-45,30418	-	-	
P47	Faz. S. Jorge NI	-13,62175	-45,36556	-	-	
P48	Faz. Grao Bahia	-13,57622	-45,93756	60	120	
P49	Faz. Camponesa	-13,58683	-45,96217	80	120	
P50	Faz. Caravagio	-13,58751	-45,97808	-	-	
P51	Faz. Cambara	-13,59133	-45,99330	-	120	
P52	Fa. Prata Nova	-13,59676	-46,01041	-	-	
P53	Faz. Palmeiras	-11,94987	-46,13603	-	-	
P54	Faz. Sta Rosa	-11,98062	-46,16240	65	80	
P55	Faz. Chapadao	-11,97765	-46,21175	110	130	

Poço N°	Propriedade	Latitude	Longitude	NE (m)	Profund. (m)	Observações
P56	Faz. Sao Marcos	-11,88144	-46,16368	-	96	
P57	Faz. Mangas	-11,82674	-46,08370	60	160	
P58	Faz. Pedra Crist	-11,78861	-46,07777	-	-	
P59	Faz. Cosmo	-11,78618	-46,11930	-	-	
P60	Faz. Cristo Rede	-11,76539	-46,10990	33	60	
P61	Faz. Cristo Rede	-11,76207	-46,11793	-	-	
P62	Faz. JS Cabeceira Eguas	-13,71970	-46,19390	-	180	
P63	Faz. Dal Piva 2	-13,66359	-46,12570	90	190	
P64	Faz. Bela Vista	-13,64572	-46,17063	100	120	
P65	Faz. Sobradinho	-13,61980	-46,10791	-	-	
P66	Faz. Cambara	-13,62088	-46,13654	80	170	
P67	Faz. Sta Maria	-13,59805	-46,13563	190	250	
P68	Faz. Ouro verde	-13,56396	-46,15928	120	172	
P69	Faz. Sobradinho	-13,61349	-46,13069	142	160	
P70	Faz. Paraná	-13,74099	-46,13993	-	-	
P71	Faz. GBC	-13,50655	-46,11420	20	72	
P72	Faz. GBC	-13,46978	-46,19072	50	110	
P73	Faz. Sao Paulo	-13,42525	-46,03883	-	-	
P74	Faz. Amizade	-13,41095	-46,07368	-	-	
P75	Faz. Aurora	-13,32503	-45,98840	-	-	
P76	Faz. Aurora	-13,33480	-45,97456	-	-	
P77	Faz. Guará	-13,35999	-46,06284	92	120	
P78	Bunge alimentos	-13,31372	-46,06042	-	-	
P79	Carrol farms	-13,27422	-46,09203	-	-	
P80	Faz. Sao Luiz	-13,29841	-46,21293	100	300	
P81	Faz. Maronese	-13,32244	-46,26276	-	-	
P82	Faz. Manto Verde	-13,28337	-46,26906	-	-	
P83	Faz. Sta Martha	-13,25115	-46,26550	-	200	
P84	Faz. S. Carlos 4 5 e 6	-13,24915	-46,22121	60	336	
P85	Faz. Querubim	-12,76958	-46,03098	63		
P86	Faz. Bruno Zution	-12,80527	-46,04216	-	-	
P87	Faz. Sto Angelo	-12,79864	-46,09317	-	-	
P88	Faz. Kobayashi	-12,82490	-46,10126	-	-	
P89		-13,89202	-46,19355	-	-	
P90	Faz. Sta Luzia	-12,87743	-46,09387	-	-	
P91	Faz. Recrin	-12,82234	-46,14075	-	-	
P92	Faz. Sete Povos	-12,89525	-46,14394	75	175	
P93	Faz. Sete Povos	-12,89971	-46,15809	-	-	
P94	Faz. Manganele	-12,83504	-46,19322	-	-	
P95	Faz. Sta Cecília	-12,83561	-46,20820	180	209	
P96	Faz. Guarani	-12,90271	-46,19506	-	-	
P97	Faz. Brinquinho	-12,83281	-46,25120	-	-	
P98	Fazenda Prima	-14,13064	-46,21472	-	-	
P99	Fazenda Prata	-14,15256	-46,18053	190	-	
P100	Fazenda Flor da Serra	-13,93167	-46,00311	-	-	
P101	Fazenda Flor da Serra	-14,09747	-46,14589	120		
P102	Fazenda Cristo Rei	-14,25564	-45,98650	-	-	
P103	Fazenda Kobayashi	-12,82583	-46,10183	70	-	Poço CERB
P104	Posto Rosario	-13,95280	-46,19580	132	197	Vila Rosário
P105	Hotel Avenida	-13,94790	-46,19440	-	-	Vila Rosário
P106	Fazsam	-13,23063	-46,30199	-	-	

2) Cadastro de poços disponibilizados pela SRH-BA

Poço N°	Propriedade	Latitude	Longitude	NE (m)	Profund. (m)	Vazão (m³/h)
1	Posto Ursa Ltda	-12.088	-45.761	26,9	70	34
2	Sede	-12.089	-45.795	22	65	-
3	Sede/ Posto 90	-12.092	-45.794	21	100	12
4	Sede/ Posto Aleluia	-12.094	-45.816	23	75	10,6
5	Clube dos Vaqueiros	-12.105	-45.929	*	75	3
6	M.E.C	-12.102	-45.896	*	*	-
7	Dasilveira	-12.105	-45.916	28	100	13,2
8	Sial	-12.103	-45.876	-	-	-
9	Cargil	-12.093	-45.808	-	-	-
10	Ilha Bela	-12.091	-45.920	12	69	6,8
11	Alvorada do Sul	-12.106	-45.991	14	60	13,3
12	Bananal	-12.069	-45.011	-	-	-
13	Boiadeiro	-12.104	-45.953	-	125	5
14	P.M.L.E.Magalhaes	-12.101	-45.876	24	80	22
15	Agua Azul	-12.120	-45.949	-	-	-
16	Porto Engenharia	-12.091	-45.792	-	-	-
17	Bomtrator	-12.085	-45.768	-	-	-
18	Oeste Fibras	-12.086	-45.746	-	-	-
19	Agreste Avícola da	-12.077	-45.688	-	80	20
20	Odisseia	-12.057	-46.105	-	-	9
21	Odisseia	-12.031	-46.052	-	-	-
22	Polleto	-12.075	-45.908	21,52	284	399,5
23	Polleto	-12.075	-45.908	23,03	284	448
24	Polleto	-12.069	-45.894	21,6	200	450
25	Polleto	-12.068	-45.892	19,31	300	480
26	Polleto	-12.069	-45.894	19,31	300	480
27	Ceval	-12.091	-45.816	20,45	-	-
28	Ceval	-12.090	-45.813	-	-	-
29	Ceval	-12.092	-45.813	-	-	-
30	Embasa	-12.086	-45.805	19,14	231	175,7
31	Embasa	-12.081	-45.725	-	-	-
32	Embasa	-12.085	-45.805	19,35	98	9,32
33	Galvany	-12.087	-45.773	-	-	-
34	Galvany	-12.085	-45.773	23,4	68	15,84
35	Novo Horizonte	-12.063	-45.558	18,1	271,39	480,33
36	Novo Horizonte	-12.061	-45.560	23,04	284	448
37	Pró Café	-12.152	-45.330	28	274	300
38	Pró Café	-12.158	-45.329	-	-	-
39	Emape	-12.112	-45.268	50,5	80	8,5
40	Jacob Lauque	-12.086	-45.753	20	70	-
41	Ademir Ramos	-12.078	-45.750	*	60	-
42	Novo Horizonte	-12.045	-45.638	*	280	-
43	Fazenda Paineiras	-12.058	-45.593	35	70	-
44	Ind. Santa Cruz Ltd	-12.067	-45.593	37,6	70	-
45	Posto Ipiranga	-12.063	-45.584	*	70	-
46	Faz 2 de ouro	-12.050	-45.591	19,72	70	-
47	Faz Xique Xique	-12.060	-45.547	*	70	-
48	Agropecuária Santa	-12.081	-45.516	*	*	-
49	Faz. Dona Izeta	-12.071	-45.489	*	70	-
50	Faz. Vale Ouro	-12.072	-45.456	*	*	-
51	Faz Vitória	-12.101	-45.365	*	80	-
52	Faz. Irmaos Schined	-12.097	-45.364	*	80	-
53	Faz. Santa Rita	-12.100	-45.352	*	*	-
54	Posto Norte Sul	-12.104	-45.334	*	120	-
55	Onérico	-12.114	-45.312	*	*	-

Poço N°	Propriedade	Latitude	Longitude	NE (m)	Profund. (m)	Vazão (m³/h)
56	Faz Comando	-12.111	-45.280	*	*	-
57	Faz Pompeu	-12.053	-45.574	25	50	-
58	Faz São Roque	-11.957	-45.456	*	*	-
59	Agribahia S/A *	-11.859	-45.741	53,6	*	-
60	Sao Jose	-12.116	-45.803	40	120	8
61	Sao Pedro	-12.125	-45.097	40	120	8
62	Novo Mundo	-12.893	-45.654	25	57	10
63	Ind.Com. Oleos Veg.	-12.143	-45.814	40	72	13,2
64	Motel Status	-12.130	-45.811	35	56	10
65	Bairro Jardim Paraí	-12.095	-45.779	26	60	12
66	Academia Malhacao	-12.090	-45.793	23	60	40
67	Agrop.Parrizoto s/a	-11.816	-45.643	28	70	20
68	Água Santa	-11.785	-45.650	18	50	9
69	Fazenda Santa Maria	-11.776	-45.690	28	80	10
70	Kieling	-11.776	-45.705	25	83	10
71	Pradense	-11.996	-45.630	20	56	12
72	Residencia Kaibem	-12.093	-45.798	15	62	15
73	Agro Tsuge Ltda	-11.770	-45.724	-	102	28
74	Patua	-11.765	-45.774	10	74	15
75	Taji	-12.111	-45.876	25	70	5
76	Condomínio Costa Ve	-12.104	-45.770	30	100	13
77	Chácara Recanto da	-12.117	-45.795	-	-	-
78	Haras	-12.118	-45.801	10	55	20
79	Pocilga	-12.117	-45.807	8	48	14,4
80	*	-12.087	-45.800	28	52	5
81	Fazenda Murata	-12.088	-45.789		58	8
82	Fazanda Santo Antôn	-12.116	-46.013	24	72	10
83	Sítio Gremista	-12.085	-45.797	19	38	1,2
84	Fazenda Colorado II	-12.126	-46.031	24	60	10
85	Posto Dourado Combu	-12.147	-45.816	42	70	3
86	Algoeira Dois Irmao	-12.141	-45.813	39	71	17
87	Sede	-12.088	-45.796	30	61	12
88	Sede	-12.088	-45.793	20	70	4
89	Sede	-12.087	-45.798	19	64	4
90	Sede	-12.097	-45.780	20	50	1
91	Sede	-12.096	-45.782	20	50	3
92	Sede	-12.095	-45.777	20	50	3
93	Sede	-12.113	-45.807	12	28	1,6
94	Sede	-12.090	-45.801	30	50	6
95	Imoeste	-12.137	-45.813	38	80	6
96	Sede Internacional	-12.096	-45.777	20	60	4
97	Fazenda Colorado IV	-12.120	-46.038	25	60	10
98	Sede	-12.130	-45.776	30	70	10
99	Fazenda Concordia	-12.126	-45.994	20	70	12
100	Agrosul-I	-12.098	-45.804	24	40	5
101	Agrosul-II	-12.094	-45.803	25	70	10,2
102	Fazenda Passo Fundo	-11.863	-46.244	135	194	6,5
103	Fazenda Orquídia	-11.845	-46.242	135	144	6
104	Fazenda Sao Marcos	-11.834	-46.162	90	106	8
105	Fazenda Melancia	-11.931	-46.162	95	105	4
106	Sede	-12.092	-45.800	-	-	-
107	Sede	-11.938	-45.294	-	100	-

3) Cadastro de poços disponibilizados por empresas de perfuração de poços.

Poço N°	Propriedade	Latitude	Longitude	NE (m)	Profund. (m)	Vazão (m³/h)	Empresa
Poço 01	Fazenda Hirata	-12,518	-45,636	28,07	258	456,62	Mauerberg
Piezômetro	Piezômetro Faz. Hirata	-12,518	-45,636	0,00	-	-	Mauerberg
Poço	Faz Espírito Santo	-11,919	-45,534	63,32	196		Mauerberg
Piezômetro	Faz Espírito Santo	-11,919	-45,534	0,00	-		Mauerberg
Poço	Faz Perdizes	-12,452	-45,310	7,00			Mauerberg
Poço	Faz. Marechal Rodon	-12,370	-46,128	58,72		410	Mauerberg
Poço	Fazenda Fronteira	-11,252	-46,539	198,00	250	11,2	Mauerberg
1976	Faz Trijuncao	-14,619	-45,737	3,10	40	11,8	Fuad Rassi
1907	Faz Trijuncao	-14,646	-45,775	3,20	40	13,2	Fuad Rassi
950	Faz Trijuncao	-14,650	-45,790	9,00	40	6,4	Fuad Rassi
1953	Faz Trijuncao	-	-	3,60	60	10	Fuad Rassi

4) Cadastro de poços disponibilizados pela CERB

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	Latitude	Longitude	Prof. (m)	NE (m)	ROCHA	Entrada água (m)
ANGICAL	COVAS	-11,9781	-44,6942	148		SEDIMENTAR	
ANGICAL	COVAS	-12,9781	-44,6942	60		SEDIMENTAR	13
ANGICAL	SEDE	-12,9972	-44,7058	84	18	SEDIMENTAR	18
BAIANÓPOLIS	GUAIRAS	-12,6469	-44,2775	62	13	CALCÁRIO	64,00 - 66,50
BAIANÓPOLIS	BOA ESPERANÇA	-12,3631	-44,3286	131	2	CALCÁRIO	42
BAIANÓPOLIS	VÁRZEA	-12,4344	-44,6203	61		CALCÁRIO	6,50 - 10,50
BAIANÓPOLIS	COCOS/VEREDA DOS COCOS	-12,5561	-44,5608	53	2	ARENITO/CALCÁRIO	26 - 27 a 28 - 42 a 44
BAIANÓPOLIS	LAGOA CLARA	-12,6575	-44,3942	51	5	CALCÁRIO	44,00 - 45,00 - 47
BAIANÓPOLIS	TÁBUA	-12,3883	-44,5256	49	9	CALCÁRIO	47,00 - 48,00
BAIANÓPOLIS	SUMIDOURO	-12,3883	-44,4583	77	5	CALCÁRIO	60,00 - 64,00
BAIANÓPOLIS	CAPIM DE RAÍZ	-12,4236	-44,5928	23	2	CALCÁRIO	13,40 - 17,50 - 22
BAIANÓPOLIS	SAPÉ	-12,2969	-44,4011	100		CALCÁRIO	33,00 - 35,00 - 50
BAIANÓPOLIS	CABACEIRA	-12,3011	-44,4550	60	16	CALCÁRIO	41
BAIANÓPOLIS	MALHADA GRANDE	-12,2994	-44,5939	30	7	CALCÁRIO	26,50 - 28,50
BAIANÓPOLIS	OLHOS D'ÁGUA UM	-12,3994	-44,4972	150	4	CALCÁRIO	108
BAIANÓPOLIS	VEREDA DO SAPE	-12,2997	-44,3594	45	2	CALCÁRIO	23,00 - 30,00 - 39
BAIANÓPOLIS	RODEADOR	-12,6603	-44,3100	100	12	CALCÁRIO	21 - 53 - 60
BAIANÓPOLIS	BEBEDOURO	-12,4233	-44,5600	95	6	CALCÁRIO	50,00 - 67,00 - 85
BAIANÓPOLIS	SEDE	-12,3125	-44,5375	61	7	CALCÁRIO	10,00 - 51,00
BAIANÓPOLIS	SEDE	-12,1361	-44,5411	60	9	CALCÁRIO	10,00 - 45,00
BAIANÓPOLIS	FOLHA LARGA	-12,4056	-44,5525	42	3	CALCÁRIO	40
BAIANÓPOLIS	GADO BRAVO	-12,3925	-44,5219	41	2	CALCÁRIO	20,00 - 40,00
BAIANÓPOLIS	NOVATO (VARZEA)	-12,4472	-44,6314	45	2	CALCÁRIO	45,00 - 51
BAIANÓPOLIS	CABECEIRA DE ÁGUA CLARA	-12,3817	-44,4028	60	1	CALCÁRIO / METASS.	31,00 - 41,00
BAIANÓPOLIS	OLHOS D'ÁGUA DOIS	-12,4519	-44,3238	24	0	METASSEDIMENTAR	21,00 a 22,50
BAIANÓPOLIS	MILAGRE	-12,7031	-44,5031	37	2	METASSEDIMENTAR	33,00 - 36,00
BAIANÓPOLIS	FAZ. SAN CONRADO (ISNAR) *	-12,8542	-44,3986	106	22	SEDIMENTAR	posicao de filtros
BAIANÓPOLIS	CASCUDEIRO	-12,4728	-44,3517	43	22	SEDIMENTAR	42,5
BAIANÓPOLIS	RECANTO	-12,7086	-44,5361	80		SEDIMENTAR	
BAIANÓPOLIS	CALINDÉ	-12,7289	-44,1110	62		SEDIMENTAR	posição de filtros
BAIANÓPOLIS	GUAIRAS	-12,6358	-44,2750	90		SEDIMENTAR / CALCÁRIO	15 - 24 - 75
BARREIRAS	RETIRO DE SÃO BENTO	-12,1258	-45,0167	65		ARENITO/CALCÁRIO	45,00 - 58,00
BARREIRAS	LOTEAM. JARDIM PAMPLONA	-12,1497	-45,1022	110	12	CALCÁRIO	31,00 - 99,00
BARREIRAS	BEZERRO	-12,2250	-44,8164	51	5	CALCÁRIO	19-20-21 22-23 24-2
BARREIRAS	MANGABEIRA DOIS	-11,8811	-45,1878	147	0	CALCÁRIO	62
BARREIRAS	BELA VISTA	-12,0903	-45,8072	180		SEDIMENTAR	posicao de filtros
BARREIRAS	POSTO FISC. BARR/TAGUAT	-12,3297	-46,3277	185		SEDIMENTAR	
BARREIRAS	POSTO FISC. BARR/TAGUAT	-12,3006	-46,3103	200		SEDIMENTAR	posição de filtro
BARREIRAS	POSTO FISC. BARR/DIANÓP	-11,8150	-46,3111	220		SEDIMENTAR	

MUNICIPIO	LOCALIDADE	Latitude	Longitude	Prof. (m)	NE (m)	ROCHA	Entrada água (m)
BARREIRAS	KM 30 OU CAPAO DO MEIO	-12,1350	-45,2339	27	3	SEDIMENTAR	posicao de filtros
BARREIRAS	FAZ. NOVO HORIZONTE			271	18	SEDIMENTAR	posicao de filtros
BARREIRAS	VILA DOS BURITIS						
BARREIRAS	PLACAS			156			
BARREIRAS	BELA VISTA			150	114		
BARREIRAS	KM 30 OU CAPAO DO MEIO						
BARREIRAS	PLACAS						
CÔCOS	BARREIRO GRANDE	-14,2022	-44,7108	80	16	CALCÁRIO	33,00 a 35,00
CÔCOS	CAMAÇARI DE CIMA	-14,0792	-44,5794	105	0	CALCÁRIO	72 - 91
CORIBE	FAZ. BAIXAO (JOSÉ) *	-12,3986	-44,0742	100	14	CALCÁRIO	16,00 - 77,00
CORIBE	VILA NOVA	-14,0208	-44,3878	58	3	CALCÁRIO / CRISTALINO	24
CORIBE	EMBEJADO	-14,0444	-44,3033	120		CALCÁRIO / CRISTALINO	
CORRENTINA	ITAPICURU	-13,0586	-44,9847	50		CRISTALINO	14,00 - 16,00 - 32
CORRENTINA	BACUPARI	-13,5328	-44,6678	66	4	CRISTALINO	22,00 - 30,00 - 41
CORRENTINA	BREJINHO UM	-13,3233	-44,7250	70	2	CRISTALINO	12,00 - 14,00 - 18
CORRENTINA	SUCURIU	-13,2567	-44,6711	66	3	CRISTALINO	22,00 - 31,00
CORRENTINA	BARREIRO DOIS	-13,3300	-44,8250	80	0	CRISTALINO	59,00 - 66,00
CORRENTINA	FAZ. VALE DO ARROJADO			270	54	SEDIMENTAR	posicao de filtros
CORRENTINA	ROSÁRIO	-13,9539	-46,2025	240	132	SEDIMENTAR	posição de filtros
CORRENTINA	ROSÁRIO			250			
CRISTÓPOLIS	MARRECOS	-12,2842	-44,4058	89	8	CALCÁRIO	77,00 - 85,00
CRISTÓPOLIS	GAMELEIRA	-12,2733	-44,4767	34	5	CALCÁRIO	24,00 - 26,00
CRISTÓPOLIS	SÃO JOÃO	-12,2625	-44,2389	25	13	ARENITO/CALCÁRIO	
CRISTÓPOLIS	FAZ. CABECEIRINHA	-12,2364	-43,9978	160	72	CALCÁRIO	126
CRISTÓPOLIS	ÁGUA DOCE	-12,2228	-44,3039	150	10	CALCÁRIO	99,00 - 142,00
CRISTÓPOLIS	MATA VELHA	-12,2269	-44,3972	54	17	CALCÁRIO	23
CRISTÓPOLIS	BARAUNAS	-12,2475	-44,1017	111	19	CALCÁRIO	26,00 - 30,00 - 82
CRISTÓPOLIS	CERQUINHA	-12,2139	-44,3744	120	2	CALCÁRIO	40,00 - 100,00 - 113
CRISTÓPOLIS	RIACHO DE SÃO PEDRO	-12,2814	-44,3322	40	1	CALCÁRIO	34,00 - 37,00
CRISTÓPOLIS	ESTRIBEIRAS	-12,2894	-44,3358	100	11	CALCÁRIO	63,00 a 64,00
CRISTÓPOLIS	ÁGUA DOCE	-12,2211	-44,2725	40	2	CALCÁRIO	26,00 - 33,00 - 36
CRISTÓPOLIS	FAZ. PEREIRA	-12,2247	-44,0467	75	63	CALCÁRIO	
CRISTÓPOLIS	MATA DO CEDRO	-12,2550	-44,4603	50	1	CALCÁRIO	8,00 - 15,00
CRISTÓPOLIS	LAGOA DO BOI	-12,2267	-44,0742	30		CALCÁRIO	
CRISTÓPOLIS	LIMOEIROS	-12,1981	-44,3356	150	2	CALCÁRIO	72,00 - 77,00
CRISTÓPOLIS	POÇO NOVO	-12,2125	-44,2519	80	12	CALCÁRIO	22,00 - 34,00 - 64
CRISTÓPOLIS	MATA VELHA	-12,1672	-44,2661	80	20	CALCÁRIO	31,00 - 59,00 - 67
CRISTÓPOLIS	TABOCA DE SÃO JOÃO	-12,2694	-44,2500	48	2	ARENITO/CALCÁRIO	33,00 - 47,00
CRISTÓPOLIS	AROEIRA	-12,1667	-44,2639	48	4	ARENITO/CALCÁRIO	45,00 - 47,00

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	Latitude	Longitude	Prof. (m)	NE (m)	ROCHA	Entrada água (m)
CRISTÓPOLIS	CAROA	-12,2350	-44,3764	140	0	CALCÁRIO	95,00 - 104,00 - 121
CRISTÓPOLIS	LAGOA DO OSCAR	-12,2181	-44,0961	120	21	CALCÁRIO	35,00 - 81,00 - 100
CRISTÓPOLIS	GAMELEIRA	-12,2747	-44,4969	92	2	CALCÁRIO	22,00 - 59,00
CRISTÓPOLIS	ENCHARCO	-12,2803	-44,4317	130	6	CALCÁRIO	21,00 - 82,00 - 107
CRISTÓPOLIS	CAROA	-12,2047	-44,2878	149	1	CALCÁRIO	nao informada
CRISTÓPOLIS	VEREDA DO SAPÉ	-12,3008	-44,3422	63	2	ARENITO/CALCÁRIO	62 a 63
CRISTÓPOLIS	SANTA ROSA	-12,2656	-44,3417	150	0	SEDIMENTAR / CALCÁRIO	58
CRISTÓPOLIS	PASSAGEM DO JACARE	-12,2958	-44,3069	46	6	SEDIMENTAR / CALCÁRIO	42
CRISTÓPOLIS	SEDE	-12,2381	-44,4136	60	9	SEDIMENTAR / CALCÁRIO	26
CRISTÓPOLIS	SEDE	-12,2353	-44,4161	61	3	SEDIMENTAR / CALCÁRIO	6,00 - 39,00
FORMOSA R. PRETO	FAZ. SANTA MARIA	-10,8281	-45,8294	127	75	SEDIMENTAR	posição de filtro
FORMOSA R. PRETO	FAZ. SANTA MARIA	-10,8281	-45,8294	127	71	SEDIMENTAR	posição de filtro
FORMOSA R. PRETO	FAZ. SANTA MARIA	-10,8281	-45,8044	126	56	SEDIMENTAR	posição de filtro
JABORANDI	BARBOSA	-13,4708	-44,3953	37	17	SEDIMENTAR / CALCÁRIO	31,00 a 33,00
JABORANDI	BARBOSA	-13,4944	-44,3931	32	17	SEDIMENTAR / CALCÁRIO	30,00 a 31,00
LEM	SEDE	-12,0850	-45,8067	98	19	SEDIMENTAR	posicao de filtros
LEM	SEDE	-12,0819	-45,7978	231	19	SEDIMENTAR	posicao de filtros
LEM	MURIÇOCA	-11,8867	-45,7992	48	10	SEDIMENTAR	17,00 a 18,00 - 22
LEM	SEDE			61	24		
LEM	LOTEAMENTO ARACRUZ						
LEM	LOTEAMENTO ARACRUZ						
LEM	SEDE			92	19		
LEM	SEDE			40	22		
LEM	SEDE			110	15		
LEM	LOTEAMENTO ARACRUZ			100	13		
LEM	AGROVILA UM			88	11		
LEM	AGROVILA DOIS			92	23		
LEM	AGROVILA TRÊS			45	4		
LEM	AGROVILA QUATRO			40	20		
RIACHÃO NEVES	CAPIM GROSSO	-11,7481	-44,8864	46	2	ARENITO/CALCARIO	19,00 - 22,00 - 33,00
RIACHÃO NEVES	NEVES	-11,7139	-44,8581	54	5	ARENITO/CALCARIO	39,00 - 43,00
STA Mª DA VITÓRIA	BAIXA DA VAQUETA	-13,3233	-44,5028	134	48	URUCUIA/CALCÁRIO/CRIST.	128
STA Mª DA VITÓRIA	INHAUMAS	-13,0461	-44,6242	70	0	CALCÁRIO	21,00 - 44,00 - 65,00
STA Mª DA VITÓRIA	SUSSUARANA			86	11		
SÃO DESIDÉRIO	CANABRAVAO	-12,4153	-44,8514	65	11	ARENITO/CALCARIO	19,00 - 25,00
SÃO DESIDÉRIO	PORTO ALEGRE	-12,4069	-44,7636	100	2	CALCÁRIO	57,00 - 75,00
SÃO DESIDÉRIO	PONTEZINHA	-12,9853	-44,6408	60	2	CALCÁRIO	9
SÃO DESIDÉRIO	ALVORADA	-12,6281	-45,0311	80	21	SEDIMENTAR	posicao de filtros
SÃO DESIDÉRIO	FAZ. KOBAYASHI (HÉLIO) *	-12,6800	-45,9381	100	73	SEDIMENTAR	posicao de filtros
SÃO DESIDÉRIO	FAZ. TABULEIRINHO	-12,4228	-44,8378	77	12	SEDIMENTAR	posicao de filtros
SÃO DESIDÉRIO	FAZ. TABULEIRINHO	-12,4244	-44,8358	70	28	SEDIMENTAR	posicao de filtros
SÃO DESIDÉRIO	FORQUILHA	-12,5389	-44,9447	55	24	SEDIMENTAR / CALCÁRIO	40,00 - 48,00 - 51,00
SÃO DESIDÉRIO	CENTRAL	-12,4158	-44,9786	49	28	SEDIMENTAR / CALCÁRIO	posicao de filtros
SÃO DESIDÉRIO	CAMPO GRANDE	-12,7286	-44,7033	28	1	SEDIMENTAR / METASSED.	23,00 - 26,00

MUNICIPIO	LOCALIDADE	Latitude	Longitude	Prof. (m)	NE (m)	ROCHA	Entrada água (m)
SÃO DESIDÉRIO	RODA VELHA DE BAIXO			105	6		
TAB. BREJO VELHO	JUAZEIRO	-12,6567	-44,1142	50	12	CALCÁRIO	35,00 - 39,00 - 44,00 -
TAB. BREJO VELHO	NEGRA MINAS	-12,6269	-44,2042	120	12	CALCÁRIO	71
TAB. BREJO VELHO	BARREIRO	-12,3422	-44,2961	31	3	CALCÁRIO	19,00 - 22,00
TAB. BREJO VELHO	CAMARINHA	-12,3567	-44,2258	70	7	CALCÁRIO	47,00 - 57,00 - 63,00
TAB. BREJO VELHO	CURRAL VELHO	-12,6267	-44,1156	36	15	CALCÁRIO	36
TAB. BREJO VELHO	RODRIGUES	-12,3667	-44,0736	40	14	CALCÁRIO	25,00 - 27,00 - 28,00
TAB. BREJO VELHO	BAIXA DA CINZA	-12,3250	-44,2792	40	6	CALCÁRIO	29
TAB. BREJO VELHO	OLHOS D'AGUA ALEXANDRE	-12,3566	-44,1036	160			41,00 - 142,00
TAB. BREJO VELHO	COTOVELO	-12,3772	-44,2867	43	0	CALCÁRIO	41
TAB. BREJO VELHO	BREJINHO	-12,4219	-44,1708	80	5	CALCÁRIO	41,00 - 48,00 - 57,00
TAB. BREJO VELHO	JOSE FRANCISCO	-12,7494	-44,1592	42	5	CALCÁRIO	8,00 - 14,00 - 21,00 -
TAB. BREJO VELHO	VARZEA COMPRIDA	-12,3917	-44,2683	51	1	CALCÁRIO	21
TAB. BREJO VELHO	POCO DO MATO	-12,6181	-44,1219	90	18	CALCÁRIO	38 - 57 - 60 - 67 - 75
TAB. BREJO VELHO	LAGOA GRANDE	-12,3639	-44,2494	100		CALCÁRIO	39 - 41
TAB. BREJO VELHO	LAGOA GRANDE	-12,3639	-44,2494	100	6	CALCÁRIO	35 a 36 - 49 a 50 - 61
TAB. BREJO VELHO	EMATOBAS	-12,3597	-44,0092	150	18	CALCÁRIO / METASS.	76,00 - 124,00
TAB. BREJO VELHO	MOCAMBO	-12,4644	-44,3169	60		SEDIMENTAR	
TAB. BREJO VELHO	MOCAMBO	-12,4644	-44,3167	57	9	SEDIMENTAR	posicao de filtros

GEOFÍSICA

Relação dos pontos de geofísica utilizados (número e coordenada geográfica)

Levantamento final (2005)

Nº Loop	Coordenada Geográfica (em graus)	
	Latitude	Longitude
Loop01	-11,3230400	-46,1128300
Loop02	-11,2143162	-45,9135871
Loop03	-11,4776817	-46,2466316
Loop04	-11,2634594	-46,5172559
Loop05	-10,9977649	-46,1346983
Loop06	-10,8984805	-46,1096242
Loop07	-11,9597667	-46,3330367
Loop08	-11,9960886	-45,9555636
Loop09	-12,4497575	-45,7223301
Loop10	excluído	
Loop11	-12,8380391	-45,8787612
Loop12	-12,6434395	-45,5794752
Loop13	-12,4770573	-45,3113835
Loop14	-12,8305023	-45,5486140
Loop15*	-12,9753742	-45,8436888
Loop16	-13,2316370	-45,8540955
Loop17	-13,1227938	-45,4169116
Loop18	-13,1953041	-45,2380300
Loop19	-13,2985853	-45,6360592
Loop20	-13,5723801	-45,9343424
Loop21	-13,4725000	-45,5255737
Loop22	-13,6536457	-45,5876395
Loop23	-14,5463281	-45,7558578
Loop24	-14,2973814	-45,6289890
Loop25	-14,2740139	-45,7881778
Loop26	-14,0649518	-45,7116433

* Sondagem não processada

Levantamento teste (2004)

Nº Loop	Coordenada Geográfica (em graus)	
	Latitude	Longitude
Loop10	-13,9429808	-46,2694842
Loop11	-13,9784611	-46,1762721
Loop12	-13,9735044	-46,0854847

Planilhas dos Loops 1 ao 26 (do levantamento final)

Loop 1- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,6254E-04	3.762,20
0,0002543	1,0604E-04	3.165,60
0,0003153	8,1926E-05	2.627,37
0,0003764	6,8843E-05	2.196,47
0,0004667	5,7954E-05	1.721,00
0,0005891	4,7223E-05	1.338,43
0,0007113	4,0499E-05	1.082,83
0,0008623	3,4568E-05	873,16
0,001046	2,7526E-05	736,92
0,001286	2,2215E-05	602,47
0,00162	1,6684E-05	496,42
0,002016	1,2265E-05	423,39
0,0025	8,7583E-06	369,89
0,003108	5,7424E-06	341,19
0,003893	3,7320E-06	312,77
0,004923	2,1435E-06	305,70
0,006199	1,1703E-06	313,62

Loop 2- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,3363E-04	4.287,03
0,0002543	1,1319E-04	3.030,73
0,0003153	9,7151E-05	2.344,60
0,0003764	8,4677E-05	1.913,27
0,0004667	6,7664E-05	1.552,40
0,0005891	5,2678E-05	1.244,33
0,0007113	4,0376E-05	1.085,00
0,0008623	3,0760E-05	943,78
0,001046	2,2170E-05	851,43
0,001286	1,4657E-05	794,91
0,00162	9,4327E-06	726,28
0,002016	6,1276E-06	672,24
0,0025	3,7012E-06	658,15
0,003108	2,6341E-06	586,11
0,003893	1,7365E-06	523,63
0,004923	1,1133E-06	473,92
0,006199	7,9393E-07	439,79

Loop 3- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	6,0089E-05	7.305,53
0,0002543	5,6796E-05	4.802,17
0,0003153	5,3760E-05	3.480,10
0,0003764	5,0202E-05	2.711,13
0,0004667	4,4842E-05	2.042,30
0,0005891	3,9822E-05	1.499,37
0,0007113	3,4957E-05	1.194,83
0,0008623	3,0442E-05	950,72
0,001046	2,5204E-05	782,02
0,001286	2,0910E-05	627,82
0,00162	1,5866E-05	514,21
0,002016	1,1384E-05	445,32
0,0025	8,6371E-06	373,49
0,003108	5,6252E-06	346,76
0,003893	3,8399E-06	308,11
0,004923	2,5263E-06	273,93

Loop 4- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	6,2340E-05	7.127,37
0,0002543	4,7046E-05	5.442,60
0,0003153	4,3236E-05	4.022,30
0,0003764	4,0937E-05	3.106,30
0,0004667	3,4751E-05	2.420,87
0,0005891	2,9299E-05	1.840,23
0,0007113	2,4230E-05	1.525,03
0,0008623	2,0095E-05	1.253,83
0,001046	1,6377E-05	1.041,83
0,001286	1,2407E-05	889,16
0,00162	8,3107E-06	791,15
0,002016	5,8323E-06	695,69
0,0025	3,8316E-06	645,00
0,003108	2,8414E-06	546,37
0,003893	1,6455E-06	544,65
0,004923	1,2430E-06	445,99
0,006199	8,1030E-07	400,90
0,007775	4,7073E-07	404,69

Loop 5- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	4,1703E-05	9.318,13
0,0002543	3,9425E-05	6.122,67
0,0003153	3,8587E-05	4.340,60
0,0003764	3,7409E-05	3.299,23
0,0004667	3,5562E-05	2.383,90
0,0005891	3,0785E-05	1.781,67
0,0007113	2,8172E-05	1.379,60
0,0008623	2,4631E-05	1.095,90
0,001046	2,0259E-05	903,86
0,001286	1,6688E-05	729,98
0,00162	1,2487E-05	602,70
0,002016	9,6746E-06	496,24
0,0025	7,1773E-06	424,91
0,003108	4,9477E-06	381,78
0,003893	3,2640E-06	343,48
0,004923	2,1131E-06	313,27
0,006199	1,4136E-06	275,34

Loop 6- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	7,7275E-05	6.176,50
0,0002543	6,7420E-05	4.282,47
0,0003153	6,0647E-05	3.211,27
0,0003764	5,3031E-05	2.614,07
0,0004667	4,6598E-05	1.990,37
0,0005891	3,9005E-05	1.520,80
0,0007113	3,3006E-05	1.241,00
0,0008623	2,8664E-05	989,25
0,001046	2,4430E-05	797,82
0,001286	2,1067E-05	624,38
0,00162	1,7872E-05	474,02
0,002016	1,4475E-05	378,95
0,0025	1,1948E-05	300,67
0,003108	9,3415E-06	246,60
0,003893	7,0880E-06	203,72
0,004923	4,9126E-06	176,24
0,006199	3,6160E-06	147,11
0,007775	2,1779E-06	141,28
0,009748	1,4827E-06	127,72
0,01226	8,6613E-07	122,40
0,01545	5,5487E-07	112,86
0,01939	3,2417E-07	111,85
0,02436	1,9047E-07	126,12
0,03066	1,0037E-07	141,45

Loop 7 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	2,3741E-04	2.922,60
0,0002543	1,6391E-04	2.367,87
0,0003153	1,2797E-04	1.951,23
0,0003764	1,0053E-04	1.706,47
0,0004667	7,3560E-05	1.468,20
0,0005891	5,1059E-05	1.271,03
0,0007113	3,5546E-05	1.181,37
0,0008623	2,5571E-05	1.067,67
0,001046	1,7758E-05	987,75
0,001286	1,2191E-05	899,69
0,00162	8,1137E-06	804,33
0,002016	5,6143E-06	719,63
0,0025	3,6763E-06	667,61
0,003108	2,7516E-06	568,37
0,003893	1,9070E-06	492,75
0,004923	1,6691E-06	361,05

Loop 8- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0002543	2,6678E-05	7.952,47
0,0003153	2,8859E-05	5.272,07
0,0003764	2,8484E-05	3.959,97
0,0004667	2,8368E-05	2.771,60
0,0005891	2,7486E-05	1.919,93
0,0007113	2,4398E-05	1.518,50
0,0008623	2,3097E-05	1.142,97
0,001046	2,0274E-05	903,58
0,001286	1,7413E-05	708,83
0,00162	1,4037E-05	556,57
0,002016	1,1334E-05	446,40
0,0025	9,0722E-06	361,29
0,003108	6,5891E-06	311,43
0,003893	4,5370E-06	274,23
0,004923	3,1446E-06	238,29
0,006199	2,2254E-06	205,62
0,007775	1,3527E-06	195,77
0,009748	8,9990E-07	174,97
0,01226	5,3190E-07	182,23

Loop 9- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	8,4812E-05	5.805,03
0,0002543	7,9166E-05	3.846,70
0,0003153	7,1850E-05	2.867,27
0,0003764	6,9776E-05	2.176,83
0,0004667	6,3578E-05	1.618,07
0,0005891	5,7365E-05	1.175,63
0,0007113	5,1656E-05	920,64
0,0008623	4,6310E-05	718,48
0,001046	3,9485E-05	579,29
0,001286	3,3704E-05	456,27
0,00162	2,6931E-05	360,51
0,002016	2,1649E-05	289,76
0,0025	1,6708E-05	240,45
0,003108	1,2205E-05	206,37
0,003893	8,8665E-06	175,49
0,004923	6,0070E-06	153,82
0,006199	3,5893E-06	147,59
0,007775	2,5423E-06	127,33
0,009748	1,5108E-06	123,74
0,01226	9,0373E-07	121,35
0,01545	5,7313E-07	109,88
0,01939	3,1743E-07	118,59

Loop 10: excluído

Loop 11- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0003153	4,3423E-05	4.010,80
0,0003764	4,0539E-05	3.127,40
0,0004667	3,8164E-05	2.273,87
0,0005891	3,2860E-05	1.705,03
0,0007113	3,2593E-05	1.252,40
0,0008623	2,8802E-05	986,65
0,001046	2,5070E-05	784,17
0,001286	2,2464E-05	598,04
0,00162	1,8650E-05	460,57
0,002016	1,5471E-05	362,45
0,0025	1,1533E-05	307,82
0,003108	8,9815E-06	253,59
0,003893	6,4331E-06	217,36
0,004923	4,1978E-06	195,65
0,006199	3,0405E-06	166,26
0,007775	1,8409E-06	157,94
0,009748	1,2853E-06	138,54
0,01226	7,6673E-07	132,99

Loop 12- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,4021E-04	4.151,90
0,0002543	1,2779E-04	2.795,30
0,0003153	1,1799E-04	2.059,70
0,0003764	1,0979E-04	1.609,13
0,0004667	9,8818E-05	1.205,83
0,0005891	8,5526E-05	900,74
0,0007113	7,7224E-05	704,17
0,0008623	6,4961E-05	573,41
0,001046	5,5210E-05	463,27
0,001286	4,5296E-05	374,68
0,00162	3,4512E-05	305,55
0,002016	2,6642E-05	252,41
0,0025	1,8994E-05	220,75
0,003108	1,3754E-05	190,53
0,003893	9,5967E-06	166,40
0,004923	5,8714E-06	156,78
0,006199	3,8128E-06	141,89
0,007775	1,9864E-06	151,82
0,009748	1,6074E-06	118,75

Loop 13- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,7213E-03	780,17
0,0002543	1,4410E-03	555,87
0,0003153	1,2443E-03	428,30
0,0003764	1,0855E-03	349,30
0,0004667	8,9278E-04	277,97
0,0005891	7,0227E-04	221,30
0,0007113	5,6108E-04	187,71
0,0008623	4,3493E-04	161,41
0,001046	3,2230E-04	142,89
0,001286	2,2707E-04	127,91
0,00162	1,4859E-04	115,45
0,002016	9,6207E-05	107,17
0,0025	6,0041E-05	102,48
0,003108	3,6016E-05	100,31
0,003893	2,1024E-05	98,75
0,004923	1,0624E-05	105,29
0,006199	6,0390E-06	104,48
0,007775	3,1023E-06	112,48
0,009748	1,6022E-06	143,32

Loop 14- 2Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,9778E-04	3.301,07
0,0002543	1,5608E-04	2.446,33
0,0003153	1,3980E-04	1.839,50
0,0003764	1,2657E-04	1.463,50
0,0004667	1,1398E-04	1.096,33
0,0005891	9,9284E-05	815,45
0,0007113	8,7488E-05	648,01
0,0008623	7,5234E-05	519,91
0,001046	6,3636E-05	421,42
0,001286	5,2553E-05	339,33
0,00162	4,1085E-05	272,02
0,002016	3,0061E-05	232,77
0,0025	2,2049E-05	199,86
0,003108	1,5514E-05	175,87
0,003893	1,0423E-05	157,54
0,004923	6,6235E-06	144,14
0,006199	4,2223E-06	132,56
0,007775	2,4886E-06	129,49
0,009748	1,6341E-06	117,89

Loop 15: não processado

Loop 16- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0002543	5,1563E-05	5.133,63
0,0003153	5,0770E-05	3.623,77
0,0003764	4,4971E-05	2.923,27
0,0004667	4,4672E-05	2.047,17
0,0005891	4,0396E-05	1.485,93
0,0007113	3,6800E-05	1.154,23
0,0008623	3,3413E-05	893,39
0,001046	2,9410E-05	705,06
0,001286	2,5417E-05	550,92
0,00162	2,0993E-05	425,77
0,002016	1,6588E-05	345,99
0,0025	1,2556E-05	291,07
0,003108	9,6422E-06	241,68
0,003893	6,5906E-06	214,48
0,004923	4,3524E-06	190,66
0,006199	3,1712E-06	160,47
0,007775	2,2996E-06	136,25
0,009748	1,4929E-06	124,85
0,01226	9,7277E-07	118,22

Loop 17- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	2,5287E-04	2.802,27
0,0002543	2,0716E-04	2.025,57
0,0003153	1,9016E-04	1.498,37
0,0003764	1,7407E-04	1.183,37
0,0004667	1,5509E-04	892,85
0,0005891	1,3279E-04	671,75
0,0007113	1,1665E-04	534,91
0,0008623	9,9580E-05	431,28
0,001046	8,1075E-05	358,58
0,001286	6,4634E-05	295,59
0,00162	4,8458E-05	243,70
0,002016	3,4044E-05	214,23
0,0025	2,4602E-05	185,81
0,003108	1,6387E-05	169,56
0,003893	9,7773E-06	164,78
0,004923	6,2853E-06	149,39
0,006199	3,4245E-06	153,11
0,007775	1,7586E-06	163,12

Loop 18- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	6,8916E-04	1.436,20
0,0002543	5,6850E-04	1.033,37
0,0003153	4,9595E-04	790,80
0,0003764	4,4001E-04	637,73
0,0004667	3,7363E-04	496,83
0,0005891	3,0599E-04	385,05
0,0007113	2,5471E-04	317,79
0,0008623	2,0612E-04	265,52
0,001046	1,5835E-04	229,49
0,001286	1,1823E-04	197,63
0,00162	8,0588E-05	173,60
0,002016	5,2796E-05	159,90
0,0025	3,3798E-05	150,37
0,003108	2,0539E-05	145,83
0,003893	1,2228E-05	141,70
0,004923	6,7439E-06	142,35
0,006199	3,6768E-06	145,40
0,007775	1,7428E-06	164,42
0,009748	1,0499E-06	159,70
0,01226	6,6017E-07	151,57

Loop 19- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,1004E-04	4.879,73
0,0002543	8,4932E-05	3.670,30
0,0003153	7,9390E-05	2.682,37
0,0003764	7,4146E-05	2.090,40
0,0004667	6,8134E-05	1.544,97
0,0005891	5,9502E-05	1.147,20
0,0007113	5,4606E-05	887,22
0,0008623	4,8197E-05	699,64
0,001046	4,1729E-05	558,35
0,001286	3,5252E-05	442,81
0,00162	2,8311E-05	348,77
0,002016	2,2374E-05	283,41
0,0025	1,7118E-05	236,66
0,003108	1,2537E-05	202,74
0,003893	8,7023E-06	177,71
0,004923	5,7658E-06	158,12
0,006199	3,8791E-06	140,62
0,007775	2,5838E-06	126,26
0,009748	1,4860E-06	125,76
0,01226	9,8640E-07	112,58

Loop 20- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,4731E-04	4.017,27
0,0002543	1,2204E-04	2.882,47
0,0003153	1,1289E-04	2.121,33
0,0003764	1,0793E-04	1.627,47
0,0004667	9,7052E-05	1.220,37
0,0005891	8,4649E-05	907,00
0,0007113	7,4421E-05	721,77
0,0008623	6,3703E-05	580,89
0,001046	5,2157E-05	481,19
0,001286	4,0878E-05	401,20
0,00162	3,0737E-05	330,08
0,002016	2,2078E-05	285,95
0,0025	1,5548E-05	252,25
0,003108	1,0450E-05	228,90
0,003893	6,5054E-06	215,75
0,004923	3,8952E-06	205,21
0,006199	2,1519E-06	207,94
0,007775	1,1756E-06	214,90

Loop 21- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,3423E-04	4.274,17
0,0002543	1,1349E-04	3.025,93
0,0003153	1,0292E-04	2.256,23
0,0003764	9,5090E-05	1.770,93
0,0004667	8,2949E-05	1.355,07
0,0005891	7,1117E-05	1.018,67
0,0007113	6,3245E-05	804,60
0,0008623	5,5156E-05	639,44
0,001046	4,6525E-05	519,43
0,001286	3,9871E-05	407,91
0,00162	3,2745E-05	316,48
0,002016	2,5684E-05	258,57
0,0025	1,9892E-05	214,10
0,003108	1,5180E-05	178,42
0,003893	1,0464E-05	157,22
0,004923	7,3851E-06	133,98
0,006199	4,8110E-06	121,42
0,007775	3,0720E-06	112,68
0,009748	1,9963E-06	105,40

Loop 22- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,2025E-04	4.600,23
0,0002543	1,0545E-04	3.177,27
0,0003153	9,5521E-05	2.371,17
0,0003764	8,6344E-05	1.888,60
0,0004667	7,7740E-05	1.414,97
0,0005891	6,6937E-05	1.060,73
0,0007113	5,8729E-05	845,25
0,0008623	5,0453E-05	678,70
0,001046	4,2978E-05	547,50
0,001286	3,5394E-05	441,65
0,00162	2,7826E-05	352,81
0,002016	2,1196E-05	294,06
0,0025	1,6387E-05	243,64
0,003108	1,1863E-05	210,26
0,003893	8,2121E-06	184,90
0,004923	5,4571E-06	164,55
0,006199	3,3084E-06	157,22
0,007775	2,1001E-06	147,11
0,009748	1,2588E-06	150,10
0,01226	9,4360E-07	120,50
0,01545	7,7033E-07	93,84

Loop 23- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	1,0847E-03	1.061,37
0,0002543	8,6653E-04	780,23
0,0003153	7,1656E-04	618,76
0,0003764	6,0306E-04	516,86
0,0004667	4,7461E-04	423,59
0,0005891	3,5228E-04	350,53
0,0007113	2,6938E-04	306,14
0,0008623	1,9845E-04	272,33
0,001046	1,4056E-04	248,46
0,001286	9,6032E-05	227,02
0,00162	6,0195E-05	210,89
0,002016	3,8127E-05	198,69
0,0025	2,3284E-05	192,78
0,003108	1,4523E-05	183,77
0,003893	8,8804E-06	175,61
0,004923	5,0351E-06	173,05
0,006199	3,0403E-06	165,94
0,007775	1,6645E-06	173,34
0,009748	1,0088E-06	171,12
0,01226	4,7930E-07	423,03

Loop 24- 2 Hz

Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	7,7816E-04	1.324,43
0,0002543	6,4659E-04	948,40
0,0003153	5,4545E-04	742,21
0,0003764	4,6422E-04	615,37
0,0004667	3,7003E-04	500,04
0,0005891	2,7701E-04	411,45
0,0007113	2,1228E-04	358,83
0,0008623	1,5653E-04	319,00
0,001046	1,0986E-04	292,83
0,001286	7,4820E-05	268,12
0,00162	4,5862E-05	252,88
0,002016	2,8082E-05	243,92
0,0025	1,6059E-05	246,89
0,003108	9,4546E-06	244,93
0,003893	4,9591E-06	260,01
0,004923	2,4028E-06	283,35
0,006199	1,3926E-06	279,63
0,007775	4,9003E-07	397,29

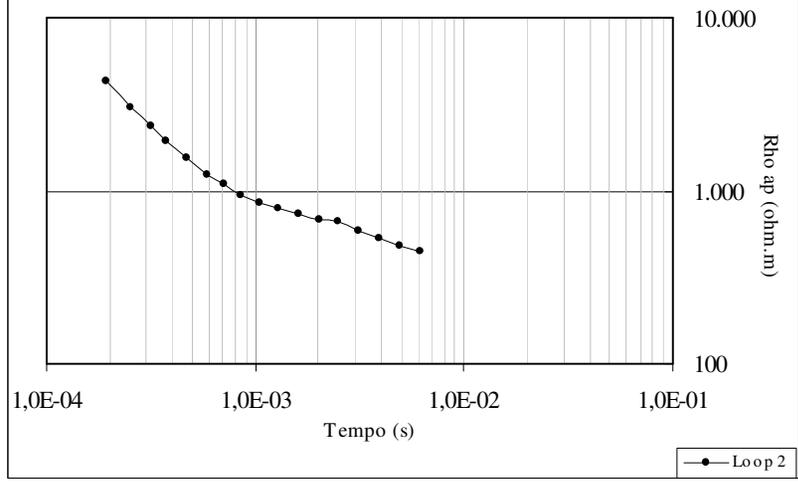
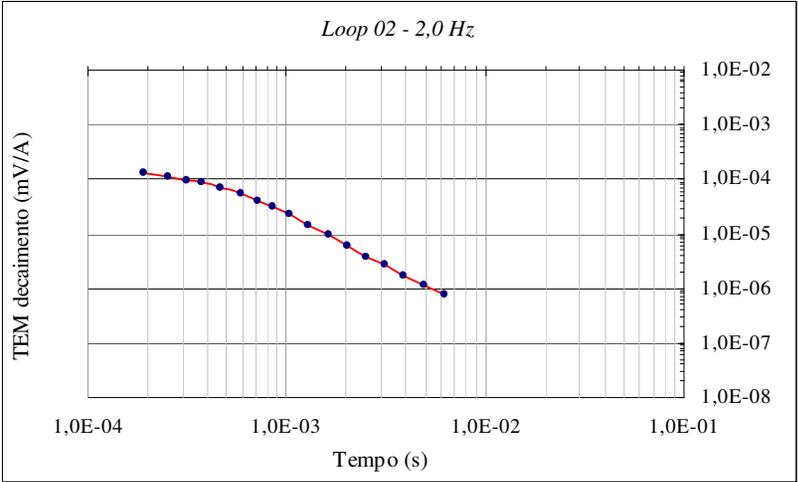
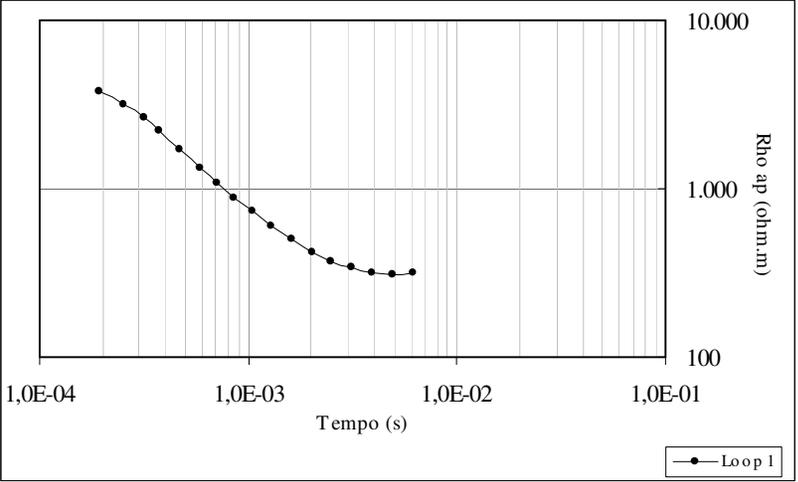
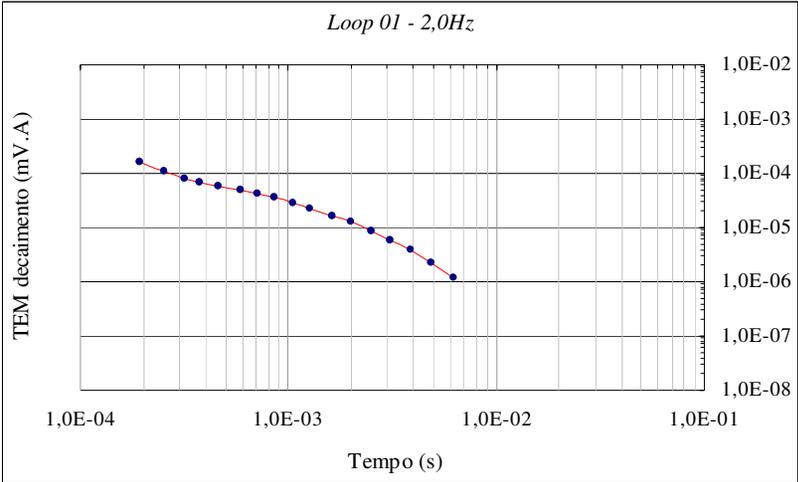
Loop 25- 2 Hz

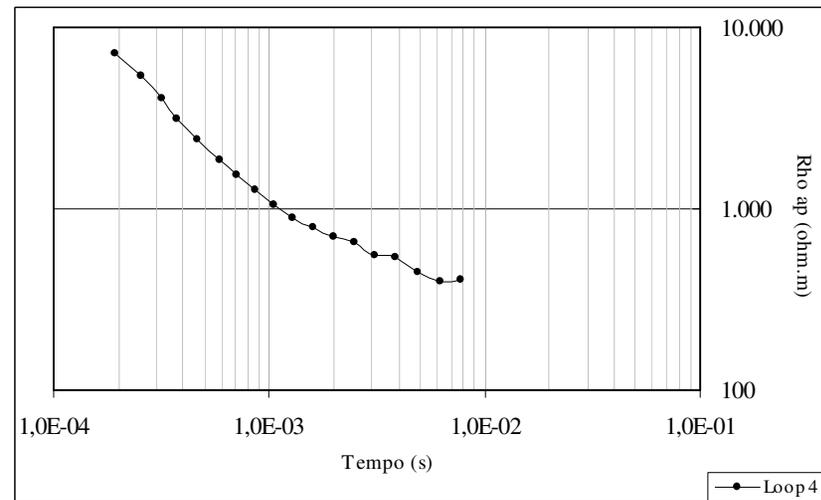
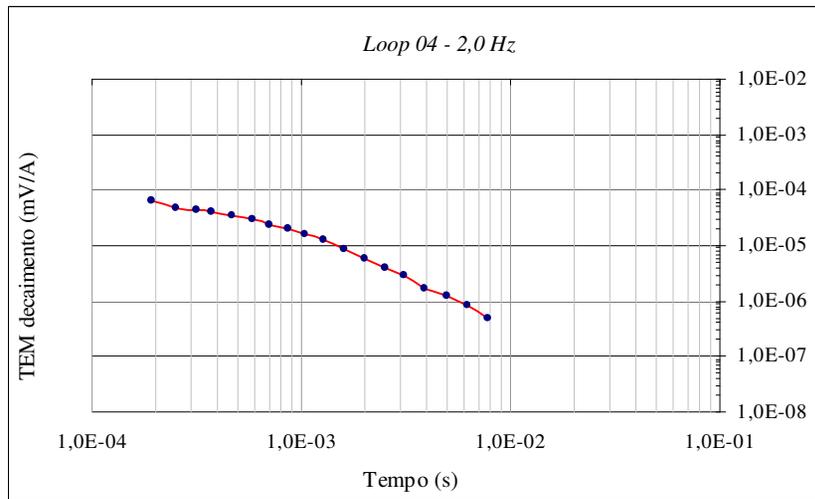
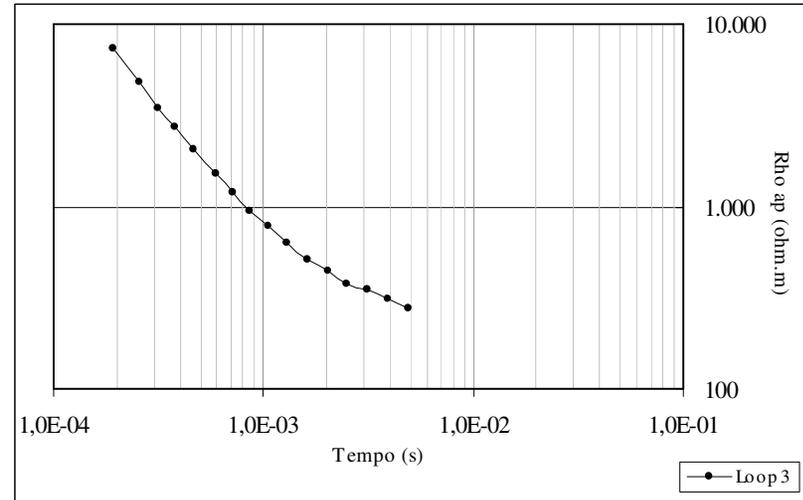
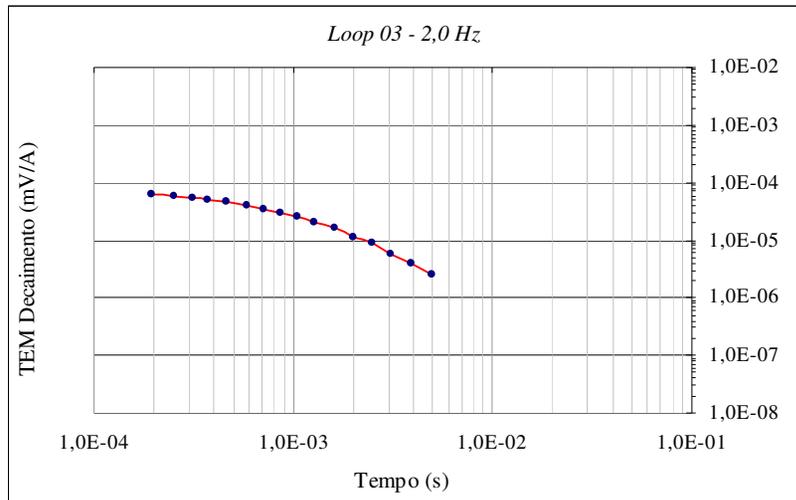
Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	6,8854E-04	1.437,03
0,0002543	5,5547E-04	1.049,50
0,0003153	4,5557E-04	836,87
0,0003764	3,7677E-04	707,25
0,0004667	2,8966E-04	588,71
0,0005891	2,0841E-04	497,41
0,0007113	1,5472E-04	443,07
0,0008623	1,1069E-04	401,91
0,001046	7,4434E-05	379,63
0,001286	4,8561E-05	357,79
0,00162	2,8400E-05	348,16
0,002016	1,6391E-05	349,34
0,0025	8,2546E-06	391,45
0,003108	4,3843E-06	419,36
0,003893	2,7498E-06	399,31
0,004923	1,2554E-06	458,10
0,006199	5,8520E-07	494,53

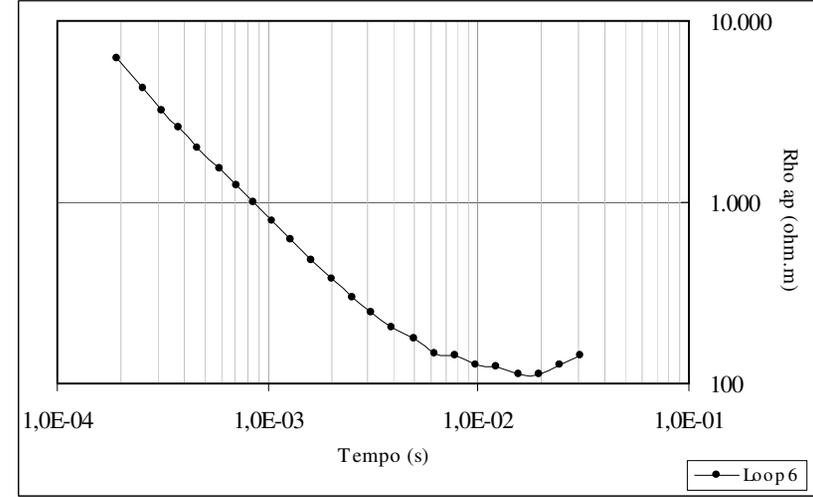
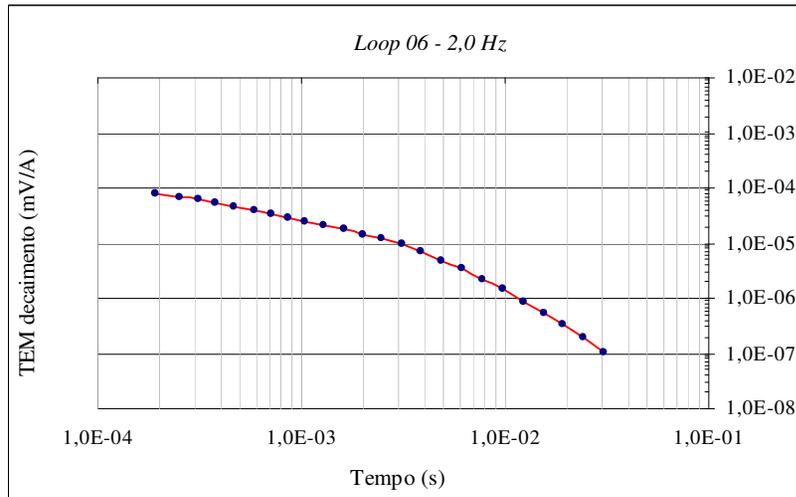
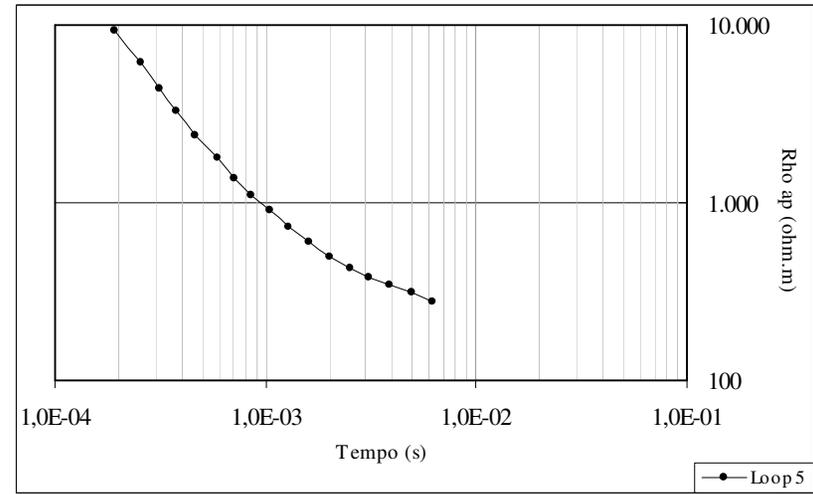
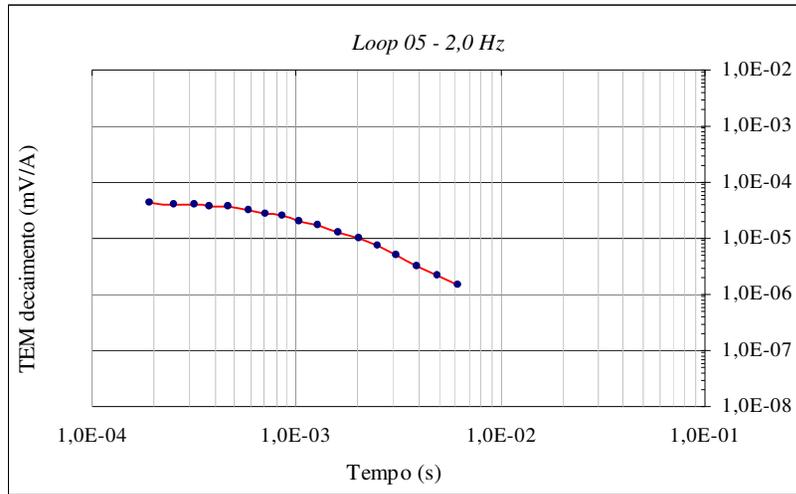
Loop 26- 2 Hz

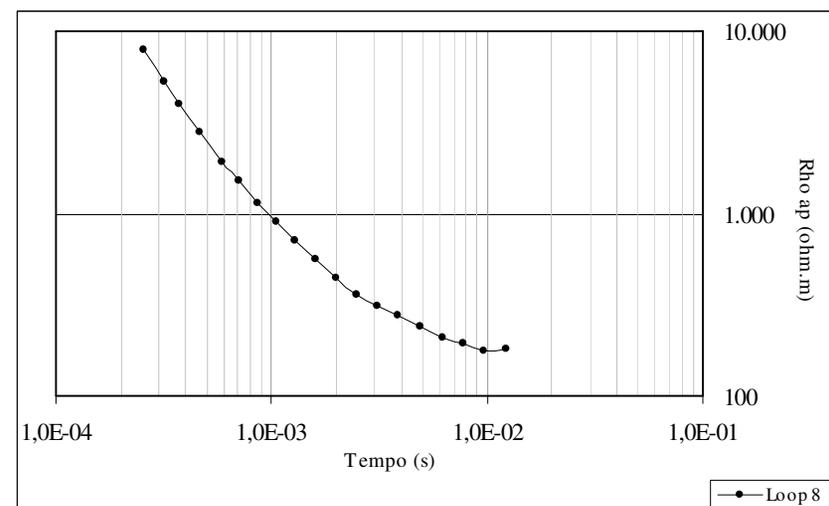
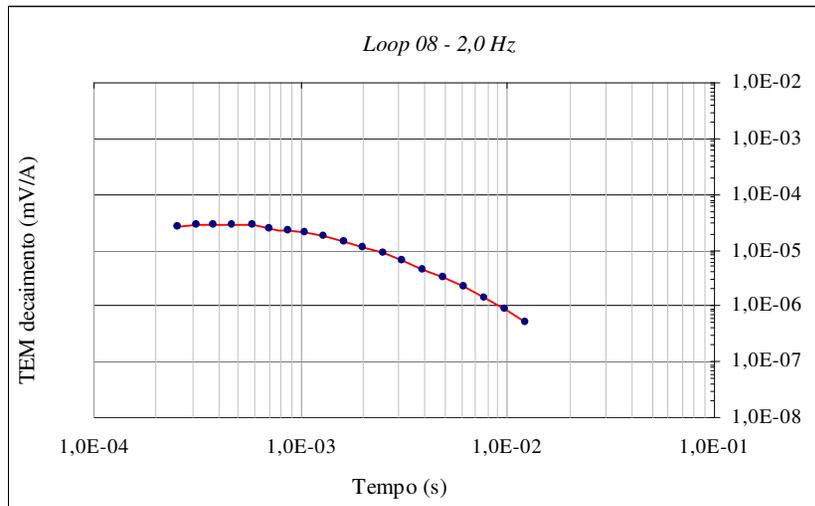
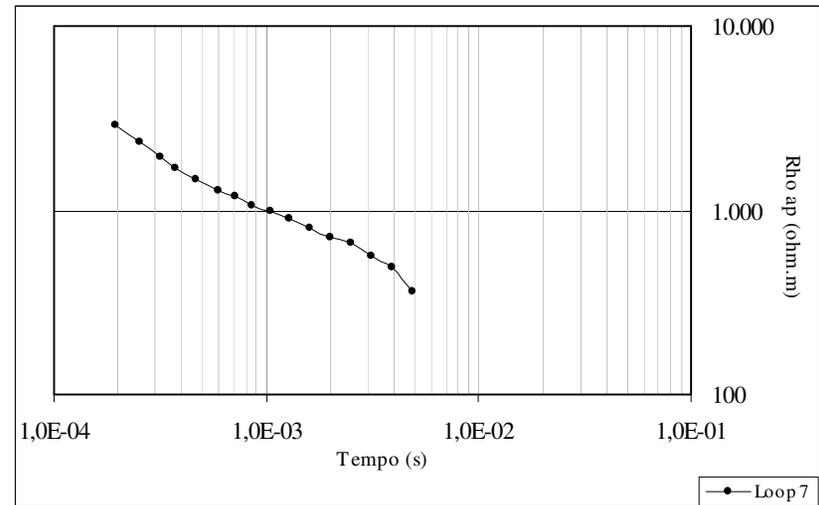
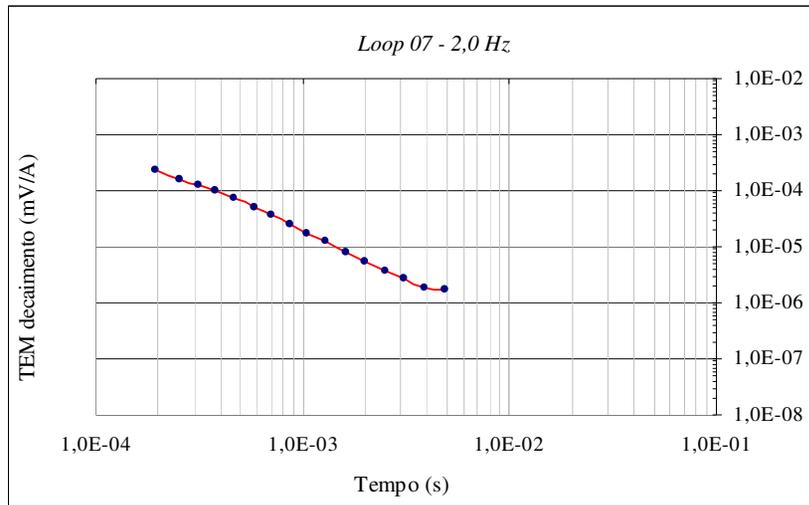
Tempo (s)	TEM Decaimento (mV/A)	Rho ap (ohm.m)
0,0001932	3,0283E-04	2.484,77
0,0002543	2,5521E-04	1.762,57
0,0003153	2,1714E-04	1.371,50
0,0003764	1,8586E-04	1.132,83
0,0004667	1,4935E-04	915,56
0,0005891	1,1233E-04	751,04
0,0007113	8,6421E-05	653,27
0,0008623	6,3559E-05	581,76
0,001046	4,4748E-05	532,97
0,001286	2,9938E-05	493,77
0,00162	1,8336E-05	465,79
0,002016	1,1497E-05	442,48
0,0025	7,0174E-06	430,07
0,003108	4,0476E-06	433,58
0,003893	2,4343E-06	426,91
0,004923	1,5774E-06	378,40
0,006199	1,1861E-06	310,96

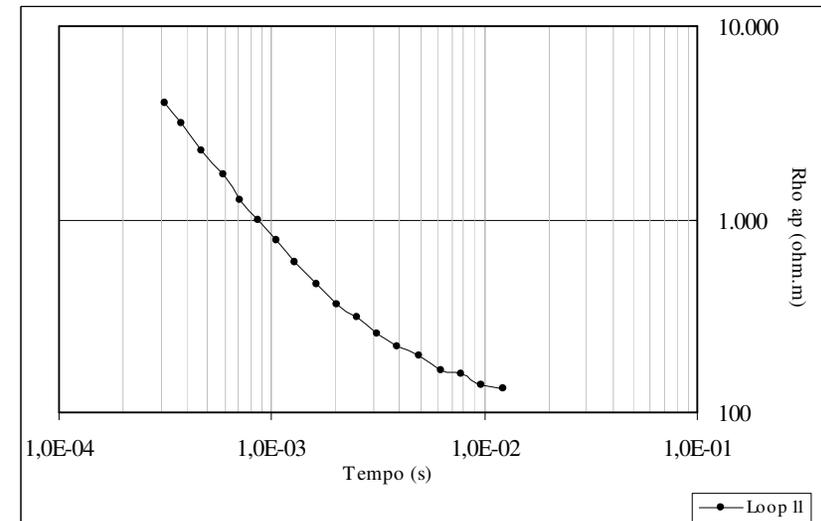
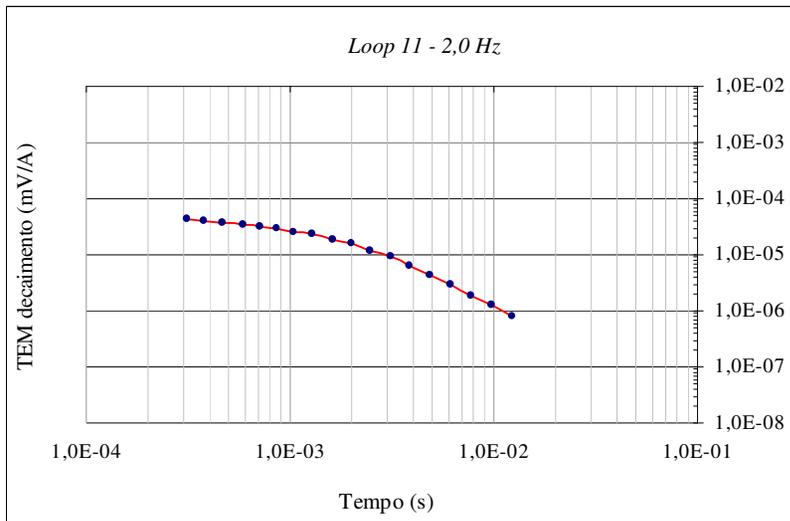
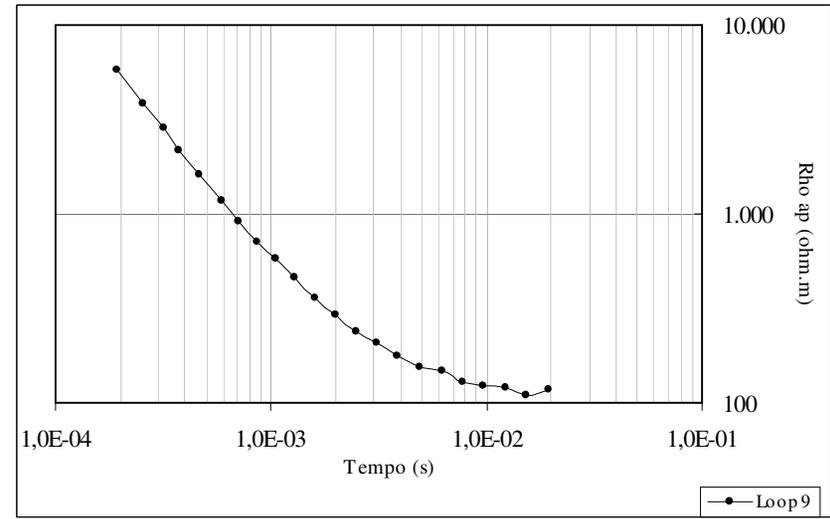
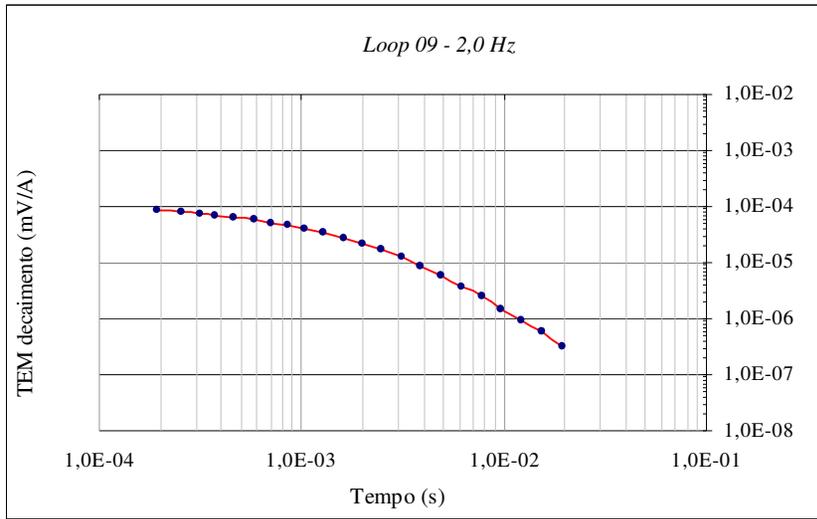
Gráficos de campo do tempo (s) versus TEM decaimento (mV.A) dos loops 1 ao 26

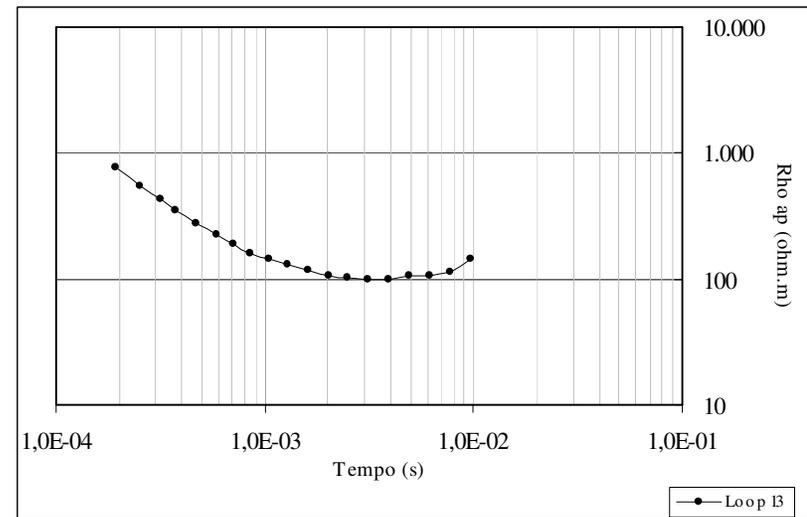
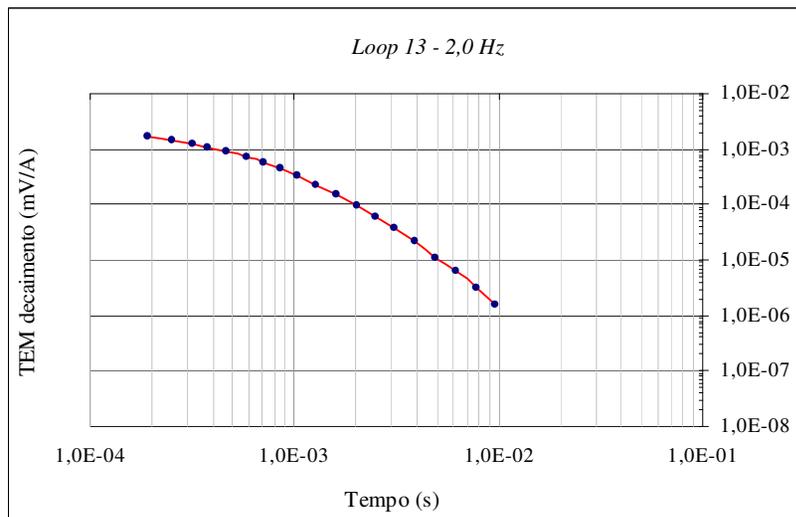
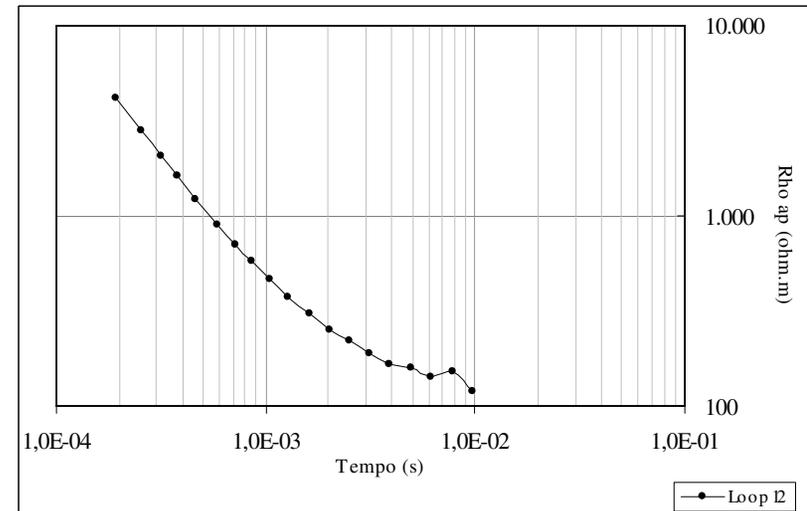
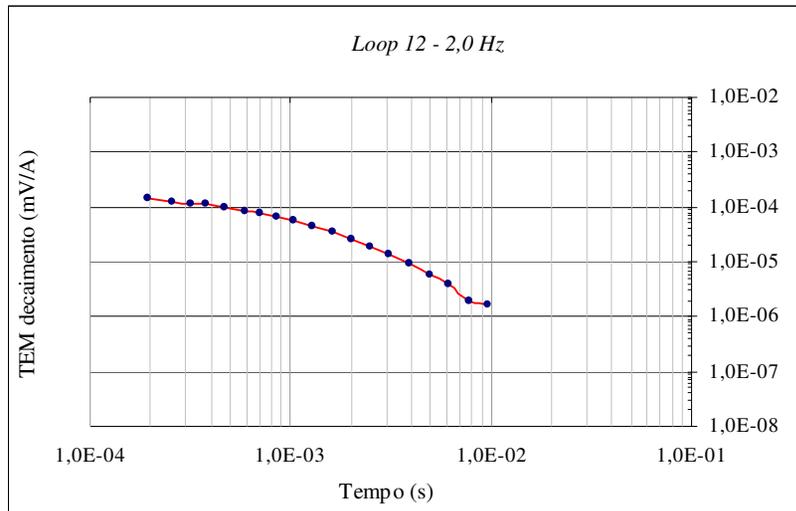


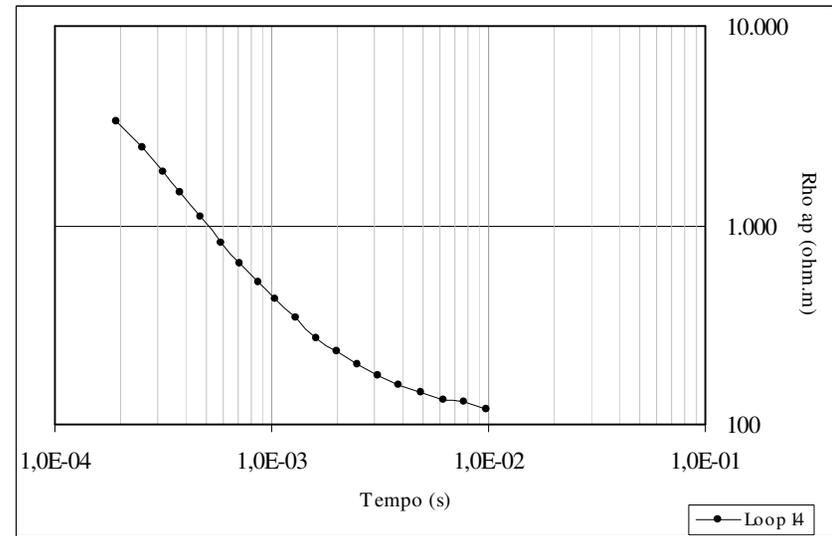
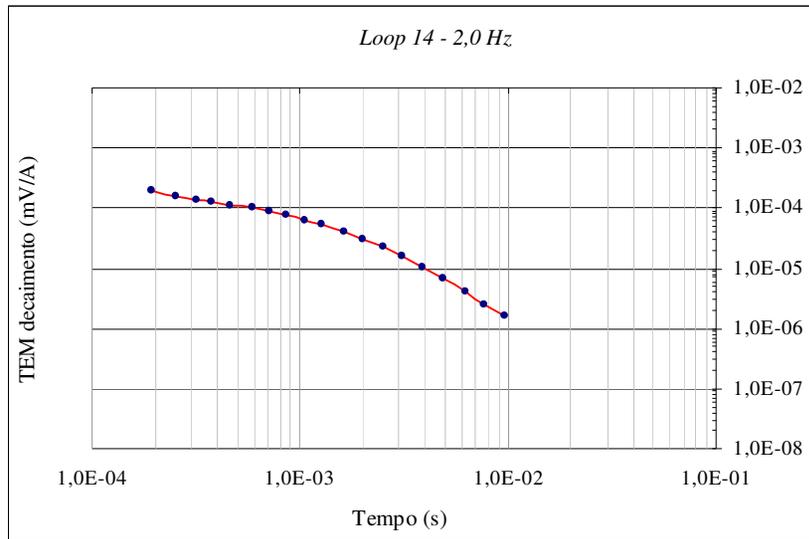




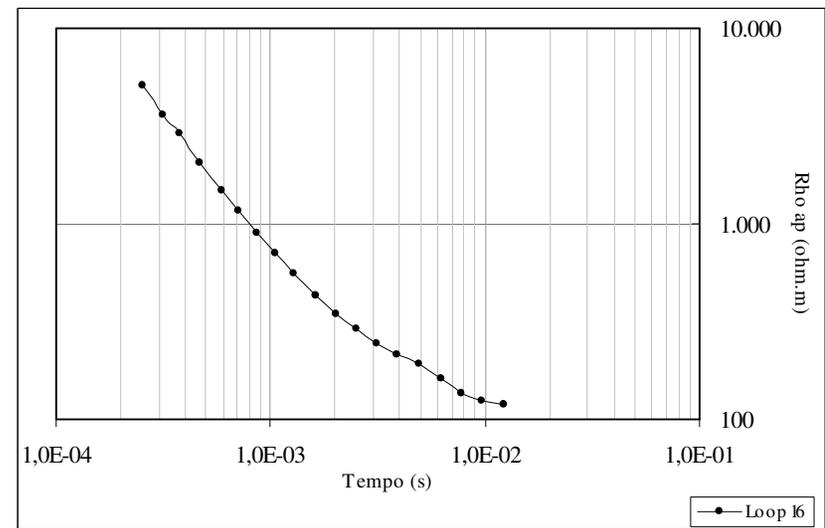
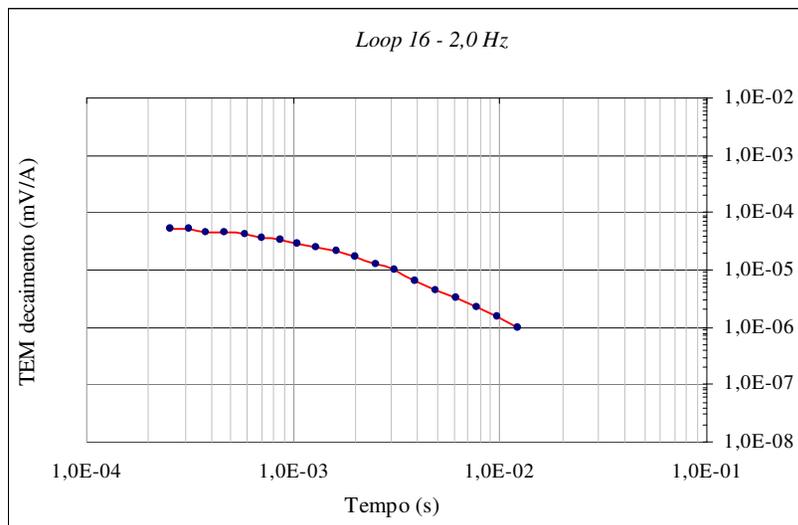


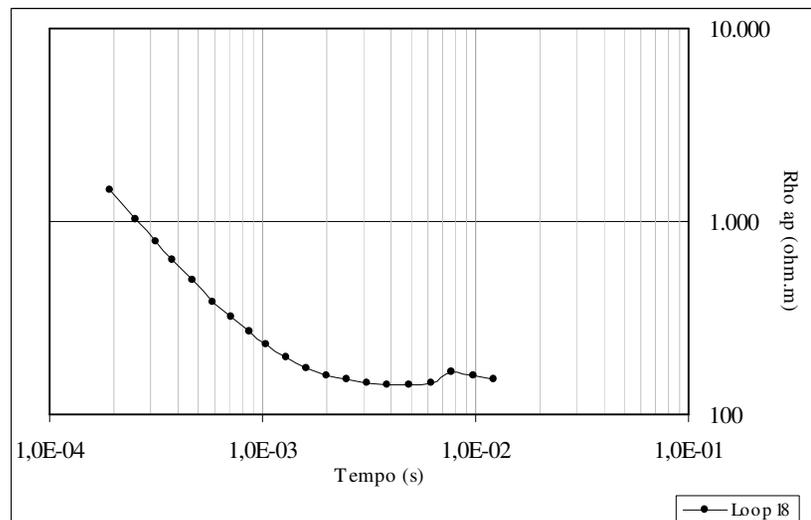
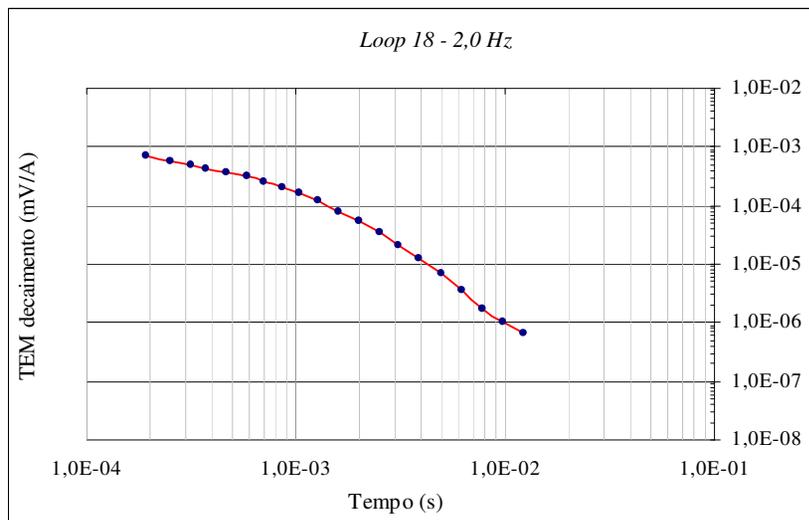
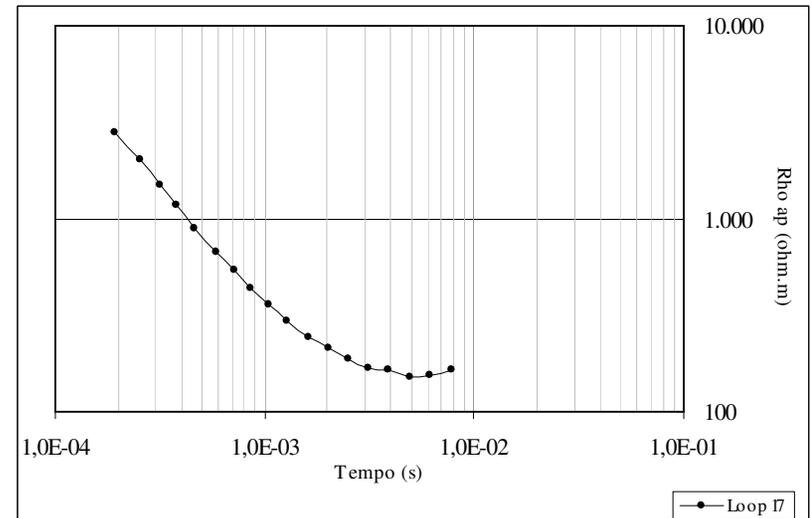
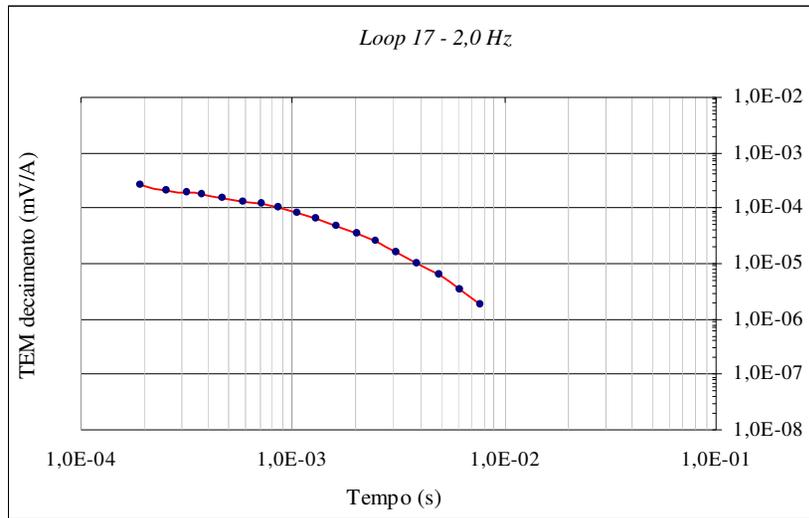


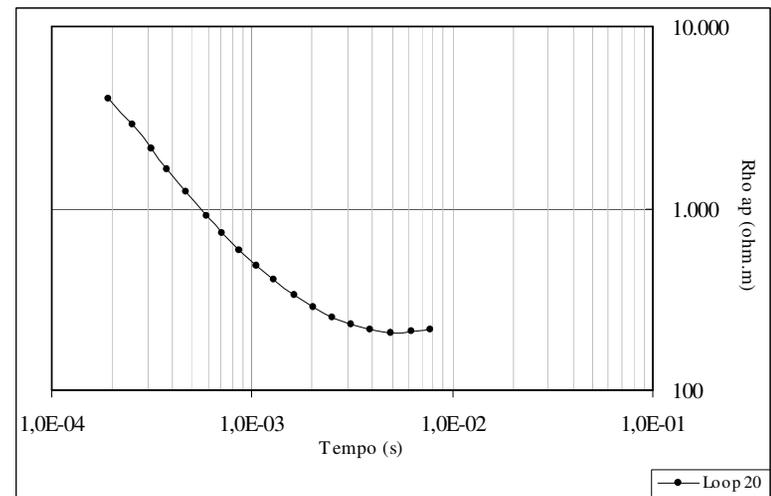
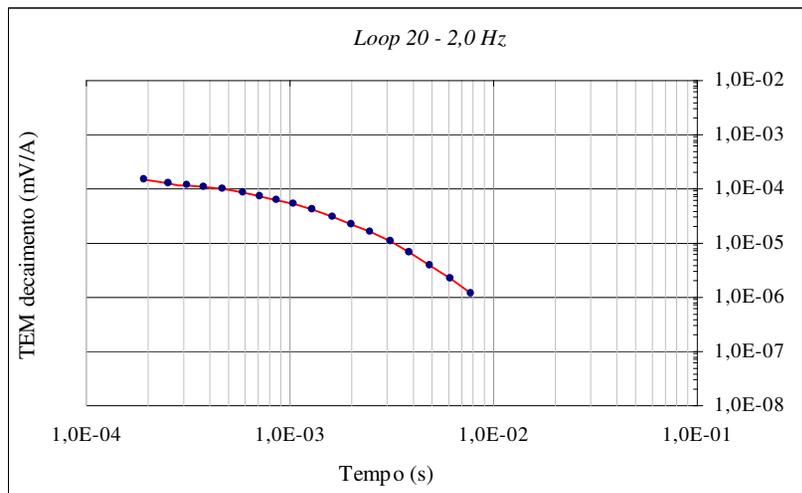
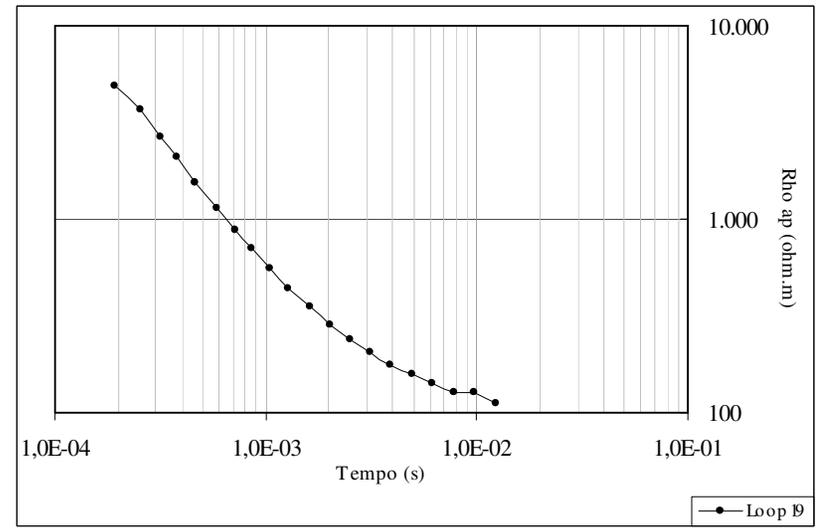
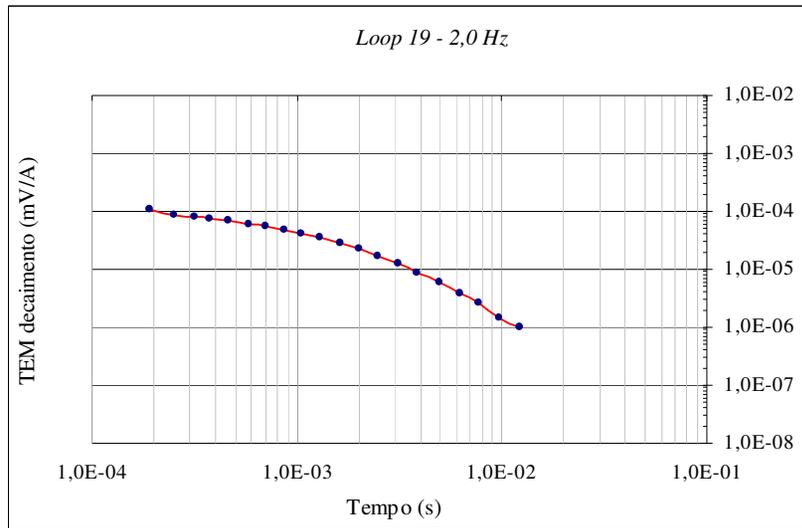


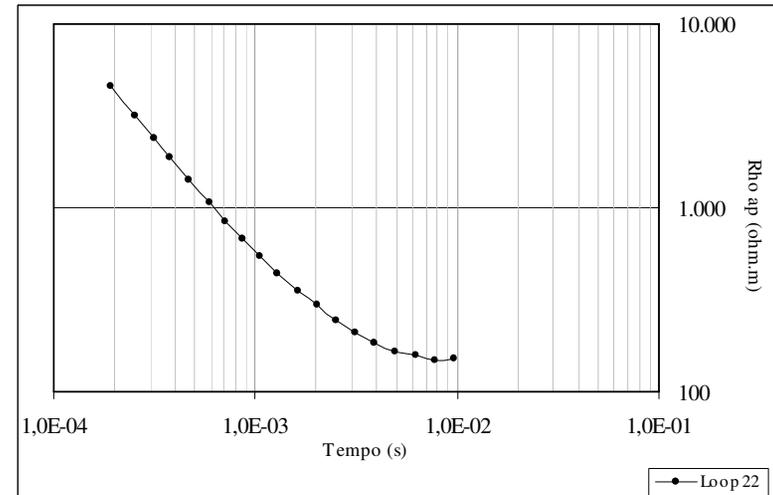
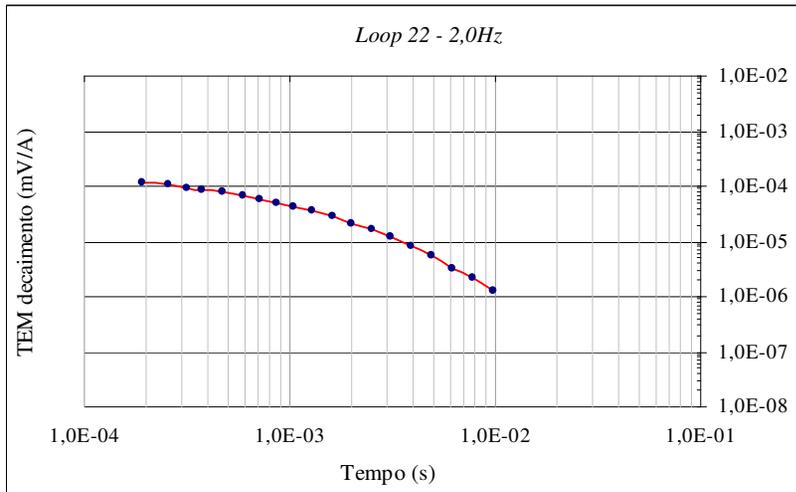
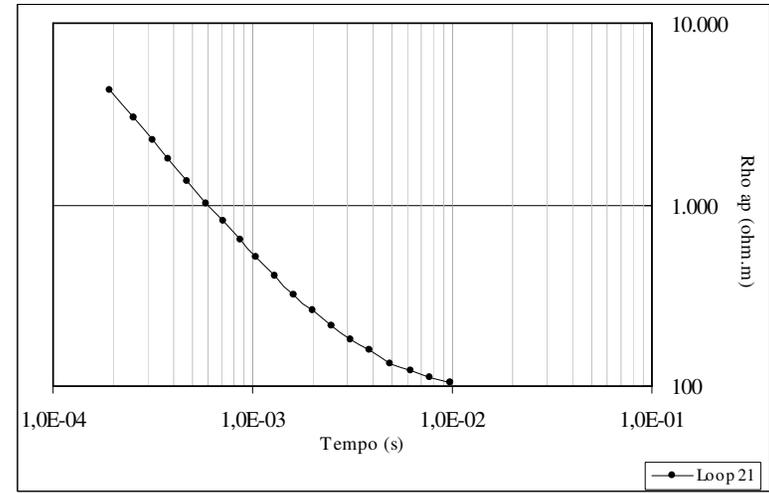
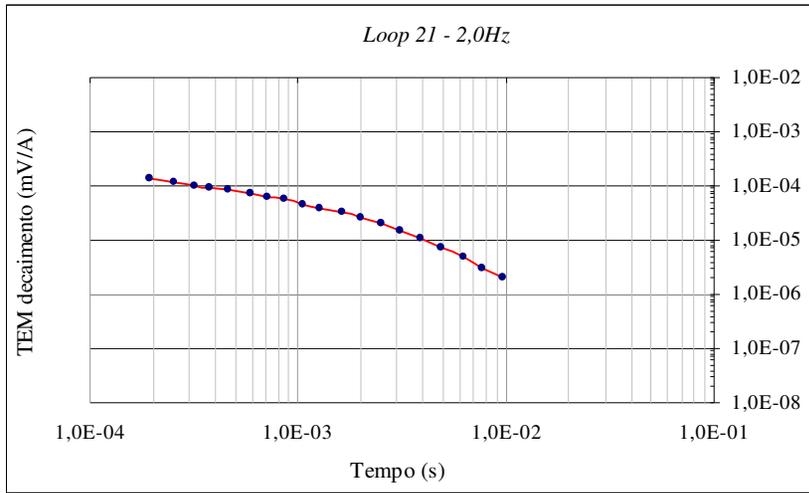


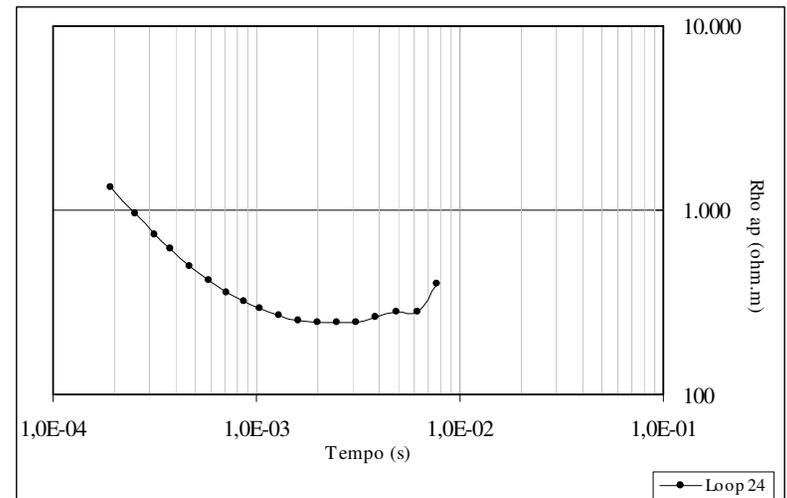
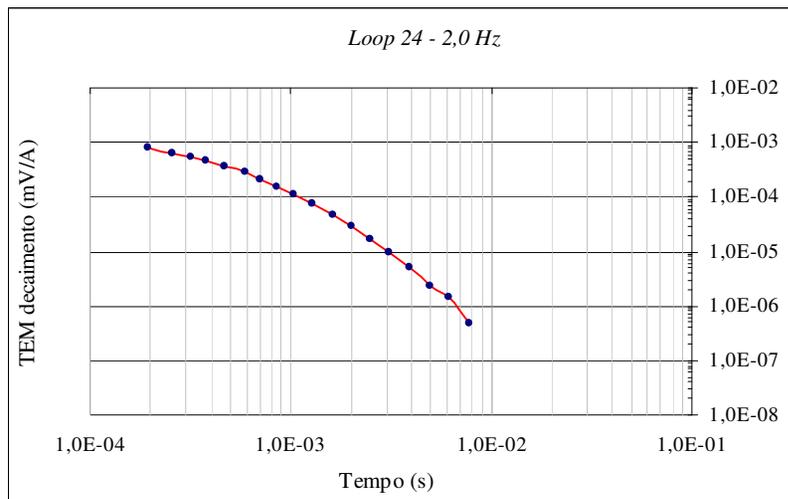
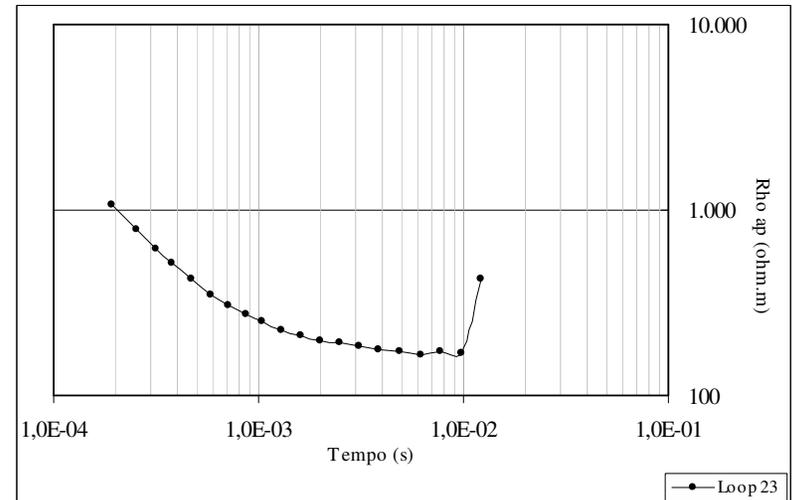
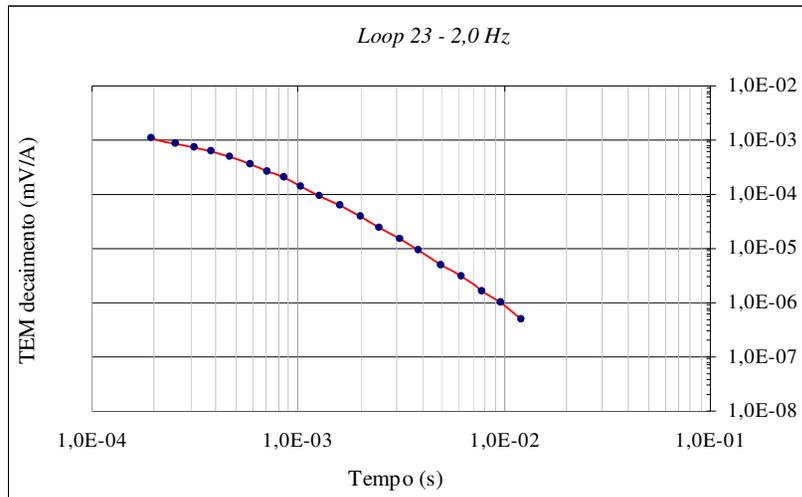
Loop 15: não processado

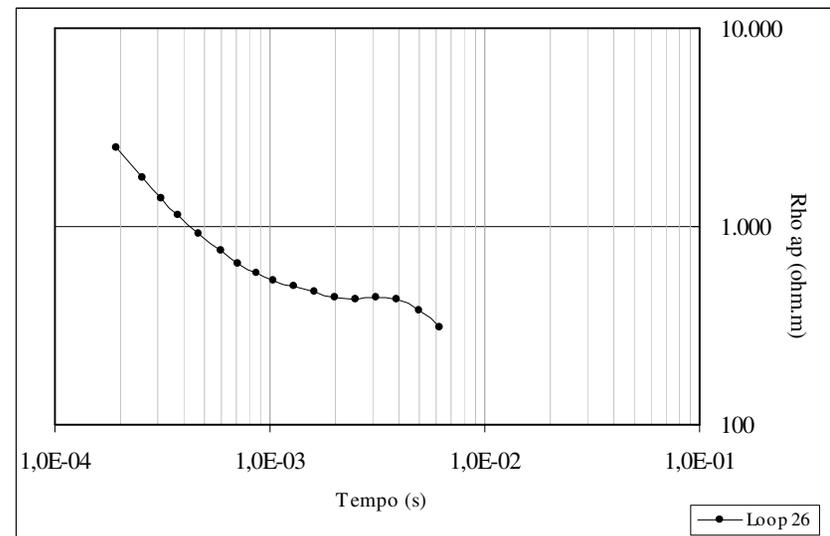
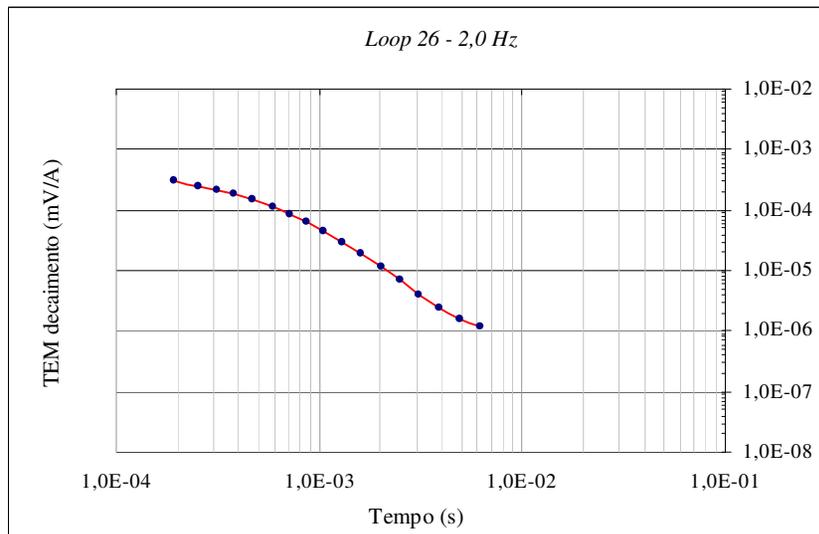
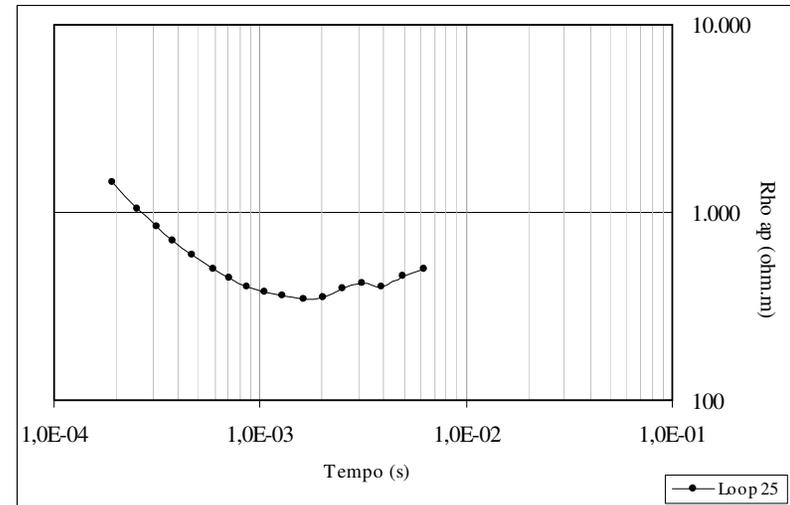
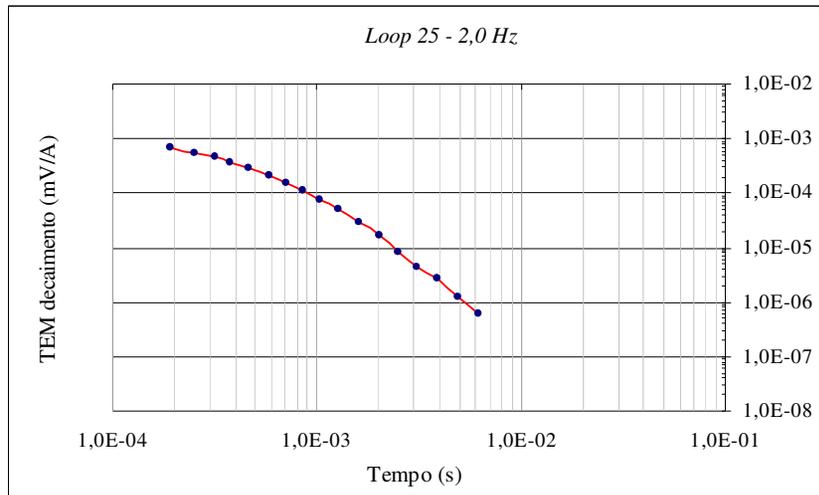




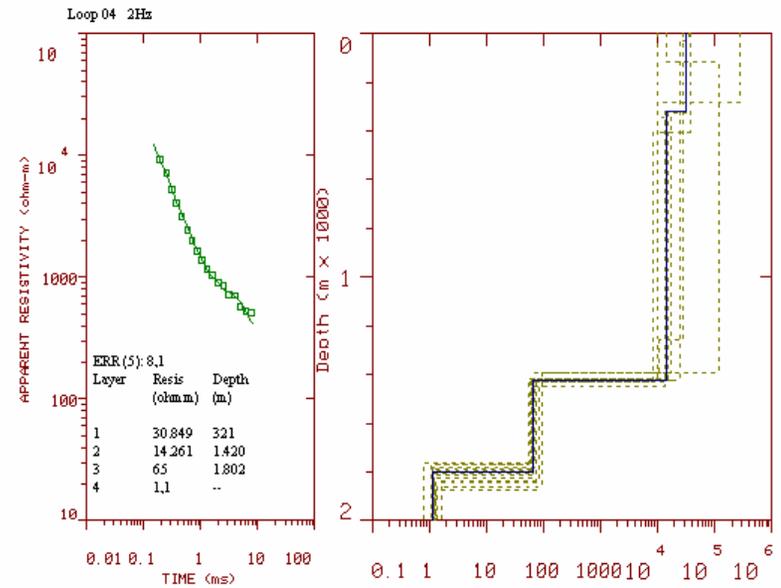
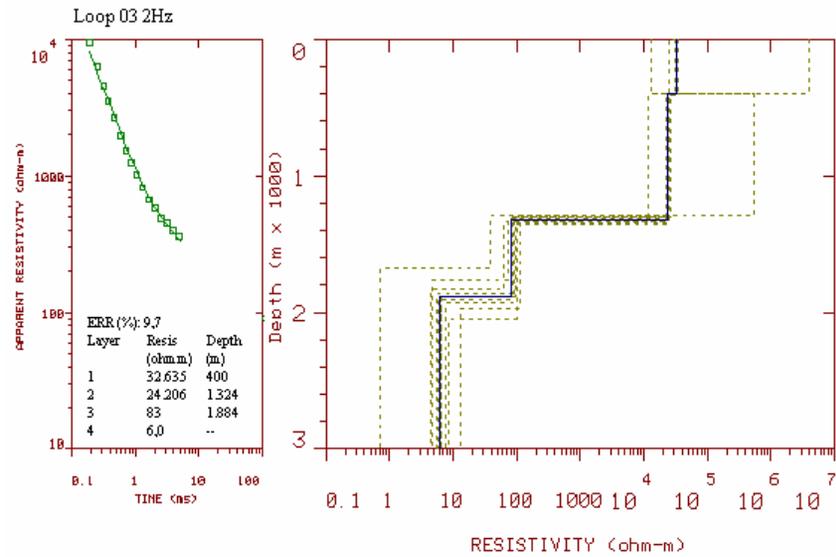
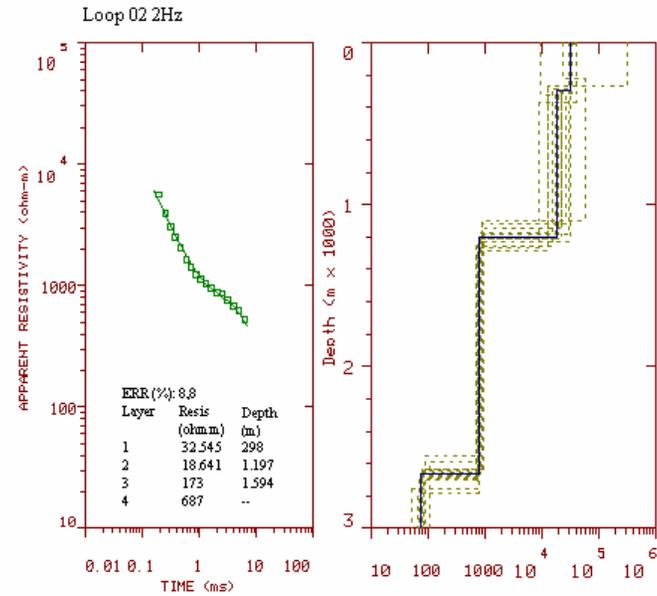
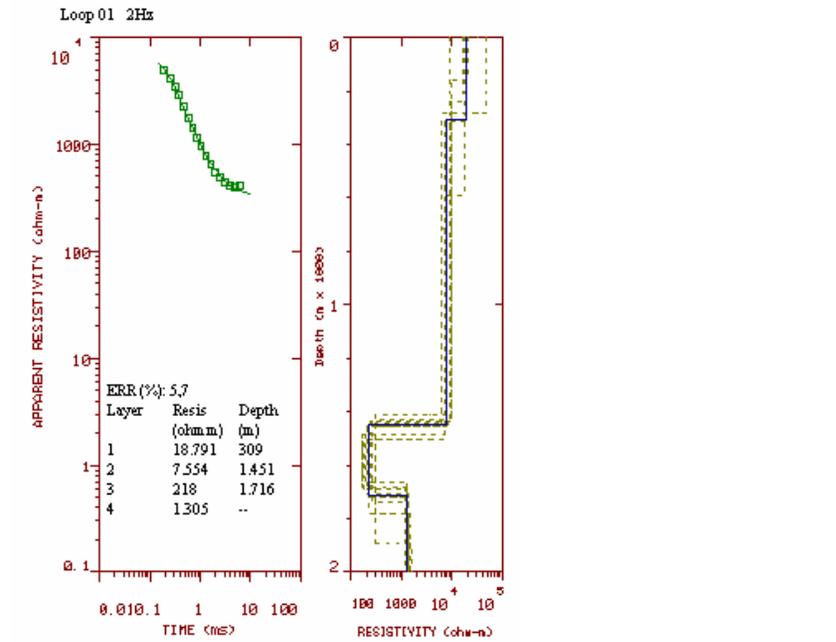


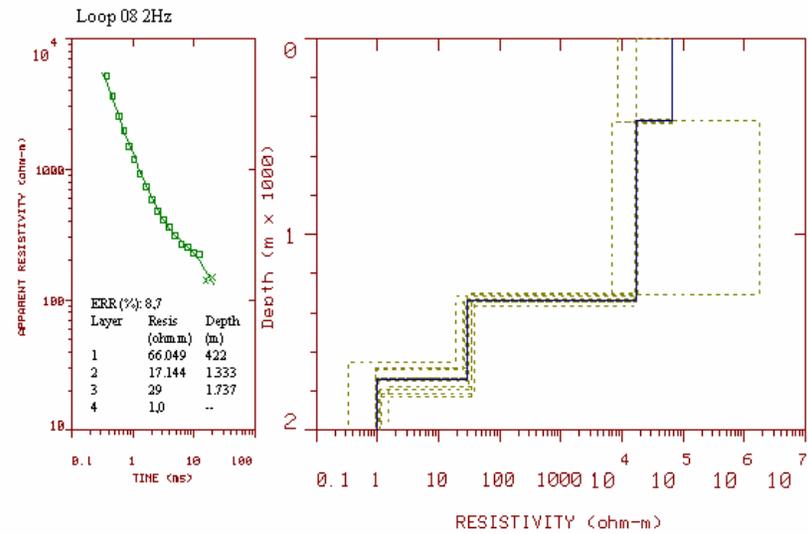
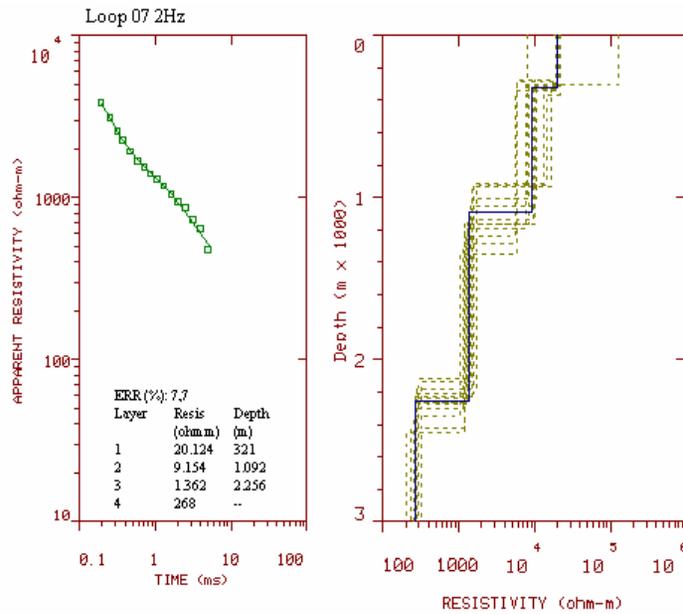
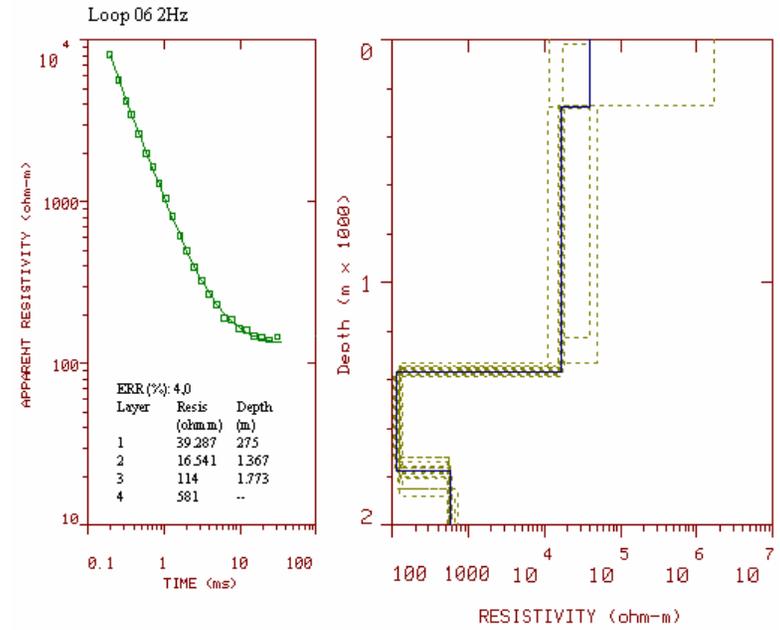
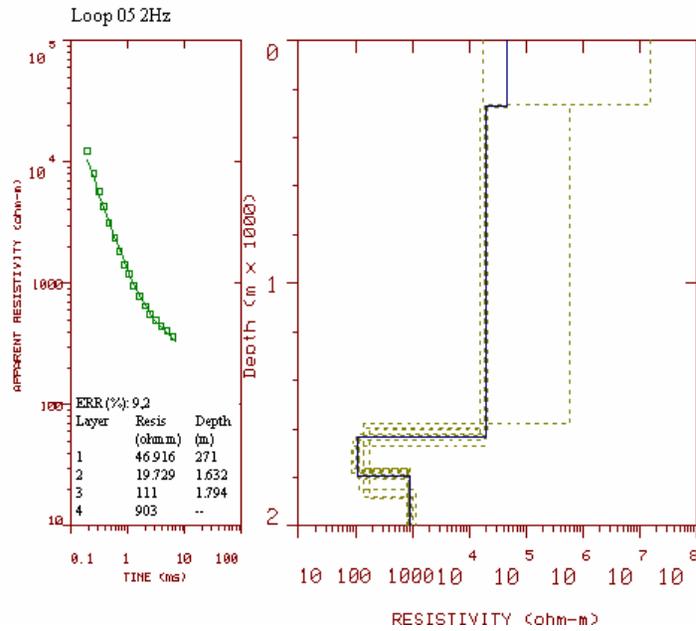


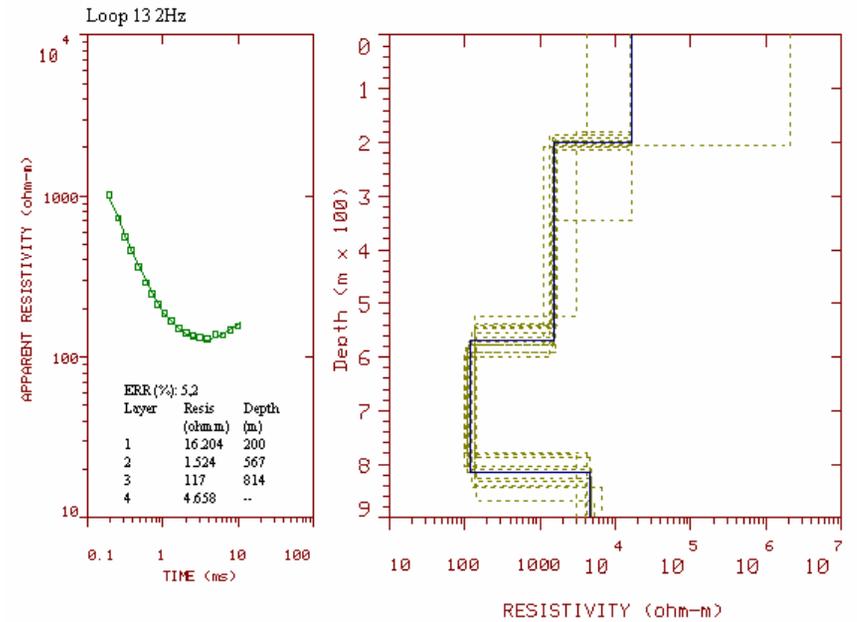
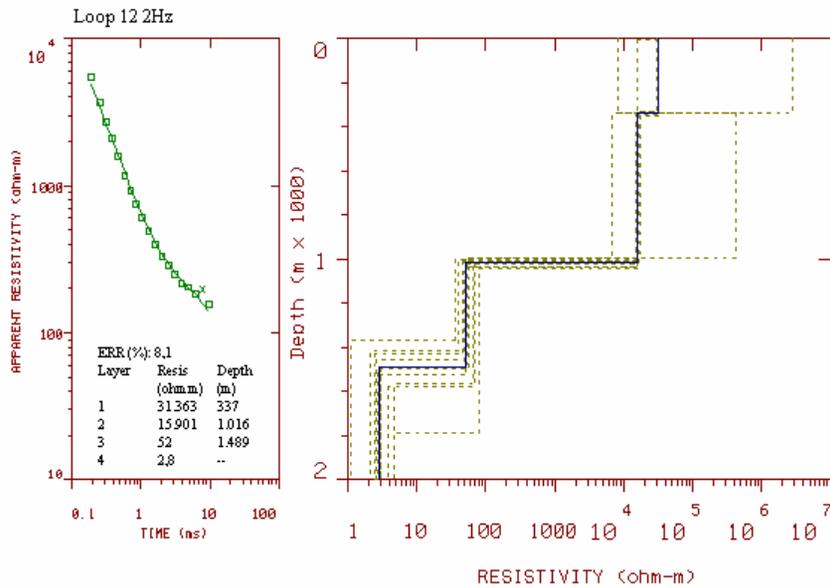
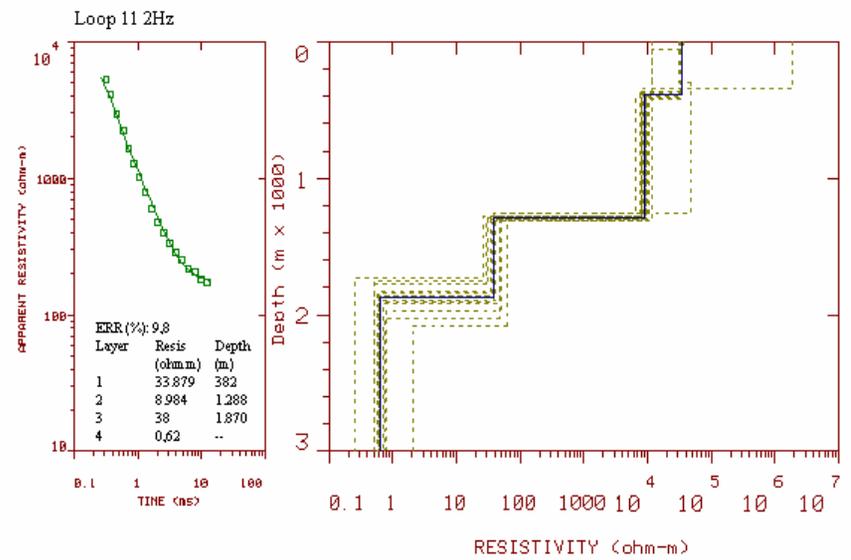
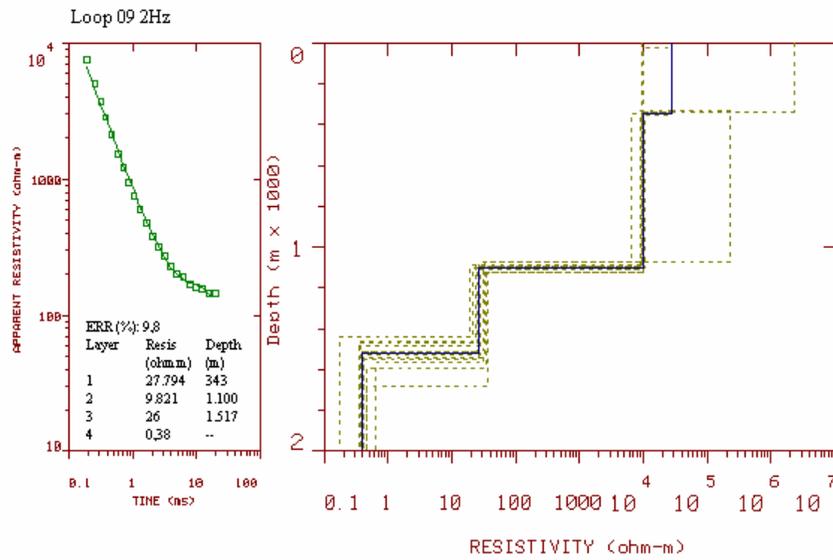




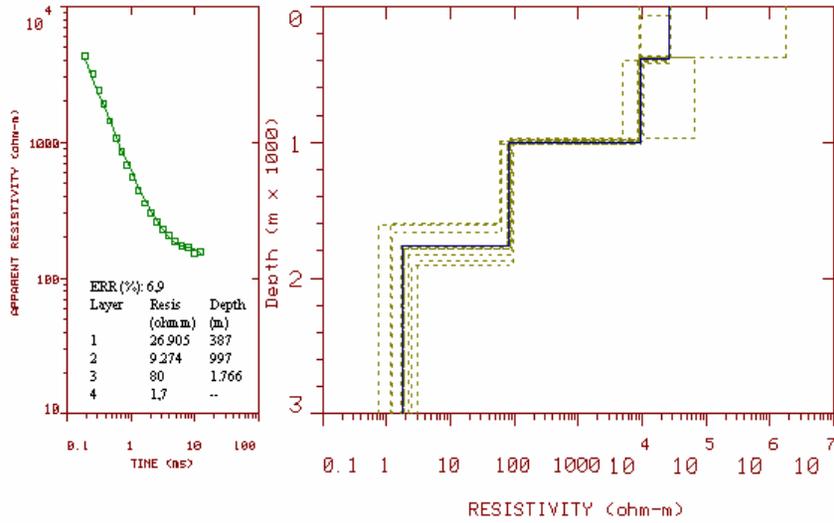
Gráficos das curvas interpretadas e modelos (levantamento final: Loop 1 ao 26)



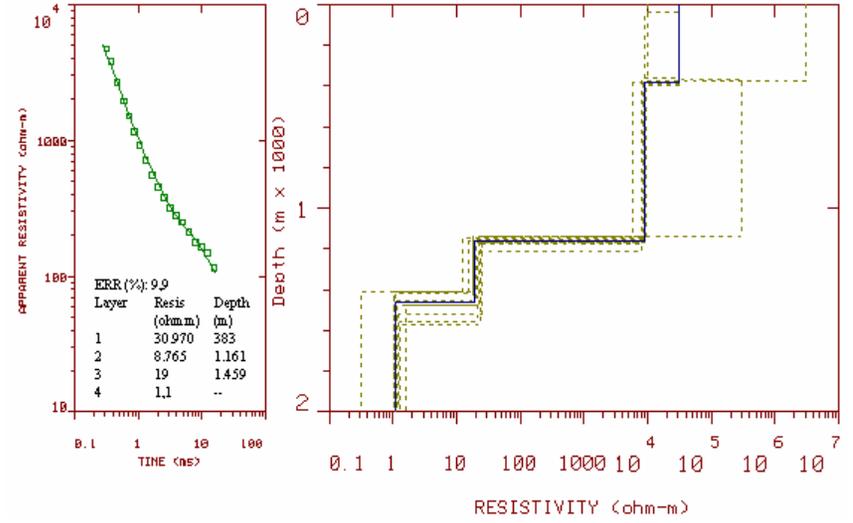




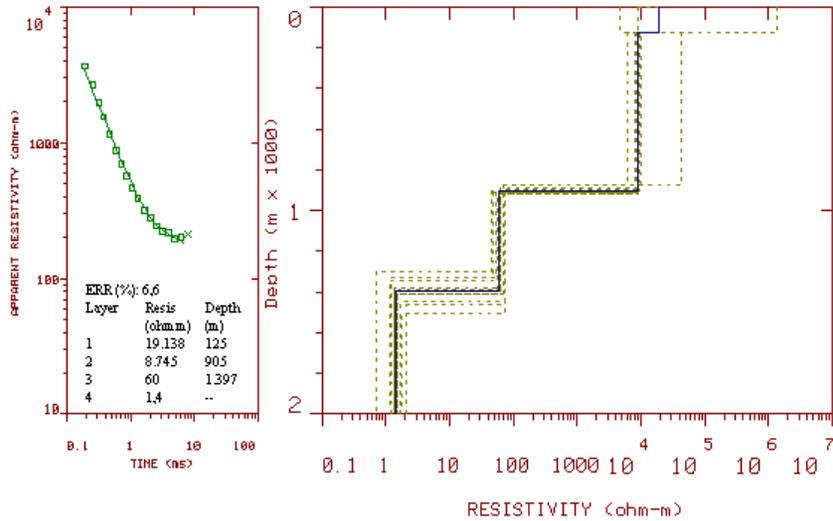
Loop 14 2Hz



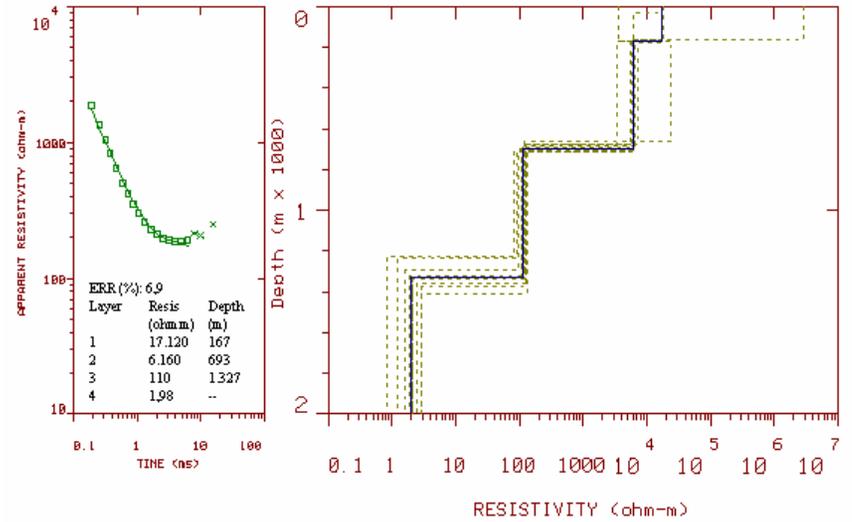
Loop 16 2Hz

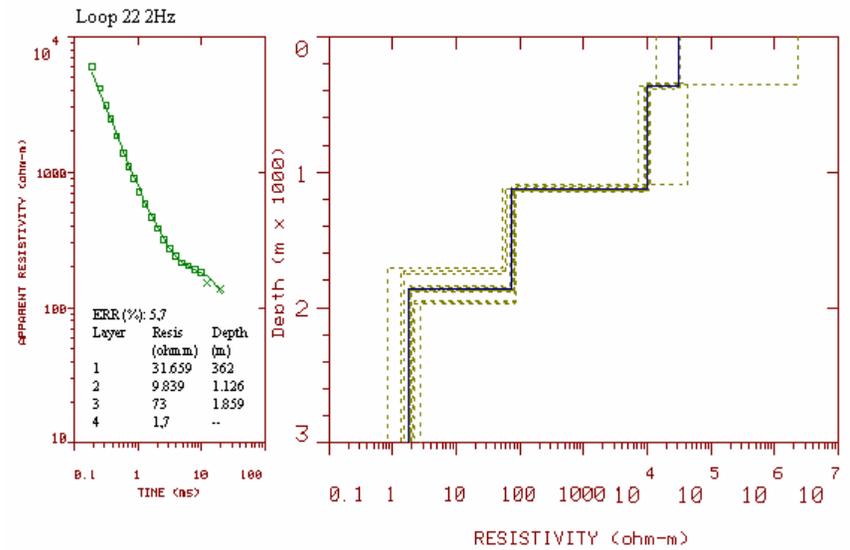
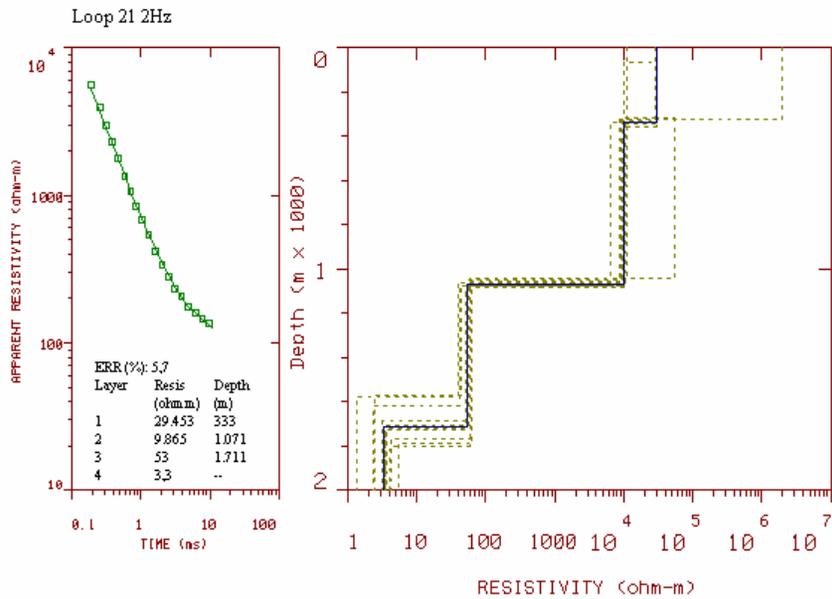
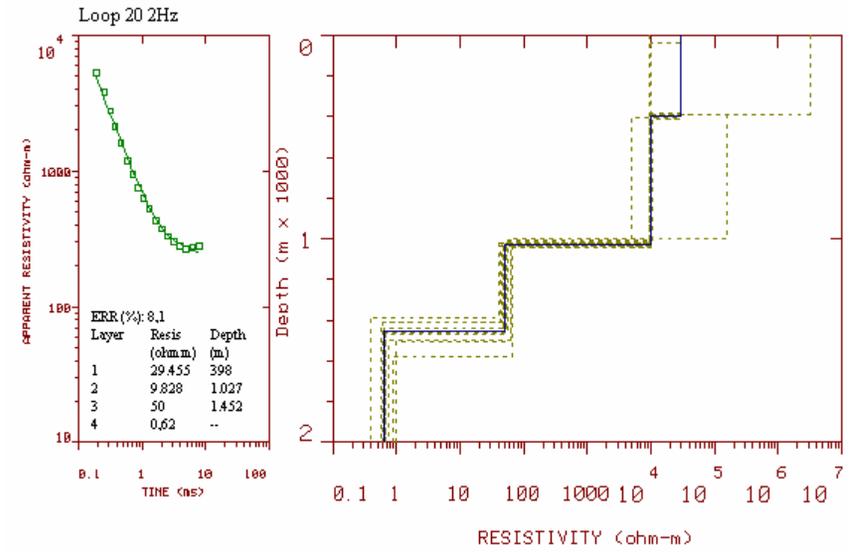
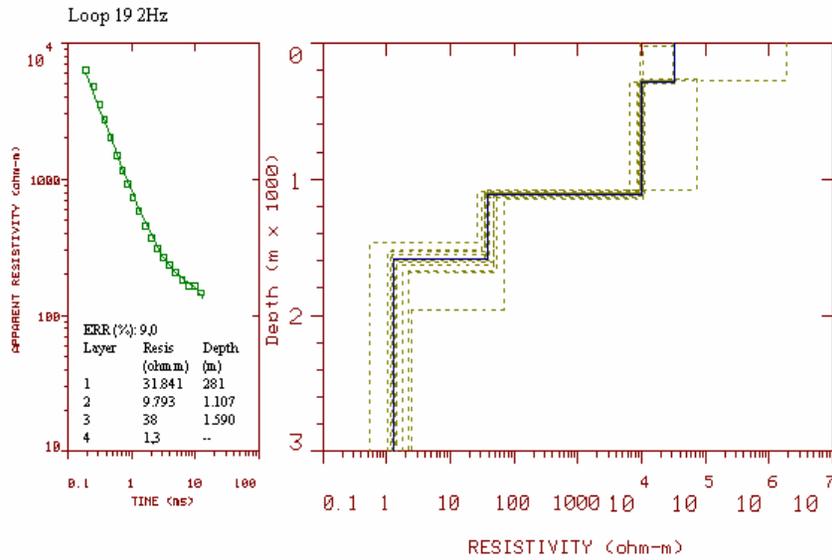


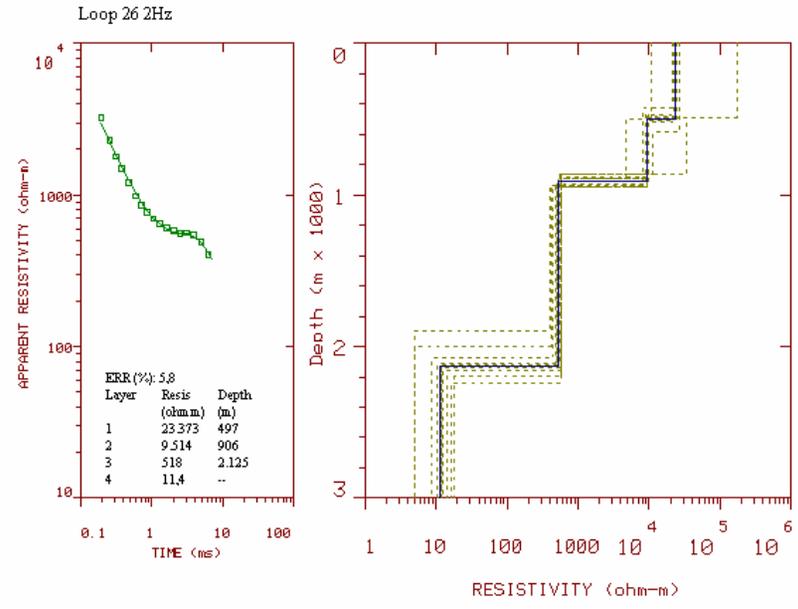
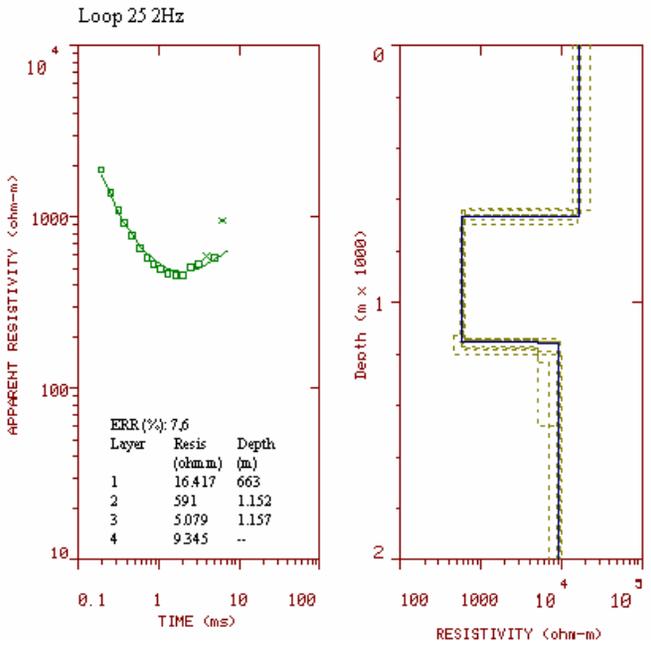
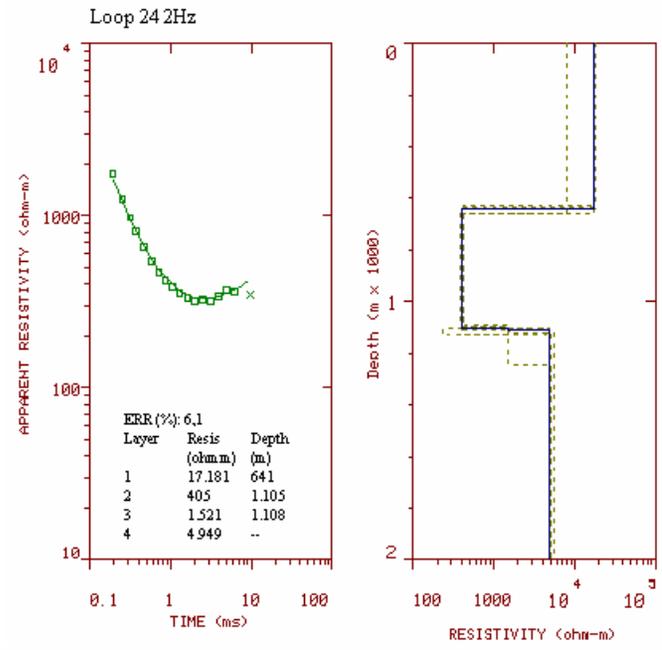
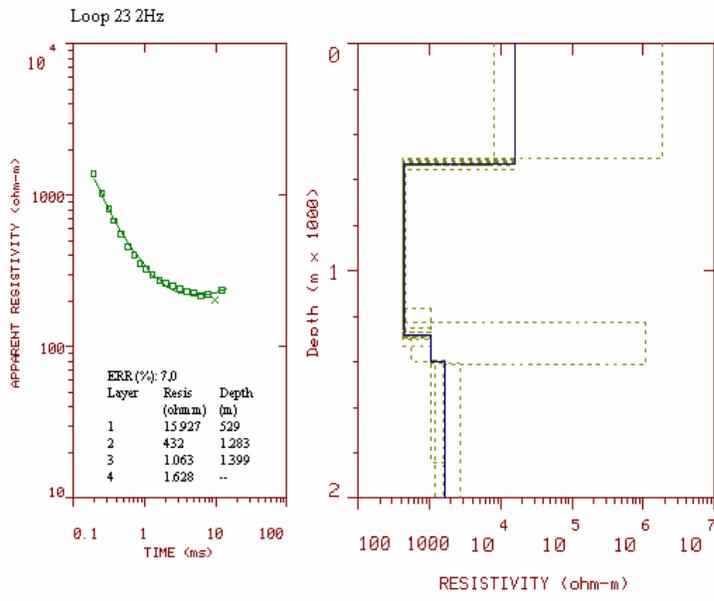
Loop 17 2Hz



Loop 18 2Hz







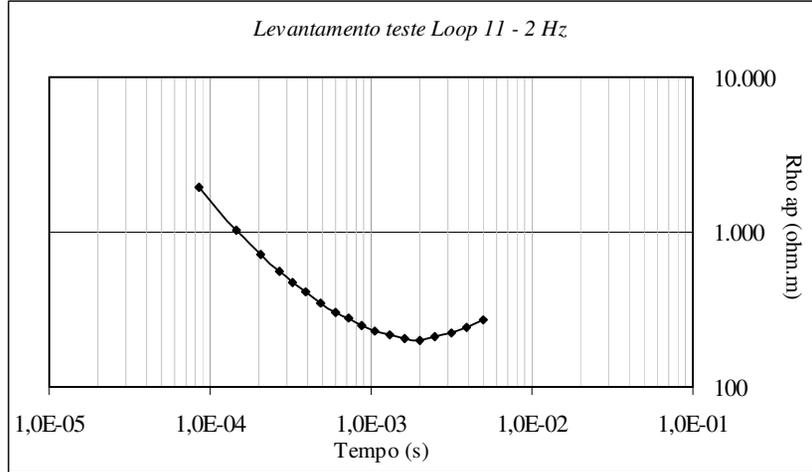
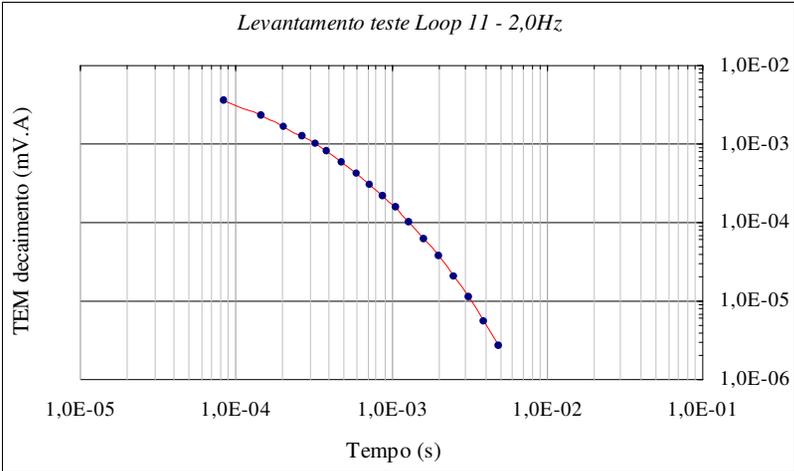
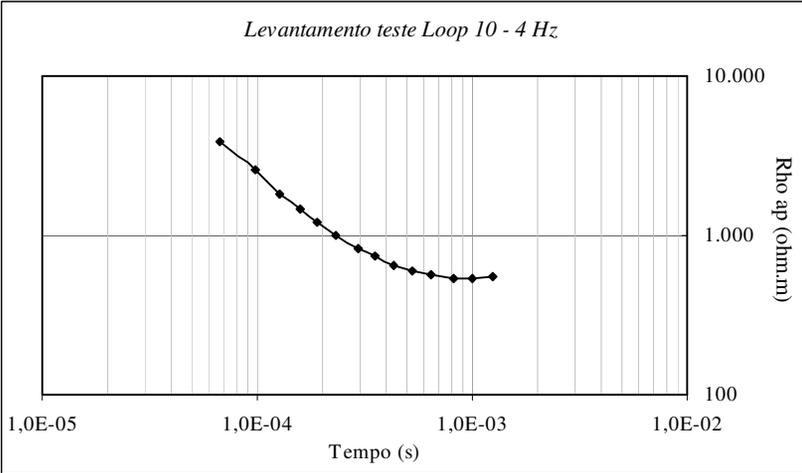
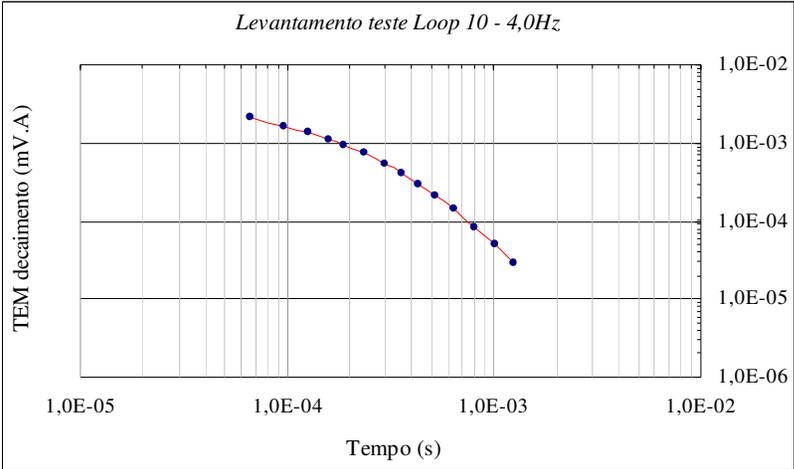
Planilhas dos Loops 10, 11 e 12 (levantamento teste)

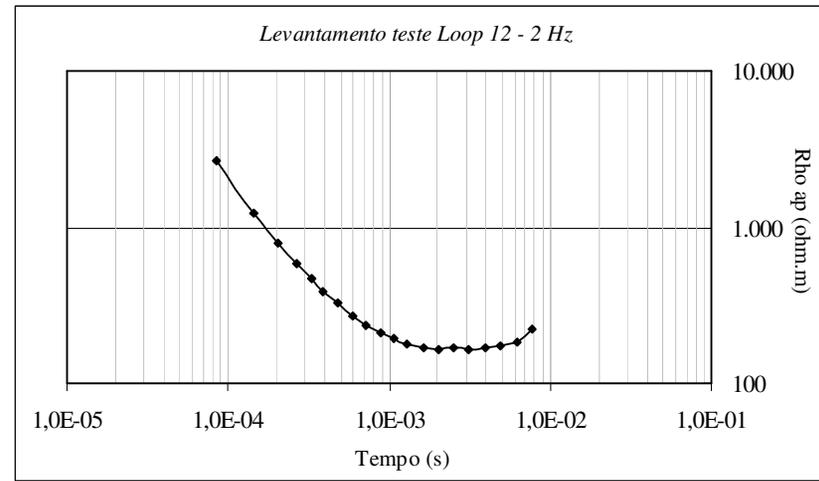
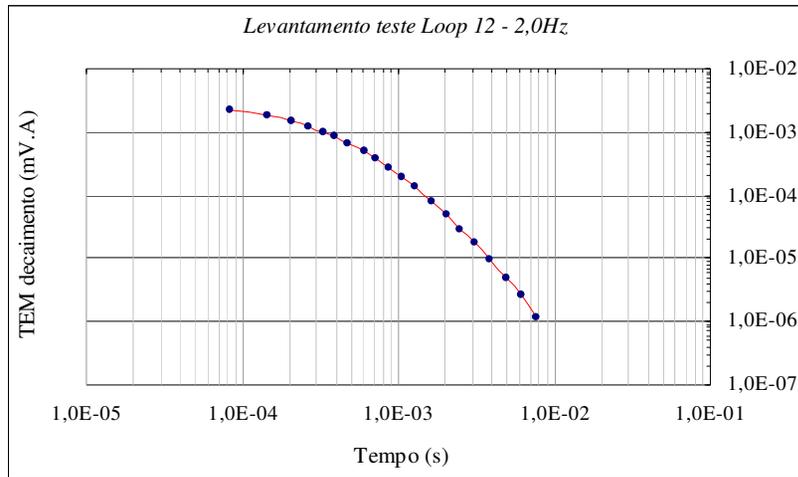
Loop 10- 4Hz		
Tempo (s)	TEM decaimento (mV/A)	Rho (ohm.m)
0,00006666	2,1893E-03	3.917,20
0,00009718	1,6156E-03	2.559,30
0,0001277	1,3440E-03	1.835,37
0,0001582	1,1228E-03	1.447,70
0,0001887	9,3528E-04	1.218,80
0,0002339	7,3687E-04	999,06
0,0002951	5,4304E-04	831,44
0,0003562	4,0749E-04	735,83
0,0004317	3,0019E-04	654,82
0,0005235	2,0864E-04	605,66
0,0006434	1,3938E-04	562,00
0,0008106	8,4400E-05	535,57
0,001008	5,0086E-05	529,10
0,001251	2,8234E-05	545,88

Loop 11- 2Hz		
Tempo (s)	TEM decaimento (mV/A)	Rho (ohm.m)
0,00008418	3,4379E-03	1.965,30
0,0001452	2,3299E-03	1.026,53
0,0002062	1,6786E-03	711,76
0,0002673	1,2627E-03	558,62
0,0003283	9,7656E-04	470,60
0,0003894	7,8171E-04	410,84
0,0004797	5,8217E-04	353,12
0,0006021	4,1182E-04	304,59
0,0007243	3,0143E-04	275,59
0,0008753	2,1817E-04	249,36
0,001059	1,5231E-04	230,72
0,001299	1,0117E-04	215,62
0,001633	6,1801E-05	204,49
0,002029	3,6599E-05	201,98
0,002513	2,0171E-05	210,26
0,003121	1,0933E-05	220,85
0,003906	5,5628E-06	240,33
0,004936	2,6687E-06	267,97

Loop 12- 2Hz		
Tempo (s)	TEM decaimento (mV/A)	Rho (ohm.m)
0,00008418	0,002189133	2.655,27
0,0001452	0,0017764	1.230,00
0,0002062	0,001452833	783,69
0,0002673	0,001202133	577,23
0,0003283	0,001002687	462,39
0,0003894	0,0008462	389,69
0,0004797	0,000665833	322,87
0,0006021	0,00049742	268,56
0,0007243	0,000377207	237,32
0,0008753	0,000277973	212,17
0,001059	0,000195387	195,42
0,001299	0,00013493	177,97
0,001633	0,000081954	169,39
0,002029	4,92943E-05	165,60
0,002513	2,84227E-05	167,27
0,003121	1,72403E-05	162,85
0,003906	9,4561E-06	167,64
0,004936	4,9893E-06	173,55
0,006212	2,5761E-06	185,12
0,007788	1,1992E-06	221,88

Gráficos de campo do levantamento teste: tempo (s) versus TEM decaimento (mV.A)/ tempo (s) versus resistividade aparente ($\Omega \cdot m$).





Gráficos das curvas interpretadas e modelos (levantamento teste: Loops 10, 11 e 12)

