



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA EXPLOTAÇÃO DE POÇOS TUBULARES, NO SISTEMA
AQUÍFERO SERRA GERAL, POR SISTEMA DE MONITORAMENTO
AUTOMATIZADO.**

Eng^a Tuane de Oliveira Dutra

Dissertação de Mestrado

Porto Alegre, Maio de 2016.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA EXPLOTAÇÃO DE POÇOS TUBULARES, NO SISTEMA
AQUÍFERO SERRA GERAL, POR SISTEMA DE MONITORAMENTO
AUTOMATIZADO.**

Eng^a Tuane de Oliveira Dutra

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Antonio Roehe Reginato

CIP - Catalogação na Publicação

de Oliveira Dutra, Tuane
AVALIAÇÃO DA EXPLOTAÇÃO DE POÇOS TUBULARES, NO
SISTEMA AQUIFERO SERRA GERAL, POR SISTEMA DE
MONITORAMENTO AUTOMATIZADO. / Tuane de Oliveira
Dutra. -- 2016.
129 f.

Orientador: Pedro Antonio Roehe Reginato.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas
Hidráulicas, Programa de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, BR-RS,
2016.

1. Monitoramento quantitativo. 2. Águas
subterrâneas. 3. Aquífero fraturado. . I. Roehe
Reginato, Pedro Antonio , orient. II. Título.

Eng^a Tuane de Oliveira Dutra

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Aprovado em de de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Carlos Alvin Heine
Companhia de Saneamento Riograndense - CORSAN

Dr. Gustavo Barbosa Athayde
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS

Dr. Nelson Amoretti Lisboa
Instituto de Geociências – IGEO/UFRGS

Dedico este trabalho, com imenso carinho e gratidão, a memória do meu avô João Francisco Ferro de Oliveira e a minha avó Maria da Graça Soares de Oliveira.

APRESENTAÇÃO E AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa está vinculada ao subprojeto PRODESAS - Projeto de Desenvolvimento de Sistemas para Gestão de Águas Subterrâneas que faz parte do projeto Hidrofrat - Hidrogeologia de Aquíferos Fraturados: Entendimento da Circulação da Água e de Contaminantes Para Uma Melhor Gestão dos Recursos Hídricos, realizado em parceria entre UFRGS/IPH, USP, UnB e UFES.

A seguir, meus agradecimentos:

A Deus, por guiar os meus passos e me encorajar a vencer os meus medos me permitindo evoluir como pessoa e profissional.

Aos Meus Pais, Jorge Luiz e Alessandra, por sempre se fazerem presente em minha vida, me passar segurança e me apoiar e auxiliar em todas as minhas escolhas.

Aos meus demais familiares, em especial aos meus tios Maria Helena, João Gladimir e Elezer, que sempre me apoiaram de forma ativa, não só na minha formação acadêmica, mas ao longo da minha vida.

Ao meu, namorado, amigo e noivo Éverton Luz, por me proporcionar tranquilidade e segurança ao longo deste trabalho.

Aos meus amigos, em especial a Emanuele e Priscila, minhas irmãs de profissão, que desde a graduação, sempre se fizeram presente na minha vida.

A Rosana, uma colega que se tornou uma amiga e que me proporcionou uma trajetória no mestrado mais “leve” e feliz.

À Equipe técnica do PRODESAS, a qual sempre se demonstrou disponível para me auxiliar no trabalho e me esclarecer dúvidas que ocorreram ao longo do mesmo.

À Companhia de Saneamento Riograndense – CORSAN, pela disponibilização dos dados e pelo auxílio ao longo deste trabalho.

Ao meu orientador, Pedro Antonio Roche Reginato, que literalmente me acolheu e me auxiliou de forma ímpar na elaboração deste trabalho, sendo em muitos momentos além de orientador um amigo, se tornando, para mim, um exemplo de profissional e pessoa a ser seguida.

“Uma pessoa inteligente resolve um problema, um sábio o previne” (Albert Einstein).

RESUMO

Carlos Barbosa é um município abastecido exclusivamente por recursos hídricos subterrâneos captados do Sistema Aquífero Serra Geral, sendo o abastecimento de responsabilidade da Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN. Devido a este panorama, o município foi selecionado para instalação do SIGAS que é um sistema de monitoramento totalmente automatizado e com envio de dados por telemetria. O SIGAS foi instalado em 12 dos 15 poços atualmente utilizados para o abastecimento do município e monitora volume e corrente de 15 em 15 minutos e nível de água de 1 em 1 minuto. Este trabalho se propôs a avaliar as condições de exploração em 8 dos 12 poços monitorados por este sistema, os quais abastecem, juntamente com outros 4 poços 3 dos 4 reservatórios existentes no município. Logo, foram comparados os dados diários de volume, vazão e tempo de bombeamento coletados pelo SIGAS com os valores definidos quando da elaboração dos projetos de bombeamento. Para verificação dos dados coletados pelo SIGAS foi realizada uma comparação com os dados coletados pela CORSAN e com os dados obtidos em levantamentos de campo. Os poços CBA 3A, 5A, 9, 11 e 12, na maior parte do tempo, operaram com vazão inferior a projetada, sendo que o oposto ocorreu nos poços CBA 18, 26 e 34. O tempo de bombeamento operado se manteve acima do projetado, na maior parte do tempo, nos poços CBA 3A, 9, 12 e 18, sendo que o inverso ocorreu nos poços CBA 5A, 11, 26 e 34. O volume médio de água explorado ficou acima do previsto em projeto, na maior parte do tempo, apenas nos poços CBA 18 e 26. Os resultados demonstraram que há falhas na gestão e no planejamento da operação dos poços, sendo que há poços explorando volumes de água acima do permitido, enquanto em outros o volume explorado está abaixo do projetado. Foi identificado também a influência da demanda na operação dos poços, as quais tornam o tempo de descanso descontínuo dificultando a recuperação do nível de água no poço. Os dados coletados pelo SIGAS se demonstraram confiáveis e coerentes com os valores operados nos poços, sendo assim os mesmos poderão ser utilizados na gestão e planejamento da operação dos poços no município de Carlos Barbosa.

Palavras chaves: Monitoramento quantitativo, águas subterrâneas, aquífero fraturado.

ABSTRACT

Carlos Barbosa is a city supplied exclusively by groundwater resources obtained from the Serra Geral Aquifer System, and the supplying responsibility is from the Companhia Riograndense de Saneamento - CORSAN. Because of this panorama, the city was selected for the installation of SIGAS, which is a fully automated monitoring system and sending data by telemetry. The SIGAS was installed in 12 of the 15 wells currently used to supply the city and it monitors volume and current 15 in 15 minutes and water level 1 in 1 minute. This study aimed to evaluate the exploitation conditions in 8 of the 12 wells that the system has, which supply, along with other 4 wells, 3 of the 4 existing reservoirs in the city. Then, were compared the daily volume of data, flow and pumping time collected by SIGAS with the values defined during the preparation of pumping projects. For verification of the data collected by SIGAS a comparison with the data collected by CORSAN and with data from field surveys were fulfilled. The wells CBA 3A, 5A, 9, 11 and 12, at the most part of the time, operated at a flow below of projected, being that the opposite was observed in the wells CBA 18, 26 and 34. The operated pumping time is kept above the projected, at the most part of the time, in the wells CBA 3A, 9, 12 and 18, being that the converse occurred in the wells CBA 5A, 11, 26 and 34. The average volume of exploited water was above the provided in project, at the most part of the time, only in the wells CBA 18 and 26. The results showed that there are flaws in the management and planning of the operation of the wells, being that there are wells exploring volumes above the allowed, while in others the exploited volume is below the projected. It was also identified the influence demand in the operation of wells, which make the discontinuous rest time hindering the recovery of the water level in the well. The data collected by SIGAS been shown reliable and coherent with the values operated in the wells, so the same might be used in the management and planning of the operation of the wells in the city of Carlos Barbosa.

Keywords: quantitative monitoring, groundwater aquifer fractured

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	OBJETIVOS	3
3.	ÁREA DE ESTUDO	4
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
4.1	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	6
4.2	CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....	9
4.3	CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.....	11
4.4	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL.....	13
4.5	CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO LOCAL.....	20
4.6	MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	22
5.	MATERIAL E MÉTODOS	29
5.1	IMPLANTAÇÃO DO SIGAS.....	29
5.1.1	SELEÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO E DOS POÇOS TUBULARES MONITORADOS.....	29
5.1.2	CARACTERIZAÇÃO DO SIGAS.....	30
5.1.3	PARÂMETROS ANALISADOS E INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA.....	31
5.1.4	AFERIÇÃO DOS DADOS EM CAMPO.....	33
5.1.5	PLATAFORMA DO SIGAS.....	33
5.2	METODOLOGIA UTILIZADA PELA CORSAN NO MONITORAMENTO QUANTITATIVO.....	34
5.3	LEVANTAMENTOS DE DADOS DE POÇOS TUBULARES EXISTENTES NA REGIÃO.....	36
5.4	CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA.....	36
5.5	ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE EXPLOTAÇÃO.....	37
5.6	AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO.....	41
5.7	METODOLOGIA ANALÍTICA.....	41
5.7.1	CONSISTÊNCIA DOS DADOS.....	41

5.7.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA	42
6	RESULTADOS	43
6.1	CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS POÇOS DE CARLOS BARBOSA.....	43
6.2	CARACTERIZAÇÃO DOS POÇOS ANALISADOS EM CARLOS BARBOSA. ...	51
6.3	LIMITAÇÕES DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DO SIGAS.....	61
6.3.1	LIMITAÇÕES REFERENTES À COLETA DOS DADOS	61
6.3.2	LIMITAÇÕES REFERENTES AO ENVIO DOS DADOS	62
6.4	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXPLOTAÇÃO DOS POÇOS ANALISADOS COM BASE NOS DADOS OBTIDOS PELO SIGAS	63
6.4.1	ANÁLISE DOS POÇOS QUE ABASTECEM O RESERVATÓRIO R1	64
6.4.1.1	POÇO CBA 3 A.....	64
6.4.1.2	POÇO CBA 5 A.....	70
6.4.1.3	POÇO CBA 18.....	74
6.4.1.4	POÇO CBA 26.....	78
6.4.1.5	POÇO CBA 34.....	82
6.4.2	ANALISE COMPARATIVA DOS POÇOS QUE ABASTECEM O RESERVATÓRIO R1 ANTES E APÓS A DESATIVAÇÃO DO POÇO CBA 4A	87
6.4.3	POÇOS ANALISADOS NO RESERVATÓRIO R2.....	88
6.4.3.1	POÇO CBA 9.....	88
6.4.3.2	POÇO CBA 11	94
6.4.3.3	POÇO CBA 12.....	97
6.4.4	ANALISE COMPARATIVA DOS POÇOS QUE ABASTECEM O RESERVATÓRIO R2 ANTES E APÓS A DESATIVAÇÃO DO POÇO CBA 10.....	100
6.4.5	CONDIÇÕES DE EXPLOTAÇÃO DOS POÇOS QUE ABASTECEM OS RESERVATÓRIOS R1 E R2.....	102
6.5	AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO EXECUTADO PELO SIGAS	106
6.5.1	LIMITAÇÕES DO MONITORAMENTO REALIZADO PELA CORSAN.....	106

6.5.2	AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DO PARÂMETRO DE TEMPO DE BOMBEAMENTO	107
6.5.3	AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DO PARÂMETRO DE VOLUME	110
6.5.4	AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DO PARÂMETRO DE VAZÃO	113
7.	CONCLUSÕES.....	114
8.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	116
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	4
FIGURA 2: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE CARLOS BARBOSA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO CAÍ E TAQUARI-ANTAS	5
FIGURA 3: PROVÍNCIAS GEOLÓGICAS QUE COMPÕEM O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.....	6
FIGURA 4: DISTRIBUIÇÃO DA BACIA DO PARANÁ NO INTERIOR DO CONTINENTE SUL.	7
FIGURA 5: MAPA GEOLÓGICO COM A DISTRIBUIÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DE ROCHAS VULCÂNICAS ÁCIDAS E BÁSICAS NO PLANALTO.	9
FIGURA 6: CONTEXTO GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	10
FIGURA 7: CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO	12
FIGURA 8: RELEVO ASSOCIADO À GEOMORFOLOGIA DE CARLOS BARBOSA.	13
FIGURA 9: PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS DA FORMAÇÃO SERRA GERAL	15
FIGURA 10: CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO	17
FIGURA 11: DIAGRAMA DE PIPER DE 12 POÇOS E 3 FONTES DE CARLOS BARBOSA	22
FIGURA 12: MAPA MOSTRANDO A DISTRIBUIÇÃO DOS POÇOS DE MONITORAMENTO DO RIMAS NO ESTADO	27
FIGURA 13: POÇOS CADASTRADOS NO SIAGAS, NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL.	27
FIGURA 14: CAVALETE DE MONITORAMENTO.....	30
FIGURA 15: SENSOR DE NÍVEL.	31
FIGURA 16: CAPSULA SANITÁRIA (A), INSTALAÇÃO DO SENSOR DE NÍVEL NO POÇO (B) E DATA LOGGER (C).	32
FIGURA 17: LAYOUT DA JANELA INICIAL DO PROGRAMA SIGAS.....	34
FIGURA 18: (A) HIDRÔMETRO (B) TIMER.....	35
FIGURA 19: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS POÇOS PERFURADOS EM CARLOS BARBOSA.....	43
FIGURA 20: PROPRIETÁRIOS DOS POÇOS PERFURADOS EM CARLOS BARBOSA.	44
FIGURA 21: USO DOS POÇOS PERFURADOS EM CARLOS BARBOSA.	45
FIGURA 22: SITUAÇÃO DOS POÇOS PERFURADOS EM CARLOS BARBOSA.	45
FIGURA 23: LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS ANALISADOS E SITUAÇÃO DOS DEMAIS POÇOS DA REGIÃO.....	46
FIGURA 24: PROFUNDIDADE DOS POÇOS EM CARLOS BARBOSA.	46
FIGURA 25: PROFUNDIDADE DAS ENTRADAS DE ÁGUA DOS POÇOS EM CARLOS BARBOSA	48
FIGURA 26: PROFUNDIDADE DO NÍVEL ESTÁTICO DOS POÇOS EM CARLOS BARBOSA.....	49
FIGURA 27: PROFUNDIDADE DO NÍVEL DINÂMICO DOS POÇOS DE CARLOS BARBOSA.	49

FIGURA 28: CAPACIDADE ESPECÍFICA DOS POÇOS EM CARLOS BARBOSA.	50
FIGURA 29: VAZÃO DOS POÇOS EM CARLOS BARBOSA.	50
FIGURA 30: FOTOS DE ALGUNS DOS POÇOS MONITORADOS.	53
FIGURA 31: BACIAS E SUB-BACIAS DE CARLOS BARBOSA.	54
FIGURA 32: SUB-BACIA 1.	55
FIGURA 33: (A) CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO CBA 3A. (B) CURVAS DE RECUPERAÇÃO DO POÇO CBA 3A.	56
FIGURA 34: SUB-BACIA 2.	56
FIGURA 35: (A) CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO CBA 5A. (B) CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO CBA 18. (C) CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO CBA 26. (D) CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO CBA 34.	57
FIGURA 36: (A) CURVA DE RECUPERAÇÃO DO POÇO CBA 5A. (B) CURVA DE RECUPERAÇÃO DO POÇO CBA 18. (C) CURVA DE RECUPERAÇÃO DO POÇO CBA 26. (D) CURVA DE RECUPERAÇÃO DO POÇO CBA 34.	58
FIGURA 37: SUB-BACIA 3.	59
FIGURA 38: (A) CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO 9. (B) CURVA DE RECUPERAÇÃO DO POÇO 9. (C) CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO 11. (D) CURVA DE RECUPERAÇÃO DO POÇO 11. (E) CURVA DE REBAIXAMENTO DO POÇO 12. (F) CURVA DE RECUPERAÇÃO DO POÇO 12.	60
FIGURA 39: LOCALIZAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS ABASTECIDOS PELOS POÇOS ANALISADOS	64
FIGURA 40: TEMPO DE BOMBEAMENTO E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 3.	65
FIGURA 41: INTERVALOS DE TEMPO COM E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 3 A.	67
FIGURA 42: VAZÃO REGISTRADA NO POÇO CBA 3 A.	68
FIGURA 43: VOLUME DE ÁGUA EXPLORADOS NO POÇO CBA 3 A.	69
FIGURA 44: VALORES DOS NÍVEIS MÁXIMOS E MÍNIMOS DE ÁGUA NO POÇO CBA 3 A.	70
FIGURA 45: TEMPO DE BOMBEAMENTO E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 5 A.	71
FIGURA 46: INTERVALOS DE TEMPO COM E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 5 A.	72
FIGURA 47: VAZÃO REGISTRADAS NO POÇO CBA 5 A.	73
FIGURA 48: VOLUMES DE ÁGUA REGISTRADOS NO POÇO CBA 5 A.	74
FIGURA 49: TEMPO DE BOMBEAMENTO E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 18	75
FIGURA 50: INTERVALOS DE TEMPO COM E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 18.	76
FIGURA 51: VAZÕES REGISTRADAS NO POÇO CBA 18.	77
FIGURA 52: VALORES DE VOLUME DE ÁGUA REGISTRADOS NO POÇO CBA 18.	77
FIGURA 53: TEMPO DE BOMBEAMENTO E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 26	78
FIGURA 54: INTERVALOS DE TEMPO COM E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 26.	79

FIGURA 55: VALORES DE VAZÃO REGISTRADAS NO POÇO CBA 26.	80
FIGURA 56: VALORES DE VOLUME DE ÁGUA REGISTRADOS NO POÇO CBA 26.....	81
FIGURA 57: VALORES DOS NÍVEIS MÁXIMOS DE ÁGUA NO POÇO CBA 26.....	81
FIGURA 58: TEMPO DE BOMBEAMENTO SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 34.....	82
FIGURA 59: INTERVALOS DE TEMPO COM E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 34.....	83
FIGURA 60: VALORES DE VAZÃO REGISTRADAS NO POÇO CBA 34.	84
FIGURA 61: VALORES DE VOLUME DE ÁGUA REGISTRADOS NO POÇO CBA 34.....	85
FIGURA 62: VALORES DOS NÍVEIS MÁXIMOS DE ÁGUA NO POÇO CBA 34.....	86
FIGURA 63: VALORES MENSAIS DE VOLUME DE ÁGUA NOS POÇOS CBA 3 A, 5 A, 18, 26 E 34 COLETADOS PELA CORSAN.....	87
FIGURA 64: TEMPO DE BOMBEAMENTO E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 9	89
FIGURA 65: INTERVALOS DE TEMPO COM E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 9.....	91
FIGURA 66: VALORES DE VAZÃO REGISTRADAS NO POÇO CBA 9.	92
FIGURA 67: VALORES DE VOLUME DE ÁGUA REGISTRADOS NO POÇO CBA 9.	92
FIGURA 68: VALORES DOS NÍVEIS MÁXIMOS E MÍNIMOS DE ÁGUA NO POÇO CBA 9.....	93
FIGURA 69: TEMPO DE BOMBEAMENTO E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 11	94
FIGURA 70: INTERVALOS DE TEMPO COM E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 11.....	95
FIGURA 71: VALORES DE VAZÃO REGISTRADAS NO POÇO CBA 11.	96
FIGURA 72: VALORES DE VOLUME DE ÁGUA REGISTRADAS NO POÇO CBA 11.....	97
FIGURA 73: VALORES DOS NÍVEIS MÁXIMOS DE ÁGUA NO POÇO CBA 11.....	97
FIGURA 74: TEMPO DE BOMBEAMENTO E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 12.	98
FIGURA 75: INTERVALOS DE TEMPO COM E SEM BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 12.....	98
FIGURA 76: VALORES DE VAZÃO REGISTRADAS NO POÇO CBA 12.	99
FIGURA 77: VALORES DE VOLUME DE ÁGUA REGISTRADOS NO POÇO CBA 12.....	99
FIGURA 78: VALORES DOS NÍVEIS MÁXIMOS E MÍNIMOS DE ÁGUA NO POÇO CBA 12.....	100
FIGURA 79: VALORES MENSAIS DE VOLUME DE ÁGUA NOS POÇOS CBA 9, 11 E 12, COLETADOS PELA CORSAN.	101
FIGURA 80: COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE TEMPO DE BOMBEAMENTO MONITORADOS PELA CORSAN E O SIGAS NO: (A) MÊS DE NOVEMBRO POÇO CBA 5 A, (B) MÊS DE JANEIRO DE 2016 NO POÇO CBA 5 A, (C) MÊS DE JANEIRO DE 2015 NO POÇO CBA 9, (D) MÊS DE NOVEMBRO NO POÇO CBA 9 E (E) MÊS DE DEZEMBRO NO POÇO CBA 11.....	110
FIGURA 81: COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE VOLUME DE ÁGUA MONITORADOS PELA CORSAN E O SIGAS.	113

FIGURA 82: COMPARAÇÃO ENTRE OS VALORES DE VAZÃO MONITORADOS PELA CORSAN E O SIGAS	115
FIGURA 83: MONITORAMENTO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 3A.	118
FIGURA 84: MONITORAMENTO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 5A.	119
FIGURA 85: MONITORAMENTO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO NO POÇO CBA 9.....	120
FIGURA 86: MONITORAMENTO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO POÇO CBA 11.	121
FIGURA 87: MONITORAMENTO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO POÇO CBA 12.	121
FIGURA 88: MONITORAMENTO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO POÇO CBA 18.	122
FIGURA 89: MONITORAMENTO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO POÇO CBA 26.	123
FIGURA 90: MONITORAMENTO DO TEMPO DE BOMBEAMENTO POÇO CBA 34.	124

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: TIPOS DE ROCHAS E DERRAMES IDENTIFICADOS NA ÁREA E SUAS ALTITUDES APROXIMADAS.	11
TABELA 2: DADOS HIDROGEOLÓGICOS PARA OS AQUÍFEROS PERTENCENTES À DIVISÃO HIDROGEOLÓGICA DA BACIA DO PARANÁ.	14
TABELA 3: VAZÃO NOS BASALTOS, NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL E NO URUGUAI.	17
TABELA 4: RELAÇÃO ENTRE A POTENCIALIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO FRATURADO E AS DIFERENTES REGIÕES.	18
TABELA 5: CARACTERÍSTICAS HIDRODINÂMICAS DOS 238 POÇOS DO SASG.	19
TABELA 6: DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS PRINCIPAIS DADOS E PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS OBTIDOS DA INTERPRETAÇÃO DE DADOS DOS POÇOS TUBULARES.	21
TABELA 7: RELAÇÃO DOS PONTOS MONITORADOS PELO USGS COM RELAÇÃO AOS TIPOS DE AQUÍFEROS.	24
TABELA 8: DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO COM RELAÇÃO AOS SISTEMAS AQUÍFEROS.	25
TABELA 9: POÇOS DA CORSAN SELECIONADOS PARA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO.	30
TABELA 10: FAIXA DE PRESSÃO E PROFUNDIDADE DE INSTALAÇÃO DOS SENSORES DE NÍVEL DOS POÇOS ANALISADOS.	32
TABELA 11: RELAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS E OS POÇOS QUE O ABASTECEM.	35
TABELA 12: PERÍODO DE DIAS MONITORADOS PARA ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE VAZÃO, VOLUME E TEMPO DE BOMBEAMENTO.	39
TABELA 13: PERÍODO DE DIAS MONITORADO PARA ANÁLISE DO PARÂMETRO DE NÍVEL DE ÁGUA.	40
TABELA 14: PERÍODO DE DADOS DE VOLUME MENSAL MONITORADOS PELA CORSAN.	41
TABELA 15: ANÁLISE ESTATÍSTICA DE TENDÊNCIA CENTRAL DO PARÂMETRO DE VAZÃO REALIZADA EM CADA POÇO.	42
TABELA 16: RELAÇÃO DA QUANTIDADE DE DADOS EXISTENTES PARA CADA PARÂMETRO DOS POÇOS NA CIDADE DE CARLOS BARBOSA.	44
TABELA 17: ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PROFUNDIDADE DOS POÇOS.	47
TABELA 18: ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PROFUNDIDADE DAS ENTRADAS DE ÁGUA DOS POÇOS.	48
TABELA 19: DADOS HIDRODINÂMICOS DOS POÇOS ANALISADOS.	51

TABELA 20: DADOS HIDRODINÂMICOS DOS NOVOS TESTES DE BOMBEAMENTO DOS POÇOS 9, 11 E 34.....	52
TABELA 21: DADOS DAS 4 SUB-BACIAS DA BACIA 1.	54
TABELA 22: VERIFICAÇÃO DOS DADOS DE NÍVEL NOS POÇOS CBA 9, 11, 12 E 26.....	62
TABELA 23: NÍVEIS ESTATIVOS E DINÂMICOS DOS POÇOS CBA 9 E 11 REFERENTES AO NOVO E ANTIGO TESTE DE BOMBEAMENTO	102
TABELA 24: BALANÇO DO VOLUME TOTAL PROJETADO E DO VOLUME TOTAL EXPLOTADO NO PERÍODO MONITORADO NOS POÇOS ANALISADOS.....	103
TABELA 25: DADOS MENSIS DE PRODUÇÃO DOS DEMAIS POÇOS DOS RESERVATÓRIOS R1 E R2.	104
TABELA 26: DIFERENÇAS ENTRE OS MONITORAMENTOS DA CORSAN E DO SIGAS	106
TABELA 27: ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS DIFERENÇAS OBSERVADAS ENTRE OS DADOS DE TB COLETADOS PELA CORSAN E O SIGAS.	108
TABELA 28: ORIGEM DOS VALORES DE DIFERENÇAS MAIS ELEVADOS OBSERVADOS ENTRE OS DADOS DE TB.	109
TABELA 29: ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS DIFERENÇAS OBSERVADAS ENTRE OS DADOS DE VOLUME DE ÁGUA COLETADOS PELA CORSAN E O SIGAS.....	111
TABELA 30: ORIGEM DOS VALORES DE DIFERENÇAS MAIS ELEVADOS OBSERVADOS ENTRE OS DADOS DE VOLUME DE ÁGUA.....	112
TABELA 31: ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS DIFERENÇAS OBSERVADAS ENTRE OS DADOS DE VAZÃO COLETADOS PELA CORSAN E O SIGAS.	114
TABELA 32: ORIGEM DOS VALORES DE DIFERENÇAS MAIS ELEVADOS OBSERVADOS ENTRE OS DADOS DE VAZÃO.....	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

°	Graus
σ	Desvio padrão
%	Porcentagem
A	Ampere
Art	Artigo
Cap	Capitulo
q/s	Capacidade específica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DAEE	Departamento de Águas de Energia Elétrica
E	Leste
EA	Entrada de água
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Fm	Formação
Gr	Grupo
h	Hora
HIDROFRAT	Hidrogeologia de Aquíferos Fraturados
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Km	Quilômetro
Km ²	Quilômetro quadrado
m	Metro
m ² /s	Metros quadrados por segundo
m ³	Metro cúbico
m ³ /h	Metro cúbico por hora
m ³ /h/m	Metro cúbico por hora por metro
Ma	Miliampére
MCA	Metro de coluna d'água
mg/l	Miligrama por Litro
min	Minutos
N	Norte

ND	Nível Dinâmico
NE	Nível Estático
NE	Nordeste
NS	Norte-Sul
NW	Noroeste
PRODESAS	Projeto de Desenvolvimento de Sistemas para Gestão de Águas Subterrâneas
PROF	Profundidade
Q	Vazão
VER	Revestimento
VOL	Volume
RIMAS	Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas
RS	Estado do Rio Grande do Sul
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SIAGAS	Sistema de Informações de Água Subterrânea
SIGAS	Sistema Integrado de Gestão de Águas Subterrâneas
SUREG/PA	Superintendência Regional de Porto Alegre
SW	Sudoeste
T	Tempo
TB	Tempo com bombeamento
TSB	Tempo sem bombeamento
TB.P	Tempo de bombeamento projetado
TSB.P	Tempo sem bombeamento projetado
TDS	Sólidos Totais Dissolvidos
Tit	Título
UTM	Sistema Universal Transverso de Mercator
W	Oeste
X	Média aritmética

1. INTRODUÇÃO

A demanda pelo recurso hídrico subterrâneo é crescente, na medida em que, somente os recursos hídricos superficiais não atendem de forma integral as necessidades por água, impostas pelo crescimento populacional e econômico. Em algumas regiões do país as águas subterrâneas resultam na única fonte de recurso hídrico disponível.

Estima-se que foram perfurados no Brasil 416 mil poços de 1958 a 2008, sendo que 63 mil (15% do total) estão fora de funcionamento (CARDOSO, *et al.*, 2008). No Brasil e nas demais partes do mundo, a utilização das águas subterrâneas tem crescido de forma rápida nas últimas décadas, e as indicações são de que essa tendência deverá continuar, possibilitando que atualmente, a quantidade de poços perfurados no Brasil seja consideravelmente superior aos números registrados até 2008. Segundo IBGE (2002), 15,6% dos domicílios brasileiros utilizam exclusivamente água subterrânea. Segundo Leal (1999), o estado do Rio Grande do Sul é um dos estados com maior número de poços juntamente com São Paulo, Bahia, Ceará e Piauí.

O estado do Rio Grande do Sul possui cerca de 50% de sua área inserida no Sistema Aquífero Serra Geral (SASG). O SASG, no estado do Rio Grande do Sul é caracterizado pela ocorrência de aquíferos fraturados que estão associados às fraturas existentes nas rochas vulcânicas (Machado *et. al.* 2005). O SASG está associado a rochas vulcânicas básicas, intermediárias e ácidas, sendo que as duas primeiras atingem juntas mais da metade da área do estado (ROISEMBERG, *et al.*, 2002). Conforme Reginato *et. al* (2006), a Formação Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul, é caracterizada pela presença de aquíferos granulares e fraturados. O primeiro está associado ao manto de alteração desenvolvido sobre as rochas vulcânicas, possui produtividade inferior em relação ao segundo, sendo utilizado de forma mais frequente pela população rural. O segundo favorece uma maior exploração de água, possui em geral boa qualidade, sendo utilizado para abastecimento da população urbana, assim como de algumas comunidades rurais, através de poços tubulares comunitários.

O SASG é caracterizado por aquíferos anisotrópicos, em função disso, a quantificação dos recursos hídricos subterrâneos presentes nos mesmos, bem como a determinação da capacidade de produção dos poços, apresenta maior incerteza.

O SASG é o aquífero mais explorado do estado do Rio Grande do Sul, no entanto, o mesmo não é monitorado. Os monitoramentos sistemáticos existentes no estado estão associados a poços que captam água de outros aquíferos (Sistema Aquífero Guarani e Quaternário Costeiro), sendo que esses poços fazem parte da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) da CPRM (Mourão, 2009).

Conforme Mourão (2009), a intensidade de aproveitamento dos aquíferos aliadas a falta de informação resulta em severas perdas e impactos como, por exemplo: rebaixamento significativo dos níveis d'água, supressão ou redução de vazões de nascentes, diminuição das vazões de poços tubulares, avanço de cunhas salinas e abatimentos de terrenos. Logo a falta de monitoramento deixa extremamente vulnerável as fontes de recursos hídricos subterrâneos, que conforme dados do IBGE (2010), no estado do Rio Grande do Sul representa a fonte única de abastecimento de 59% do total de seus municípios.

Esse é o caso do Município de Carlos Barbosa, que está localizado no nordeste do estado e tem como única fonte de abastecimento os poços tubulares, os quais captam água do SASG. A Companhia Riograndense de Saneamento – CORSAN possui a concessão do abastecimento de água na área urbana do município.

Devido a estas características Carlos Barbosa foi o município escolhido para a implantação de um sistema de monitoramento quantitativo, com um total de 12 poços que estão sendo monitorados de maneira contínua e em tempo real. Desses 12, apenas 8 foram analisados nesse estudo, os quais foram selecionados em função da quantidade dos dados existentes.

Esses poços estão em operação pela CORSAN para o abastecimento da cidade. Os parâmetros que estão sendo monitorados consistem de: vazão, nível de água, tempo de bombeamento e capacidade específica. O desenvolvimento desse projeto faz parte do subprojeto PRODESAS (Projeto de Desenvolvimento de Sistemas para Gestão de Águas Subterrâneas), que faz parte de um projeto maior, denominado de “HIDROFRAT” (Hidrogeologia de Aquíferos Fraturados). Os objetivos desses projetos são o estudo de aquíferos fraturados e o desenvolvimento de ferramentas para gestão da água subterrânea.

Desta forma este trabalho tem como meta principal avaliar as condições de exploração dos poços tubulares que captam água do SASG, no município de Carlos Barbosa (RS), por meio da interpretação dos dados obtidos pelo sistema de monitoramento de poços. Este sistema de monitoramento vai permitir o acompanhamento da produção dos poços e consiste no primeiro sistema implantado no Sistema Aquífero Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é a avaliação das condições de exploração de poços tubulares que captam água do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), no município de Carlos Barbosa (RS).

Já os objetivos específicos são:

- Avaliar as condições de exploração de poços com base em dados obtidos pelo sistema de monitoramento proposto;
- Analisar o uso do sistema de monitoramento proposto para avaliação das condições de exploração de poços;

3. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Carlos Barbosa (Figura 1), na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Carlos Barbosa está situada a 676 metros acima do nível do mar, entre as coordenadas geográficas 29°18' de Latitude Sul e 51° 30' de Longitude Oeste e está inserida na região do Planalto dos Campos Gerais.

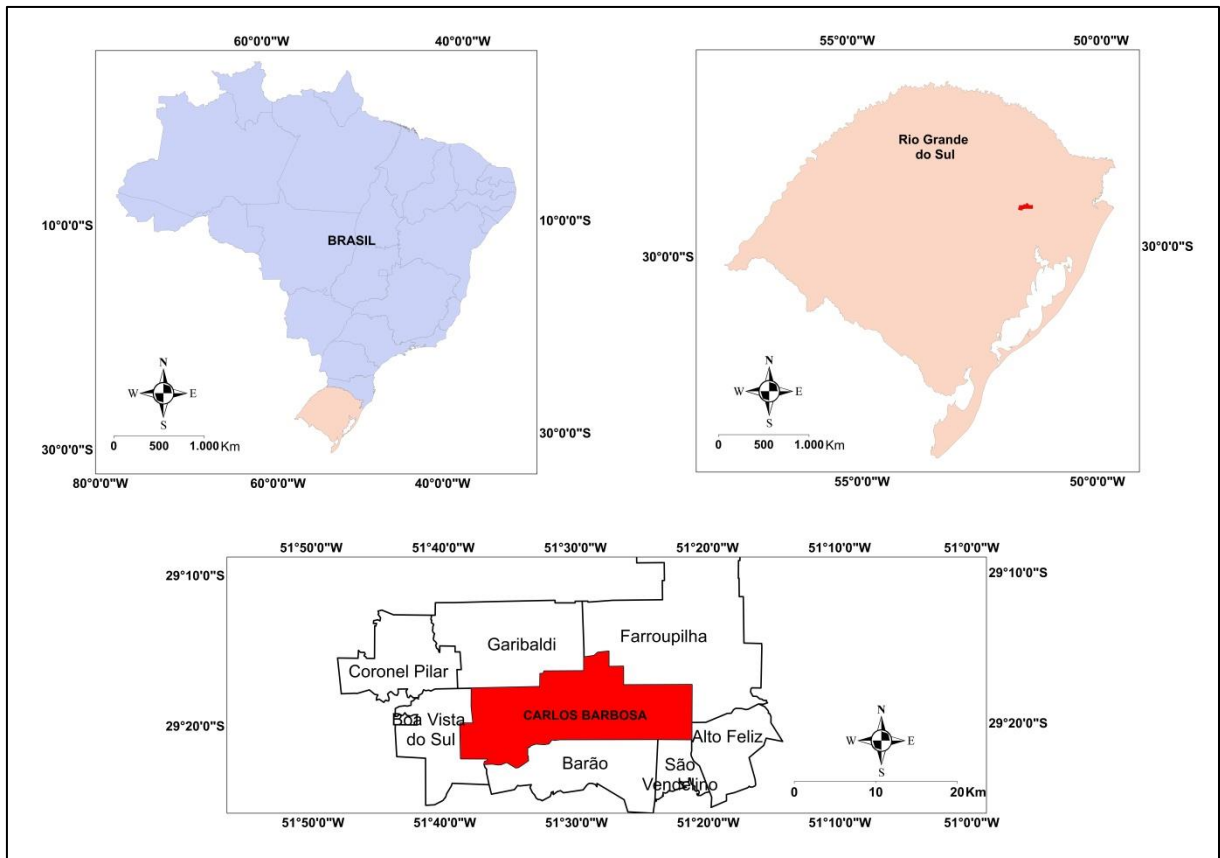


Figura 1: Localização da área de estudo.

O município faz limite com os municípios de Farroupilha, Garibaldi; Barão, Boa Vista do Sul, São Vendelino e Alto Feliz, sendo que a principal atividade econômica está associada ao setor industrial, seguido pelo comércio, agropecuária e serviços consecutivamente.

Segundo a Prefeitura de Carlos Barbosa (2014), a maior parte da população se encontra no meio urbano (79,4%), sendo que tanto o meio urbano quanto o rural são abastecidos exclusivamente por recursos hídricos subterrâneos, explorados por meio de poços tubulares. No meio urbano a empresa responsável pela captação, tratamento e distribuição de água é a CORSAN – Companhia Riograndense de saneamento.

O município de Carlos Barbosa está localizado no divisor de duas bacias hidrográficas, Taquari-Antas e Cai, possuindo 56 % de sua área na primeira bacia e o restante deste percentual na segunda bacia (Figura 2). A cidade possui apenas pequenos arroios que desaguam nestas duas bacias (Taquari-Antas e Cai) as quais desaguam na grande bacia do rio Jacuí (PJS GEOLOGIA LTDA, 2013).

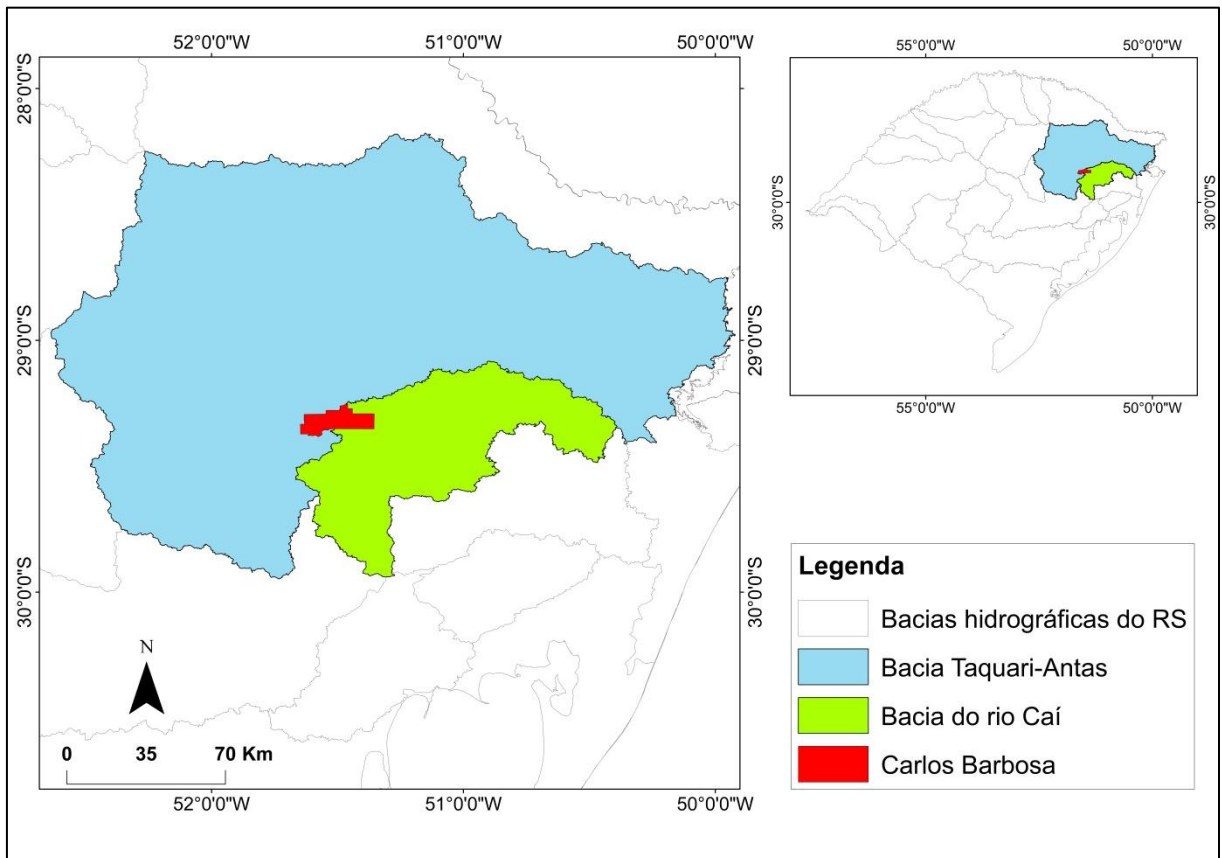


Figura 2: Mapa de localização de Carlos Barbosa nas Bacias hidrográficas do rio Caí e Taquari-Antas

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O estado do Rio Grande do Sul é constituído de três províncias geológicas: Costeira, do Paraná e da Mantiqueira, conforme figura 3 (VIERO, 2010).

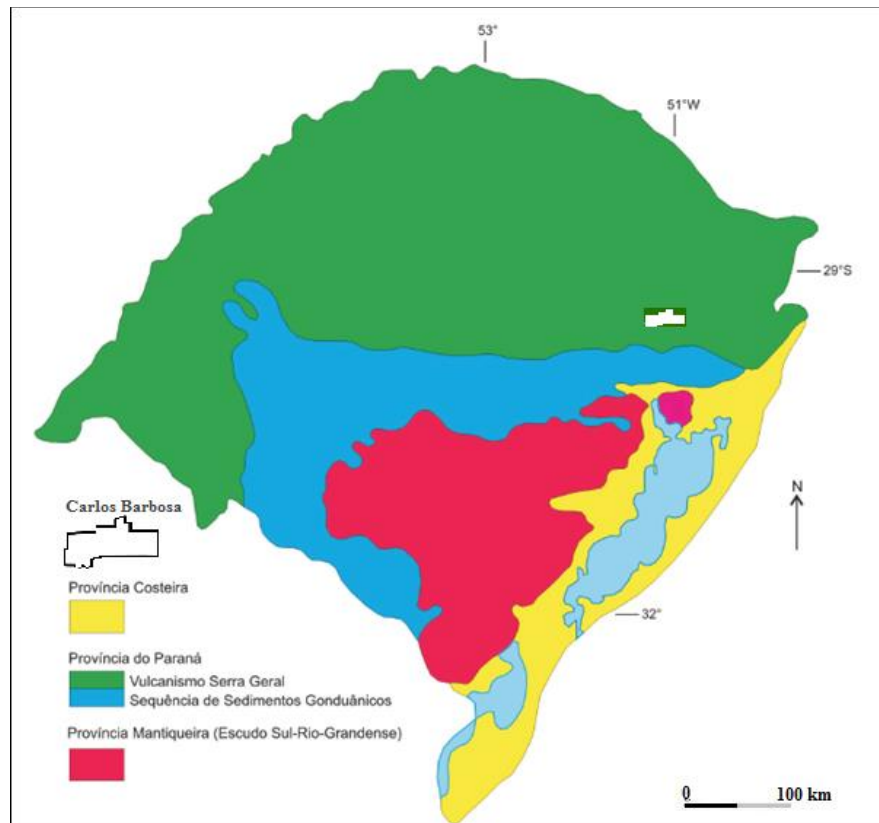


Figura 3: Províncias geológicas que compõem o estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Porcher e Lopes (2000), apud Viero, 2010. Adaptado pelo autor.

Conforme Viero (2010) a Província Mantiqueira abrange a porção central do estado, sendo que nessa região predominam rochas cristalinas, que formam o Escudo Sul-Rio-Grandense.

A Província Costeira é composta por sedimentos finos cenozoicos, sendo que a sedimentação teve início no rompimento e expansão do continente Gondwana e consequente abertura do oceano Atlântico (TOMAZZELI *et al.*, 2007).

A área de estudo está inserida na Província do Paraná, sendo que a mesma é caracterizada por uma sequência de rochas sedimentares e vulcânicas (Milani e Ramos, 1998). A Bacia do Paraná possui uma área de aproximadamente $1,7 \times 10^6$ km², forma alongada segundo SW-NE, abrangendo parte dos territórios do Brasil ($1,1 \times 10^6$ km²), Argentina (400×10^3 km²), Uruguai e Paraguai (100×10^3 km²) (ZALÁN, *et al.*, 1990). Ao longo de seu eixo, atinge um comprimento de 1.900 km, desde a cidade de Durazno (Uruguai) até Morrinhos

(Mato Grosso), na região Centro-Oeste do Brasil, e uma largura de 900 km entre as cidades brasileiras de Aquidauana (Mato Grosso do Sul) e Sorocaba (São Paulo) (VIERO, 2010).

Com o enfoque no controle tectônico da sedimentação, Milani (1997) organizou os ciclos de preenchimento da bacia em supersequências, denominadas: Rio Ivaí, Paraná, Gondwana I, Gondwana II e Gondwana III. Destas, apenas as três últimas ocorrem no estado do Rio Grande do Sul, ocupando a área Central e Norte do mesmo (Figura 4).

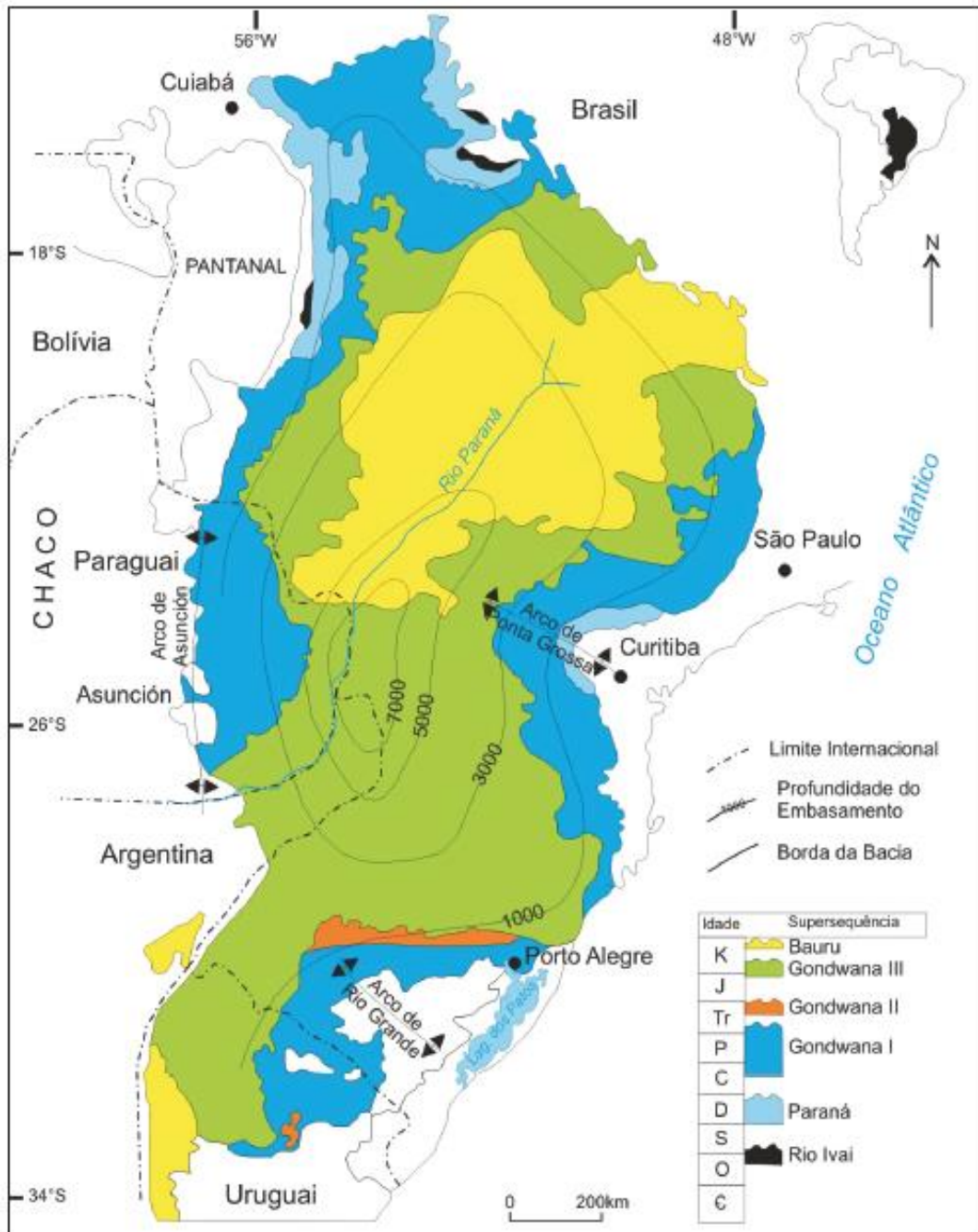


Figura 4: Distribuição da Bacia do Paraná no interior do continente sul-americano. Fonte: Viero 2010, modificado de Milani, 1997.

Abaixo são descritas as formações por ordem de ocorrência de cada uma das grandes sequências presentes no estado do Rio Grande do Sul:

- Gondwana I: Formação Taciba (Grupo Itararé), Formação Rio Bonito, Formação Palermo, Formação Irati, Formação Serra Alta, Formação Terezina, Formação Rio do Rastro, Formação Pirambóia e Sanga do Cabral;
- Gondwana II: Formação Santa Maria, Formação Caturrita, Formação Guará;
- Gondwana III: Formação Botucatu e Formação Serra Geral.

A área de estudo está inserida na supersequência Gondwana III, na Formação Serra Geral. A Formação Serra Geral, teve sua origem relacionada a atividades geológicas, de natureza tensional que ligadas à separação continental possibilitaram o extravasamento de enormes quantidades de lava ocorridas no final do Jurássico e início do Cretáceo, sendo que tal acontecimento deu origem a uma sequência de derrames de rochas vulcânicas (LEINZ, 1949). No estado do Rio Grande do Sul a Formação Serra Geral ocupa uma área de cerca de 137.000 Km² o que corresponde a cerca de 50% da área do estado (HAUSMAN, 1995).

A espessura da sequência vulcânica é variável, em média 800 m, podendo atingir o seu extremo em 1700 m (Roisemberg e Viero, 2002; Hausman, 1995). No estado do Rio Grande do Sul a espessura máxima registrada foi na borda do Planalto com a Planície Costeira, atingindo 1100m, ao leste. Em direção ao vale do Rio Uruguai, esta espessura diminui, podendo atingir até 100m (LEINZ, 1949).

Conforme Roisemberg e Viero (2002) a Formação Serra Geral é formada por sequências de rochas vulcânicas básicas, intermediárias e ácidas (Figura 5). As principais litologias associadas a essas sequências são os basaltos toléíticos, riolitos, riodacitos, andesitos e dacitos (RADAM/BRASIL, 1986).

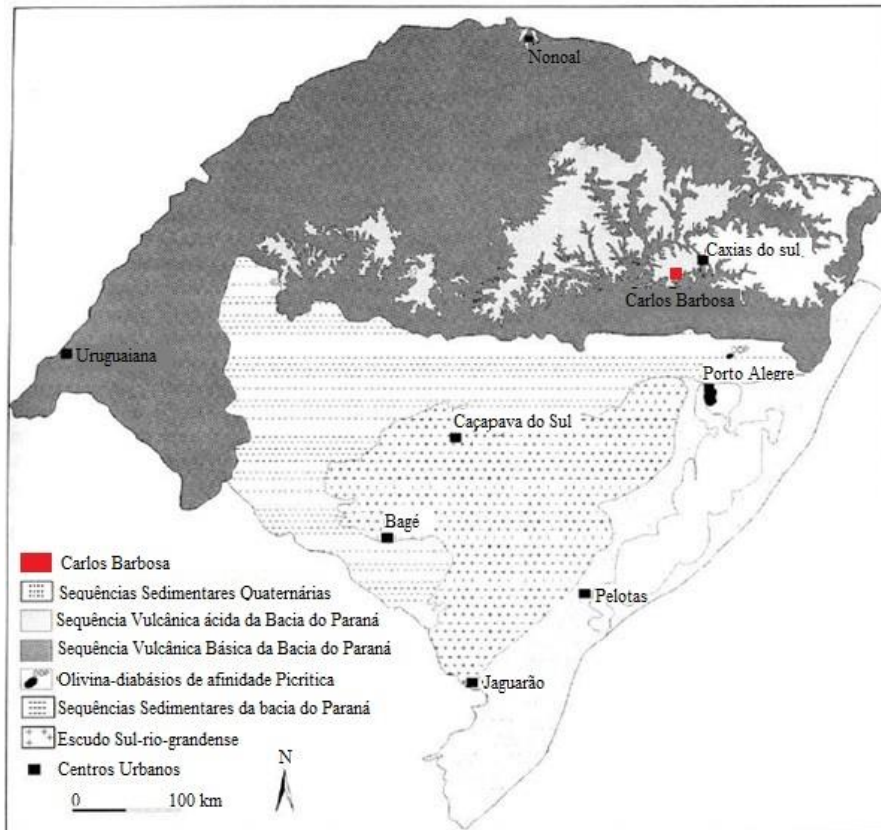


Figura 5: Mapa geológico com a distribuição das sequências de rochas vulcânicas ácidas e básicas no Planalto. Fonte: Roisenberg e Viero, 2002. Adaptado pelo autor.

Conforme Nardy *et al.* (2008), as rochas vulcânicas ácidas mesozoicas recobrem uma área de 64.000 km² da Bacia do Paraná. No estado do Rio Grande do Sul, cobrem cerca de 50.000 km², com uma espessura máxima de aproximadamente 400 m (WILDNER, *et al.*, 2006).

As rochas vulcânicas básicas e intermediárias no Rio Grande do Sul abrangem mais da metade da área do estado, sendo caracterizadas pela ocorrência de rochas basálticas e andesíticas (ROISENBERG e VIERO, 2002). Essa sequência de rochas (básica e intermediária) possui uma espessura variável, dependendo da topografia onde estão inseridas, aumentando de oeste para leste e atingindo valores de 600 metros na escarpa nordeste do estado (ROISENBERG e VIERO, 2002).

4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

As unidades presentes na área de estudo são Palmas/Caxias e Gramado, conforme figura 6. Tais unidades estão associadas às principais litologias que compõem a região em questão: basaltos do tipo Gramado e vulcânicas ácidas do tipo Palmas/Caxias (CPRM, 2010).

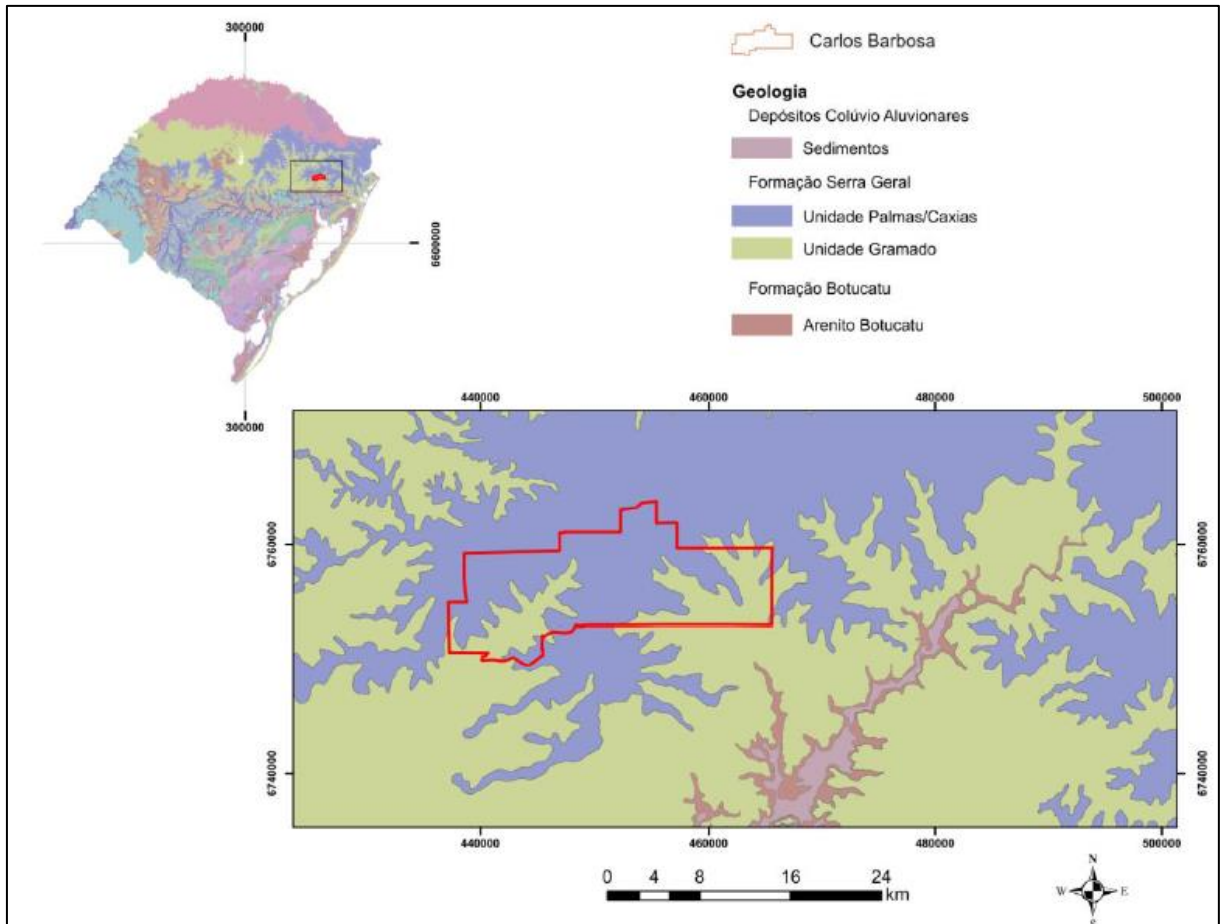


Figura 6: Contexto geológico da área de estudo. Fonte: Bortolin 2014, adaptado de CPRM, 2010.

Na região de estudo a principal unidade é Palmas/Caxias, restando um menor percentual de área para a unidade Gramado, Abaixo segue a descrição, segundo CPRM (2010), das duas unidades:

- A unidade Palmas/Caxias é caracterizada por litologias do tipo riodacitos e riolitos de coloração cinza clara a cinza esverdeada a azulada, textura fanerítica fina e aspecto mosqueado (pontos esbranquiçados). Essas rochas estão dispostas em derrames, com espessuras médias de 50 metros, que se caracterizam por uma zona basal maciça, por uma zona central marcada por uma ampla disjunção horizontal ou tabular e por uma zona de topo vesicular a amigdalóide. Na zona basal ocorrem comumente vitrófiros que são rochas maciças, com baixo grau de fraturamento, afaníticas, de coloração preta a marrom avermelhada com um leve brilho superficial. Também podem ocorrer brechas vulcânicas na base dos derrames. A zona central é caracterizada pelos riodacitos apresentando disjunção horizontal de espaçamento centimétrico a decimétrico. No topo há a ocorrência de riodacitos ou riolitos com presença de vesículas e amígdalas, geralmente, preenchidas por minerais de quartzo e carbonatos.

- A unidade Gramado é caracterizada pela ocorrência de basaltos e andesibasaltos que são rochas de coloração cinza escura, castanha a marrom, de textura fanerítica muito fina a afanítica dispostas em derrames com espessuras inferiores a 30 metros. Nesses derrames é comum a ocorrência de amplas zonas vesiculares a amigdaloides preenchidas por minerais como zeolitas e quartzos.

Bortolin (2014), identificou que na região de Carlos Barbosa, há 7 derrames de rochas vulcânicas, sendo que, desses 5 são ácidos e 2 básicos. Os derrames básicos ocorrem em altitudes inferiores a 500 metros e os derrames ácidos em altitudes superiores a 500 metros, conforme a tabela 1.

Tabela 1: Tipos de Rochas e Derrames identificados na área e suas altitudes aproximadas.
Fonte: Bortolin, 2014.

Altitude (Aproximada)	Rocha	Derrame
> 698	Riodacito	Derrame Ácido 5
649 a 698	Riolito/Dacito	Derrame Ácido 4
620 a 649	Riodacito	Derrame Ácido 3
561 a 620	Riodacito	Derrame Ácido 2
500 a 561	Riolito	Derrame Ácido 1
445 a 500	Basalto	Derrame Básico 2
até 445	Basalto	Derrame Básico 1

Reginato *et al.* (2014), identificaram através de trabalhos de campo na região de Carlos Barbosa, que as principais estruturas tectônicas estão representadas por planos de fratura que possuem mergulhos verticais e sub-verticais, sendo orientadas principalmente para o quadrante NW (N00-10W) e NE (N60-80E). Esses planos cortam os diferentes derrames conectando-se a estruturas horizontais ou sub-horizontais geradas por diferentes processos (tectônicos, resfriamento das rochas vulcânicas e contato entre derrames), promovendo assim a circulação da água subterrânea pela sequência de rochas vulcânicas (Reginato et al. 2015).

4.3 CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

A geomorfologia é uma peça importante para que se entenda melhor o comportamento dos recursos hídricos subterrâneos, porque a mesma tem influência nos processos de recarga e

descarga dos aquíferos. Em uma escala regional a área de estudo está situada em dois domínios geomorfológicos (Figura 7): Planalto dos Campos Gerais e Escarpa da Serra Geral.

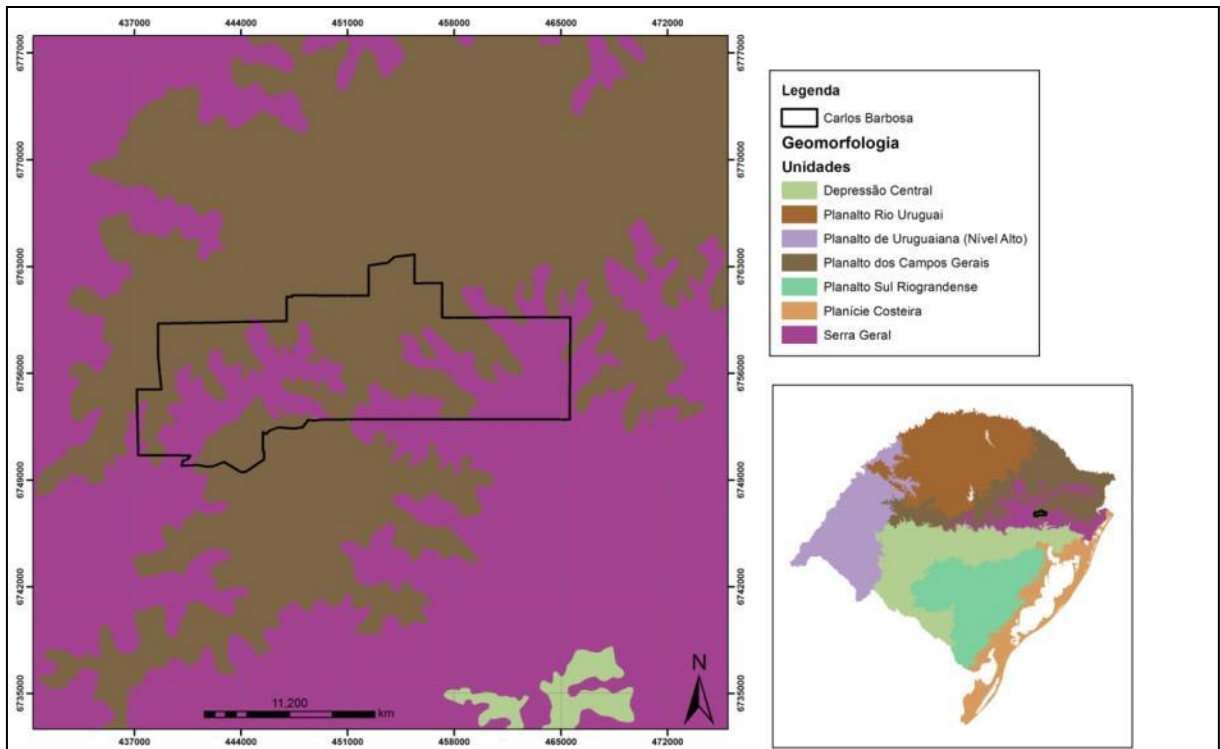


Figura 7: Contexto geomorfológico da área de estudo Fonte: adaptado de RADAM, 1986.

O Planalto dos Campos Gerais compreende o trecho mais elevado do Planalto das Araucárias (IBGE, 1995 apud Viero, 2010) e se situa no Nordeste do Rio Grande do Sul. As cotas do Planalto dos Campos Gerais variam entre 600 e 1.300 m, sendo constituídos por extensos platôs e superfícies planálticas embutidas, levemente adernadas para Oeste. Os padrões de relevo dominantes consistem de antigas superfícies de aplainamento, que demarcam o topo do Planalto dos Campos Gerais. Apresentam topografia plana à levemente ondulada, com desnivelamentos inferiores a 20 m (VIERO, 2010).

À Escarpa da Serra Geral está situada às margens do Planalto das Araucárias na direção Leste-Oeste e no litoral Norte na direção Sudoeste-Nordeste. É um relevo montanhoso, muito acidentado, com vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. A amplitude de relevo é superior a 300 m e a inclinação das vertentes se situa entre 25 e 45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60-90°) (VIERO, 2010).

Na figura 8 é possível observar o relevo associado à geomorfologia da área de estudo. As regiões mais claras coincidem com a unidade geomorfológica da Escarpa Serra Geral e as regiões mais escuras com a unidade geomorfológica do Planalto dos Campos Gerais.

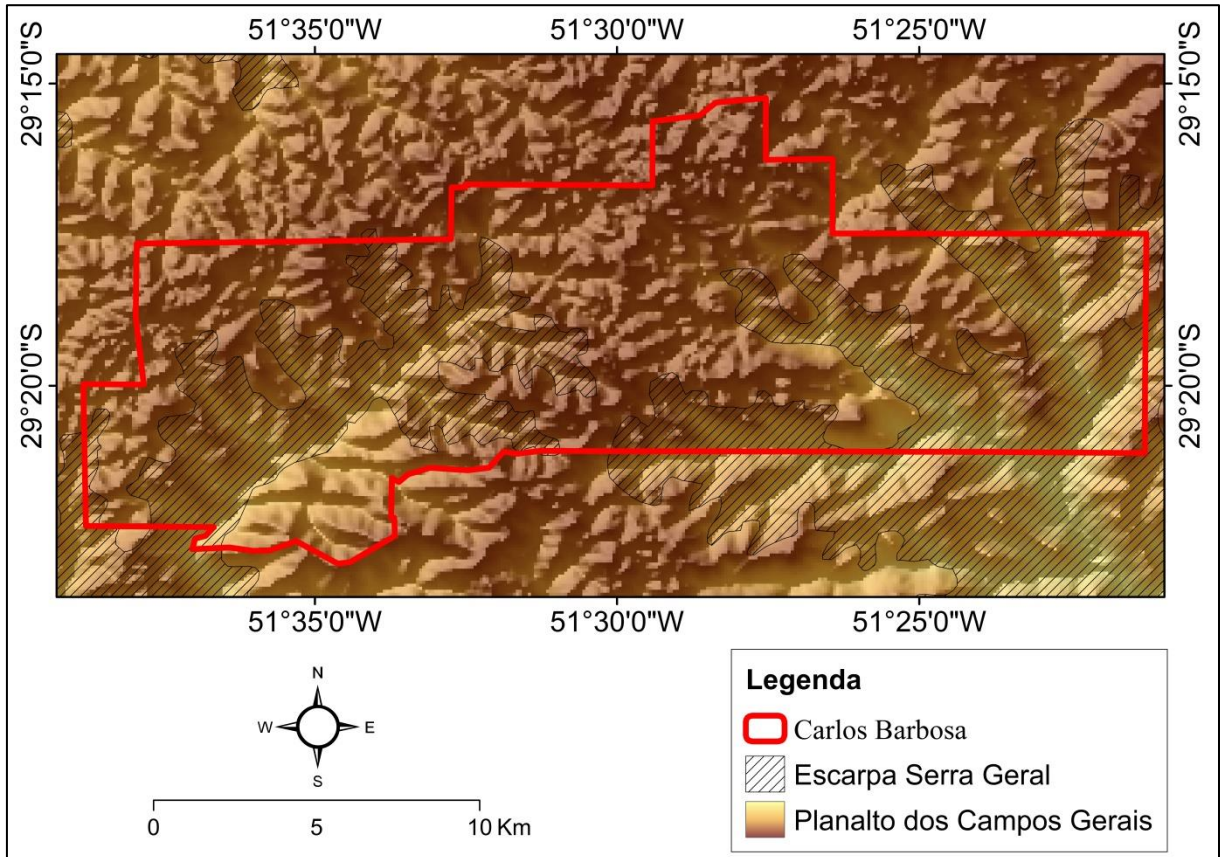


Figura 8: Relevo associado à geomorfologia de Carlos Barbosa.

4.4 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, onde os reservatórios de água subterrânea estão associados às rochas sedimentares e vulcânicas. Na Bacia Sedimentar do Paraná, os principais sistemas aquíferos são o Guarani (representado principalmente pelas Formações Botucatu e Pirambóia), Serra Geral (associados às rochas vulcânicas da Formação Serra Geral) e Bauru (associados às rochas sedimentares do Grupo Bauru).

Esses três sistemas aquíferos totalizam um volume de água que é estimado em 50.000 km³ (Rebouças, 1988 apud Reginato, 2003). Na tabela 2 estão dispostos alguns dados hidrogeológicos desses principais sistemas aquíferos.

Tabela 2: Dados hidrogeológicos para os aquíferos pertencentes à divisão hidrogeológica da Bacia do Paraná. Fonte: Rebouças, 1988 apud Reginato, 2003.

BACIA DO PARANÁ	
Aquífero Botucatu	Vazão específica: 10-150m ³ /h (não confinado) 300 a 1000 m ³ /h (artesiano) Transmissividade: 1,5-7,0 x 10 ⁻³ m ² /s Coeficiente de estocagem: 0,2 –0,05 (não-confinado) 10 ⁻³ a 10 ⁻⁶ (confinado)
Aquífero Serra Geral	Vazão específica: 3,5 x 10 ⁻³ a 37,7m ³ /h Profundidade dos poços: 31 a 190m Permeabilidade: 10 ⁻³ -10 ⁻⁷ m/s TDS: <300mg/l
Aquífero Bauru	Vazão específica: 0,03-6m ³ /h/m TDS: <200mg/l

As rochas fraturadas proporcionam naturalmente um ambiente heterogêneo e anisotrópico para a circulação de água. Devido a esta característica a quantificação dos recursos subterrâneos em rochas fraturadas é ainda pouco conhecida (NEVES, 2005).

Os dados hidrodinâmicos dos poços de alguns estados abrangidos pela Formação Serra Geral demonstram exatamente esse comportamento anisotrópico e heterogêneo dos aquíferos inseridos nesta Formação. No estado de São Paulo, a partir da análise de 220 poços com profundidade média de 102 m, constatou-se vazões bastante variadas, com ocorrência de valores inferiores a 1m³/h até 150 m³/h, sendo a moda da capacidade específica de 0,5 m³/h/m (DAEE 1974, 1976 e 1980 apud REBOUÇAS e FRAGA, 1988). Este modal de capacidade específica é coerente com o valor médio de 0,62 m³/h/m dos poços que captam água do SASG no estado de São Paulo (MOURÃO, 2009). O estado do Paraná possui dois domínios hidrogeológicos o Serra Geral Norte e o Serra Geral Sul. No primeiro o modal de vazão encontrado a partir da análise de 165 poços foi de 42m³/h, já no Serra Geral Sul foi de 10,7 m³/h (REBOUÇAS e FRAGA, 1988). Conforme Mourão (2009), na porção norte a vazão média é de 18 m³/h e na porção sul são significativamente inferiores, de 10 m³/h. Em trabalho mais recente realizado por Athayde *et.al* (2012) no SASG no estado do Paraná, a partir de 337 poços tubulares, identificou duas Províncias Hidroestruturais, através do zoneamento quantitativo das vazões e capacidade específica: A província Hidroestrutural Jacutinga noroeste e sudeste, sendo que a primeira possui uma vazão mediana de 31,5 e a segunda de 13 m³/h e capacidades específicas medianas de 2,5 m³/h/m na primeira e 0,9 m³/h/m na segunda.

No estado do Mato Grosso Sul a capacidade específica dos poços varia de 0,1 a 61,5 m³/h/m, onde 58% possuem vazões específicas inferiores a 2 m³/h/m. Os valores de transmissividade mais frequentes são de 30 m²/dia, no entanto também foi registrado o valor de 1,176 m²/dia (MOURÃO, 2009).

No estado do Rio Grande do Sul, a área de estudo está situada nas rochas vulcânicas da Formação Serra Geral, que conforme Pessoa *et al.* (1980) comportam-se como um aquífero fraturado ou fissural, sendo o armazenamento de água subterrânea restrito às regiões mais intensamente fraturadas. Conforme a classificação de Lisboa (1996), a área de estudo está situada na Unidade Morfotectônica da Fachada Atlântica (Figura 9).



Figura 9: Províncias hidrogeológicas da Formação Serra Geral Fonte: Lisboa, 1996. Adaptado pelo autor.

Esta unidade é caracterizada pelo modelado estrutural aplainado á Leste e dissecado em direção a Oeste (BETIOLLO, 2006). Lisboa (1996) subdivide esta Unidade Morfotectônica da Fachada Atlântica em duas unidades hidrogeológicas:

- Unidade Hidrogeológica da Fachada Atlântica Aplainada: Nesta unidade a recarga é favorecida pelo manto de alteração, que alimenta lineamentos de médio e pequeno porte, os quais abastecem as fraturas em profundidade.
- Unidade Hidrogeológica da Fachada Atlântica Dissecada: A área abrangida por esta unidade apresenta um baixo potencial hidrogeológico, tendo em vista que os solos são pouco espessos, diminuindo a capacidade de armazenamento. O alto grau de dissecação do relevo favorece baixas altitudes nos lineamentos, representados por vales profundos.

Conforme Reginato *et al.* (2006), a Formação Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul, a qual está associada á sequencia de rochas vulcânicas ácidas e básicas, é caracterizada pela presença de dois tipos de aquíferos, um granular livre e outro fraturado.

O aquífero granular está localizado no manto de alteração existente sobre as rochas vulcânicas da Formação Serra Geral e possui como principais fatores condicionantes: solo (tipo e espessura), revelo e litologia (tipo e estruturação primária) e clima (Reginato, *et al.*, 2006). Em função dos condicionantes citados, o aquífero livre se comporta de forma heterogênea, possui dimensões reduzidas e circulação localizada. Em relação ao aquífero fraturado, o aquífero livre possui menor capacidade de produção, apresenta uma zona saturada com espessura inferior a 1,7 metros, níveis estáticos variando entre 0 e 1 metro e vazões baixas (<0,5 m³/h). Esse aquífero é mais utilizado pela população rural, sendo captado por meio de poços tipo cacimba ou nascentes (REGINATO, *et al.*, 2012).

O aquífero fraturado que ocorre associado às rochas vulcânicas apresenta águas de boa qualidade que é utilizada tanto para abastecimento urbano e rural (poços comunitários) sendo que sua captação é feita através de poços tubulares (Reginato, *et al.*, 2012).

Conforme Reginato *et al.* (2007), existem aquíferos na Formação Serra Geral produtivos, os quais estão relacionados com as estruturas primárias de resfriamento de rochas vulcânicas. Segundo este autor as estruturas primárias que condicionam o SASG, em ordem de importância são: contato entre rochas vulcânicas e zonas vesiculares a amigdalóides e/ou brechadas, rochas vulcânicas fortemente vesiculares a amigdaloides e disjunções horizontais dos riocitos.

Hausman (1966) apud Rebouças e Fraga (1988) a partir de uma centena de poços no estado do Rio Grande do Sul, em aquíferos localizados nas rochas vulcânicas, constatou que os níveis estáticos variam de 0,32 a 130 m, com a moda de 30 m. As capacidades específicas variam de $4 \cdot 10^{-3}$ a 38 m³/h/m, com a moda de 0,47 m³/h/m. Conforme Rebouças e Fraga

(1988) a vazão nos basaltos do estado do Rio Grande do Sul e no Uruguai, ocorre conforme a tabela 3.

Tabela 3: Vazão nos Basaltos, no estado do Rio Grande do Sul e no Uruguai. Fonte: Rebouças e Fraga, 1988.

Basalto	Vazão m³/h	Vazão máxima atingida (m³/h)
Altamente fraturado	entre 10 e 15	90
Moderadamente fraturado	entre 6 e 10	20
Pouco fraturado	entre 2 e 4	---

No mapa hidrogeológico do estado do Rio Grande do Sul o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é apresentado apenas como fraturado e dividido em três aquíferos distintos: I, II e III, sendo que a principal diferença entre eles reside na possibilidade de haver água nas estruturas tectônicas (Figura 10). O SASG I é classificado como tendo de alta a média possibilidade, o SASG II com média a baixa e o SASG III foi classificado como praticamente improdutivo.

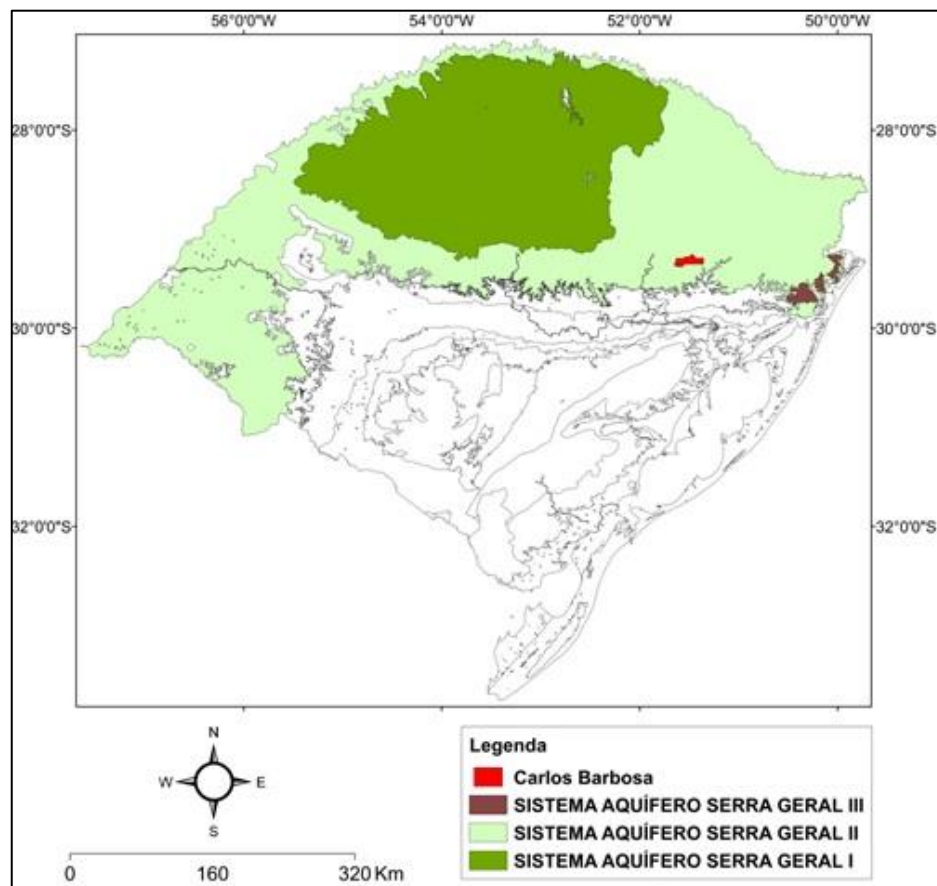


Figura 10: Contexto hidrogeológico da área de estudo Fonte: elaborado a partir de Viero e Silva, 2010.

Na área de estudo há ocorrência do SASGII, conforme figura 10. Segundo Machado *et al.* (2005) no SASGII as principais litologias são os riolitos, riolacitos e em menor proporção os basaltos fraturados. A capacidade específica é inferior a 0,5 m³/h/m, no entanto, áreas mais fraturadas ou com arenitos na base do sistema, podem ser encontrados valores superiores a 2 m³/h/m.

Conforme Betiollo (2006), em estudo no SASG na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, a partir dos dados de 166 poços, identificou que a vazão específica média da área é 0,7212 m³/h/m, quartil médio varia entre 0,1536 e 0,8482 m³/h/m. O autor considerou para o quartil inferior valores abaixo de 0,1536 m³/h/m e para o quartil superior valores acima de 0,8482 m³/h/m. A máxima e a mínima encontrada pelo autor foram de 10,2272 e 0,0015 m³/h/m respectivamente. Conforme este autor, Carlos Barbosa está localizada nas regiões, onde ocorrem vazões do quartil médio e Superior.

Conforme Reginato e Strieder (2004) as características hidrodinâmicas do SASG evidenciam um comportamento fortemente anisotrópico, em função disso a potencialidade do aquífero é intensamente variada. Segundo Reginato e Strieder (2005), o grau de potencialidade está relacionado diretamente com os fatores condicionantes do aquífero característicos de cada região. Segundo Rebouças e Fraga (1988) a potencialidade não é um valor fixo, podendo variar com: desenvolvimento dos meios técnicos e financeiros da exploração, mudanças no balanço hídrico e das condições econômicas do projeto. Ainda segundo este autor “O potencial de água subterrânea de uma região é definida como a quantidade disponível para utilização, em forma de exploração racional”.

Na tabela 4 foram classificadas por Reginato e Strieder (2005), em relação a suas potencialidades, algumas regiões do nordeste do estado do Rio Grande do Sul, considerando os fatores condicionantes do aquífero (estruturas, relevo, litologia e solos).

Tabela 4: Relação entre a potencialidade do sistema aquífero fraturado e as diferentes regiões. Fonte: Reginato e Strieder, 2005.

POTENCIALIDADES	REGIÕES
Alta	Farroupilha, Flores da Cunha, Antônio Prado e Bento Gonçalves
Média	Caxias do Sul e São Marcos
Baixa	Cotiporã, Monte Belo do Sul, Nova Pádua, Nova Roma do Sul e Veranópolis

Estas regiões estão extremamente próximas, no entanto, apresentam variações em seus parâmetros condicionantes que resultam na variabilidade das condições hidrodinâmicas do aquífero.

Na tabela 5 são apresentados alguns dados hidrodinâmicos médios observados em 238 poços tubulares por Reginato e Strieder (2006), no SASG também na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. As variações de vazão e as capacidades específicas, em geral baixas, são resultado da forte anisotropia presente no SASG (REGINATO e STRIEDER, 2005).

Tabela 5: Características hidrodinâmicas dos 238 poços do SASG. Fonte: Reginato e Strieder, 2006.

Características	Resultados		
Profundidade Média dos Poços Tubulares	110 m		
Número de Entradas de água	1 (43,5%)	2 (39,1%)	3 ≥ (17,4%)
Profundidade das Entradas água	Intervalo de 0 até 70 m (76%)		
Nível Estático (NE)	0 até 10 m (66,4%)	10 a 20 m (16,4%)	Acima de 20 m (17,2%)
Transmissividades (T)	Média 0,493 m ² /h	Mínima 0,133 m ² /h	Máxima 1,458 m ² /h
Capacidades Específicas (q)	Média 0,395 m ³ /h/m	Mínima 0,106 m ³ /h/m	Máxima 1,166 m ³ /h/m
Vazões (Q)	< 10 m ³ /h (72,1%)	10 a 20 m ³ /h (18,6%)	> 20 m ³ /h (9,3%)

Reginato (2003) realizou uma caracterização hidroquímica baseada na análise de 137 amostras para os aquíferos fraturados, na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, tendo encontrado a ocorrência de três campos principais:

- Águas bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas: 80,1%
- Águas bicarbonatas sódicas: 18,4%
- Águas sulfatadas cálcicas ou magnesianas: 1,4%

Com relação à análise dos cátions, se verificou três campos principais:

- Águas cálcicas: 62%;
- Águas mistas: 37,6%;
- Águas sódicas: 18,4%;

Em um estudo realizado na região Nordeste do estado do Rio Grande do Sul, através de análise de 166 poços Betiollo (2006), constatou que nesta região a composição das águas, de acordo com o diagrama PIPER, é predominantemente bicarbonatada cálcica e/ou sódica, com incidência relativamente pequena de composição bicarbonatada cálcico-magnésiana e rara de águas sulfatadas e cloretadas, no entanto, em sua área de estudo foi constatada a ascensão das águas do SAG para o SASG.

4.5 CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO LOCAL

Em relação aos aspectos estruturais Dias (2013), em estudo na região de Carlos Barbosa, analisou 140 poços (46 da CORSAN e 94 de empresas privadas e particulares) e constatou que os locais que possuem os lineamentos com direções N0-10W e N30-50W e secundariamente, N70-80E, são os mais favoráveis para à locação de poços tubulares, sendo que as vazões entre 10 e 50 m³/h estão associadas a essas direções.

Na tabela 6 podemos visualizar os resultados obtidos Bortolin (2014), a partir de estudos realizados em 137 poços cadastrados no SIAGAS e na CORSAN, na região de Carlos Barbosa, sendo que desses 137, 76 poços possuíam dados de nível estático, 57 de capacidade específica, 74 de vazão e 50 poços possuíam o número e a profundidade de entradas de água, os quais foram utilizados na caracterização hidrogeológica. Nota-se a partir da tabela 6, que a maioria das captações possuem preferencialmente profundidades entre 50 e 150 metros, nível estático localizado entre 0 e 5 metros, capacidade específica entre 0 e 0,5 m³/h/m e vazão abaixo dos 20 m³/h. O maior percentual de poços possui de 1 a 3 entradas da água, localizadas predominantemente em torno de 50 a 100 metros de profundidade.

Tabela 6: Distribuição percentual dos principais dados e parâmetros hidrodinâmicos obtidos da interpretação de dados dos poços tubulares. Fonte: Bortolin, 2014.

Dados e Parâmetros	Resultados			
Profundidade dos Poços (m)	0 a 50 (3%)	50 a 100 (34%)	100 a 150 (39%)	> 150 (24%)
Número de Entradas de Água	1 (36%)	2 (26%)	3 (18%)	>3 (20%)
Profundidade das Entradas de Água (m)	0 a 20 (21%)	20 a 50 (26%)	50 a 100 (37%)	> 100 (16%)
Nível Estático (m)	0 a 5 (41%)	5 a 10 (18%)	10 a 20 (14%)	> 20 (26%)
Capacidade Específica (m ³ /h/m)	0 a 0,3 (42%)	0,3 a 0,5 (19%)	0,5 a 1,0 (23%)	>1,0 (16%)
Transmissividade (m ² /h)	0 a 0,1 (27%)	0,1 a 0,5 (42%)	0,5 a 1 (15%)	> 1 (15%)
Vazão (m ³ /h)	0 a 5 (26%)	5 a 10 (22%)	10 a 20 (32%)	> 20 (20%)

Bortolin (2014) descreve que na região de Carlos Barbosa as águas que circulam por esses aquíferos são do tipo bicarbonatadas cálcicas ou magnesianas, predominando as águas bicarbonatadas mistas e cálcicas, conforme diagrama de PIPER apresentado na figura 11.

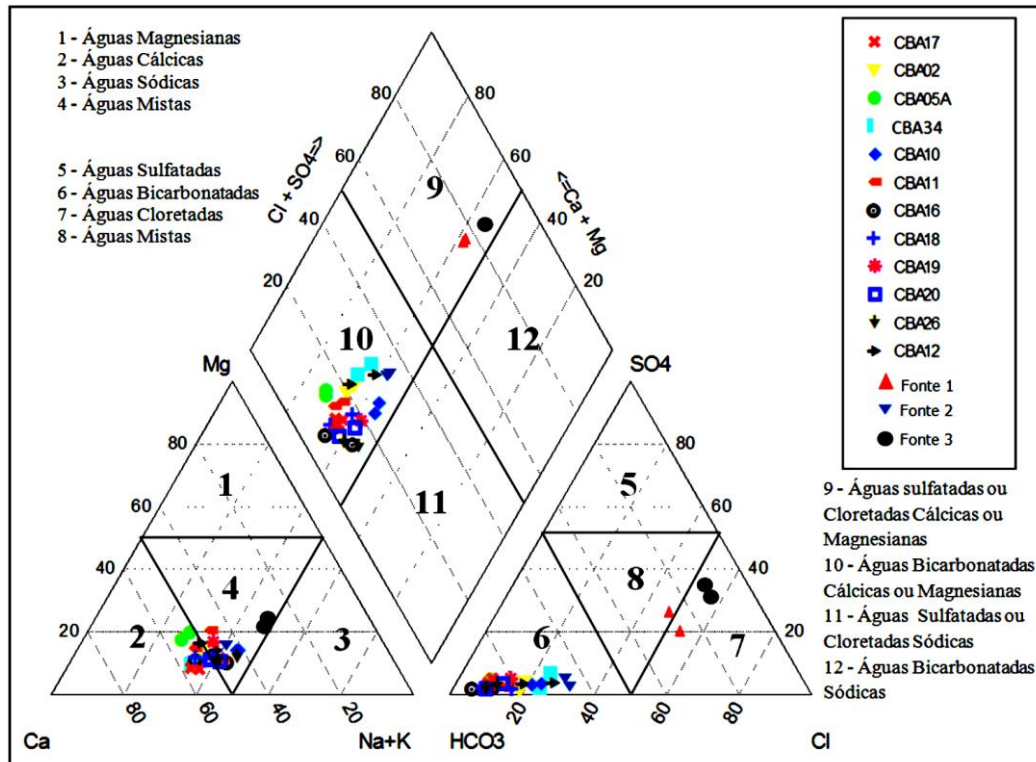


Figura 11: Diagrama de PIPER de 12 poços e 3 fontes de Carlos Barbosa. Fonte Bortolin, 2014.

Além disso, foi detectada pelo autor, uma semelhança isotópica entre as águas analisadas na região de Carlos Barbosa (poços, fontes e água da chuva), indicando que ocorrem recargas diretas na área de estudo. As águas subterrâneas analisadas em Carlos Barbosa apresentam baixo grau de mineralização e baixo tempo de residência, sendo que as exceções foram encontradas em poços que possuíam entradas de água mais profundas.

As características hidroquímicas das amostras analisadas são típicas de águas que circulam por estruturas de rochas vulcânicas ácidas, sendo as concentrações variáveis com as profundidades das entradas da água (BORTOLIN, 2014).

4.6 MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Conforme Dias *et al.* (2008), a importância do monitoramento dos recursos hídricos no Brasil, está explícita na Política Nacional de Recursos Hídricos, no momento em que um de seus objetivos é “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei nº 9.433). Segundo Mourão & Peixinho (2012), o monitoramento desempenha um papel vital para efetivação dos instrumentos legais previstos para proteção e gestão das águas subterrâneas. Desta forma a necessidade do monitoramento também está presente em outros instrumentos legais, tais como, a Resolução CNRH nº 22 de 24 DE MAIO DE 2002, a Resolução no 15/2001 do CNRH e Resolução CONAMA nº 396/2008. Sendo a última

resolução responsável pela classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Segundo UNEP/WHO (1996 apud DIAS, *et al.*, 2008), a International Organization for Standardization (ISO) define o monitoramento como “um processo programado de amostragem, medições e armazenamento de dados sobre várias características da água”.

Conforme Mourão & Peixinho (2012) é inquestionável a importância do monitoramento para implementação de uma base de dados hidrogeológicos. O autor destaca que o programa de monitoramento deve ser efetivo, flexível, que leve em conta as condições hidrogeológicas regionais e locais, o uso e ocupação dos terrenos, as demandas hídricas atuais e futuras e as necessidades específicas dos diversos usuários.

Os benefícios decorrentes de um programa de monitoramento consistente são citados abaixo por EUROPEAN COMMUNITIES, 2007 apud Mourão & Peixinho (2012):

- Subsidiar e validar os procedimentos de análise de risco;
- Avaliação confiável da condição quantitativa dos corpos de água subterrânea, incluindo a avaliação da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo;
- Estimar a direção e taxa de fluxo da água subterrânea;
- Estabelecer avaliações de tendência de longo termo tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas;
- Definir o estado qualitativo dos corpos d'água considerados sob risco de contaminação;
- Identificar tendências significativas de crescimento na concentração de poluentes e no aumento do rebaixamento do nível d'água.
- Avaliar a reversão das tendências nas condições qualitativas e/ou quantitativas após a implantação de medidas mitigadoras.

Conforme Koreimann *et al.* (1996) apud DIAS *et al.* (2008) a Agência Ambiental Europeia (EEA), através do Centro de Águas Interiores, produziu em 1996 o relatório de monitoramento de águas subterrâneas na Europa. Neste relatório consta que o monitoramento qualitativo de água subterrânea na Europa começou nas décadas de 1970 e 1980, no entanto, a França opera sua rede de monitoramento desde 1902. Já o monitoramento quantitativo é mais antigo desde 1945.

Nos Estados Unidos o gerenciamento dos recursos hídricos é feito por bacias Hidrográficas (DEP, 2004 apud Dias, 2008), sendo que, alguns aquíferos são priorizados em decorrência: da sua produção (O'HERM e SCHOCK, 1984 apud Dias, 2008), vulnerabilidade

(DNR, 2004 apud Dias, 2008), quantidade de poços de abastecimento existentes, uso e ocupação do solo (BELITZ, *et al.*, 2004 apud DIAS, 2008). Os Estados Unidos possuem uma rede ativa de monitoramento de águas subterrâneas com 20.000 poços operados pela USGS (United States Geological Survey), a qual é responsável pela coleta, armazenamento, tratamento e disponibilização dos dados, sendo os dados de níveis de água monitorados a mais de um século. Desses 20.000 poços 1095 (dentre piezômetros e poços tubulares) possuem sistema automatizado de monitoramento, os quais estão distribuídos conforme a descrição da tabela 7 (MOURÃO, 2009).

Tabela 7: Relação dos pontos monitorados pelo USGS com relação aos tipos de aquíferos.
Fonte: Mourão, 2009.

Aquífero	Numero de Pontos de Monitoramento	Proporção em relação ao total monitorado (%)
Aquíferos Inconsolidados (Arenosos e Conglomeráticos)	540	49
Aquíferos Areníticos	71	7
Aquíferos Carbonáticos	356	33
Aquíferos Areníticos e Carbonáticos	122	11
Aquíferos Fissurados	6	1
TOTAL	1095	100

O registro dos dados das estações automatizadas é feito a cada 5-60 minutos e transmitidos a cada 1-4 horas. Esses dados são transmitidos para os escritórios do USGS que quando reúnem os dados de um poço referente a um intervalo diário, disponibiliza no site do Serviço Geológico o sumário diário dos registros. Os poços que não possuem sistema de monitoramento automático possuem uma frequência de observação de pelo menos uma vez por ano (MOURÃO, 2009).

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), as informações disponíveis sobre as águas subterrâneas são ainda escassas e muito dispersas. Dias *et al.* (2008), classifica o monitoramento das águas subterrâneas no Brasil como incipiente. Este autor destaca a necessidade de aperfeiçoamento das redes de monitoramento de águas subterrâneas existentes, a partir de um trabalho contínuo e participativo, com a finalidade de atender as novas demandas.

Em escala regional, no Brasil, Mourão (2009), cita a rede de monitoramento de São Paulo e Minas Gerais, descritas abaixo.

No estado de São Paulo é realizado o monitoramento qualitativo, sob-responsabilidade da CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e teve início em 1990. A rede de monitoramento é composta por 184 poços de monitoramento, distribuídos em diferentes aquíferos, conforme a tabela 8. Os critérios de alocação dos poços de monitoramento são: vulnerabilidade dos aquíferos e a intensidade do uso da água subterrânea para abastecimento público.

Tabela 8: Distribuição dos pontos de monitoramento com relação aos sistemas aquíferos.
Fonte: Mourão, 2009.

Sistema Aquífero	Bauru	Serra Geral	Guarani	Tubarão	Cristalino	Taubaté	São Paulo
Pontos de Monitoramento	65	12	42	15	38	7	5

Em São Paulo o monitoramento é feito com a finalidade de avaliar as características hidroquímicas dos aquíferos e detectar impactos provenientes das atividades antrópicas. Uma rede de monitoramento integrada (qualitativa e quantitativa) está prevista no estado de São Paulo, no Projeto denominado Aquíferos da Secretaria do Meio Ambiente – SMA. A princípio, a rede contaria com 25 poços de monitoramento para medição diária de nível de água e semestral de coleta de amostras para análises químicas.

Em Minas Gerais a responsável pelo monitoramento das águas subterrâneas é a Companhia de Saneamento do estado de Minas Gerais – COPASA. Esta companhia opera em torno de 1000 poços e os monitora a cerca de 20 anos. A rede de monitoramento possui 600 poços, nos quais são monitorados vazão, níveis dinâmicos e tempo de operação. Em relação ao monitoramento qualitativo, em 2005 foi instalada uma rede de monitoramento na porção norte do estado, esta rede está vinculada a um projeto piloto voltado para implantação de uma rede de controle da qualidade de águas superficiais, subterrâneas e sedimentos. O objetivo desta rede é avaliar a qualidade das águas subterrâneas para consumo humano e irrigação frente à aplicação intensiva de agrotóxicos, ocupação urbana e as atividades industriais.

O estado do Rio Grande do Sul é abrangido apenas pela Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) mantido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

O RIMAS é uma rede de monitoramento quantitativa, ou seja, com a finalidade de registrar as variações de níveis de água. Para alocação da rede de monitoramento foi considerada a grande variedade hidrogeológica do país e as diferenças sociais e econômicas que resultam em diferentes demandas, desta forma foram estabelecidos os seguintes critérios para instalação da mesma:

- Aquíferos sedimentares;
- Importância socioeconômica da água;
- Uso da água para abastecimento público;
- Aspectos de vulnerabilidade natural e riscos;
- Representatividade espacial do aquífero;
- Existência de poços para monitoramento.

A rede já possui 361 poços cadastrados em todo país, conforme dados de março de 2016. A Rede está sendo equipada com instrumentos de medição automatizados para o parâmetro de nível de água, sendo a coleta dos dados armazenados realizada trimestralmente. Conforme Goffermann *et al.* (2013), no Rio Grande do Sul, o nível de água coletado de hora em hora e os poços monitorados apresentam, em média, 80 metros de profundidade revestidos com tubos geomecânicos de 4 polegadas.

Mesmo sendo fundamentalmente quantitativa a rede de monitoramento conta com um controle qualitativo, com frequência de coleta semestral para os parâmetros de condutividade elétrica, pH, potencial de oxirredução e os parâmetros mínimos fixados pela resolução CONAMA 396 para o monitoramento. Além disso, na instalação dos poços de observação, a cada 5 anos e em caso de variação significativa na química da água, são feitas análises físico-químicas completas.

Conforme Superintendência Regional de Porto Alegre - SUREG/PA o RIMAS no estado do Rio grande do Sul possui um total de 38 poços, os quais estão alocados no Sistema aquífero guarani e no Sistema aquífero costeiro (Figura 12). Os poços situados no SAG estão mais concentrados na porção oeste do estado.

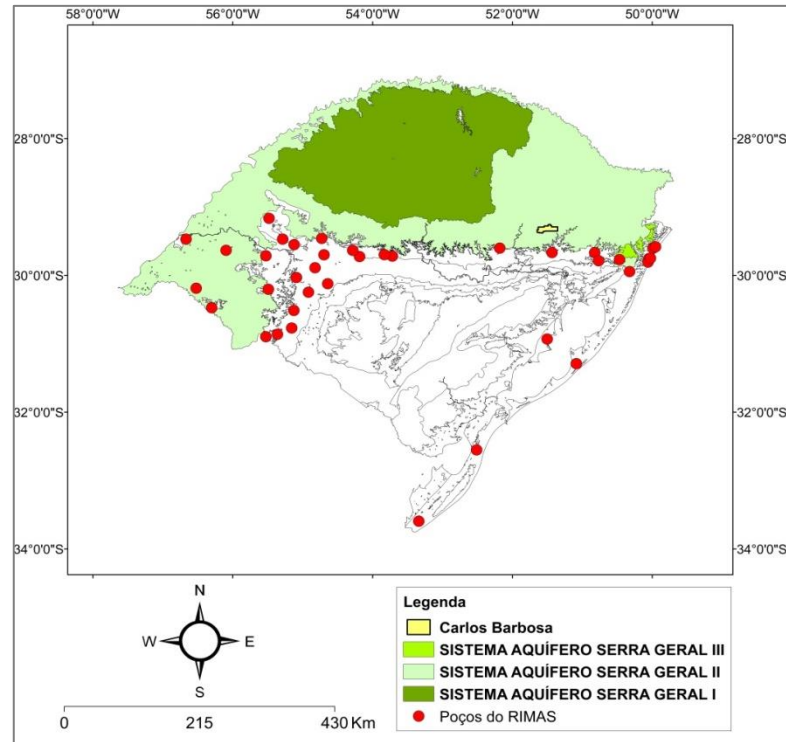


Figura 12: Mapa mostrando a distribuição dos poços de monitoramento do RIMAS no estado do Rio Grande do Sul. Fonte: elaborado pelo autor.

No estado do Rio Grande do sul em 2002 foram cadastrados 2.999 poços (VIERO et, al. 2002), 11.750 em janeiro de 2008, 13.423 em janeiro de 2013 (ANA, 2013) e atualmente (março de 2015) tem cadastrados 16547 poços, (Figura 13).

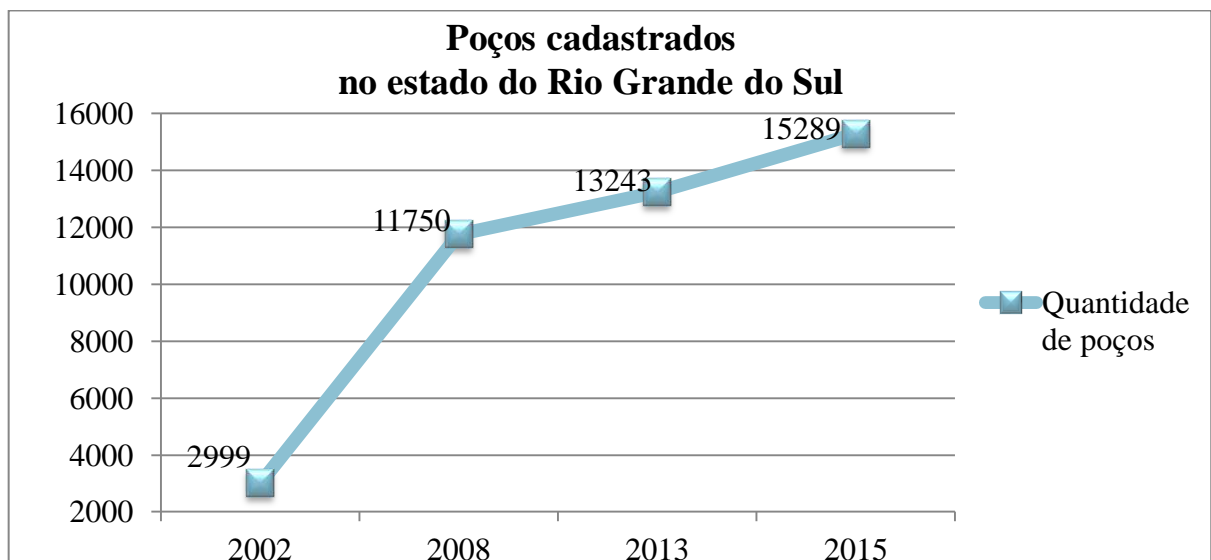


Figura 13: Poços cadastrados no SIAGAS, no estado do Rio Grande do Sul. Fonte: Viero et, al. 2002 e ANA, 2013.

Conforme Mourão (2009), o SASG é o mais explorado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, no entanto, o RIMAS não possui nenhum poço de monitoramento na Formação Serra Geral em ambos os estados.

Com o nítido crescimento de perfuração de poços no estado fica claro que a Rede de monitoramento existente do RIMAS necessita urgentemente ser expandida e que atitudes a nível regional sejam tomadas para auxiliar e integrar o processo de monitoramento das águas subterrâneas no estado.

5. MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia empregada neste trabalho iniciou-se pela implantação do SIGAS, o qual foi utilizado neste trabalho para obter as informações necessárias para a análise da exploração dos poços utilizados pela CORSAN no abastecimento do município de Carlos Barbosa. Logo são detalhados os parâmetros analisados e os instrumentos utilizados na coleta dos mesmos, assim como a estrutura física e o Layout do SIGAS.

Para a compreensão das condições de exploração dos poços no município e avaliação do monitoramento realizado pelo SIGAS, foi necessário o monitoramento e a análise de grandezas físicas de nível de água, vazão, volume e tempo de bombeamento.

Neste capítulo são descritas a implantação e a plataforma do SIGAS, levantamento de dados dos poços da região, caracterização hidrogeológica dos poços cadastrados no município, metodologia utilizada pela CORSAN no monitoramento quantitativo dos poços, análise das condições de exploração dos poços, e por fim a metodologia analítica indicando como foi feito o tratamento e a análise dos dados para a compreensão das condições de exploração.

5.1 IMPLANTAÇÃO DO SIGAS

O SIGAS é um sistema que foi concebido pelo Subprojeto PRODESAS (Projeto de Desenvolvimento de Sistemas para Gestão de Águas Subterrâneas) que faz parte do projeto HIDROFRAT (Hidrogeologia de Aquíferos Fraturados: entendimento da circulação da água e de contaminantes para uma melhor gestão dos recursos hídricos). Logo todos os requisitos que foram definidos para a escolha da área, poços e parâmetros a serem monitorados, foram decididos pela equipe do PRODESAS, anterior ao início deste estudo, o qual foi realizado durante a fase de implantação e ajustes do sistema.

5.1.1 SELEÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO E DOS POÇOS TUBULARES MONITORADOS

O município de Carlos Barbosa foi selecionado, porque neste local o abastecimento de água é realizado exclusivamente por poços tubulares, pertencentes a uma companhia de abastecimento, neste caso a CORSAN, que capta água do Sistema Aquífero Serra Geral.

A seleção dos poços foi feita, tendo como base os seguintes critérios: poços tubulares associados a aquíferos fraturados, poços em operação e pertencentes a uma companhia de abastecimento e poços que continham dados geológicos, construtivos, hidrogeológicos (ensaios de bombeamento) e de qualidade de água (análises químicas).

Dessa forma a equipe do Projeto PRODESAS/HIDROFRAT selecionou 12 poços, de um total de 15, para implantação do sistema de monitoramento, conforme a tabela 9. Os oito poços indicados em negrito nesta tabela são os que foram estudados neste trabalho, porque eram os únicos, durante a realização do trabalho, que apresentaram um intervalo de tempo de monitoramento que permitiu avaliar as variações das condições de exploração dos poços.

Tabela 9: Poços da CORSAN selecionados para implantação do sistema de monitoramento.
Poços (código de projeto)

CBA	CBA	CBA	CBA	CBA	CBA	CBA	CBA	CBA	CBA	CBA	CBA
03	05	06	09	10	11	12	16	18	20	26	34

5.1.2 CARACTERIZAÇÃO DO SIGAS

O sistema de monitoramento é composto pelo Sistema Integrado de Gestão de Águas Subterrâneas (SIGAS) e do cavalete de monitoramento (Figura 14). O sistema é responsável pela coleta, envio e armazenamento de dados e o cavalete é a estrutura física onde está implantado o sistema de monitoramento.

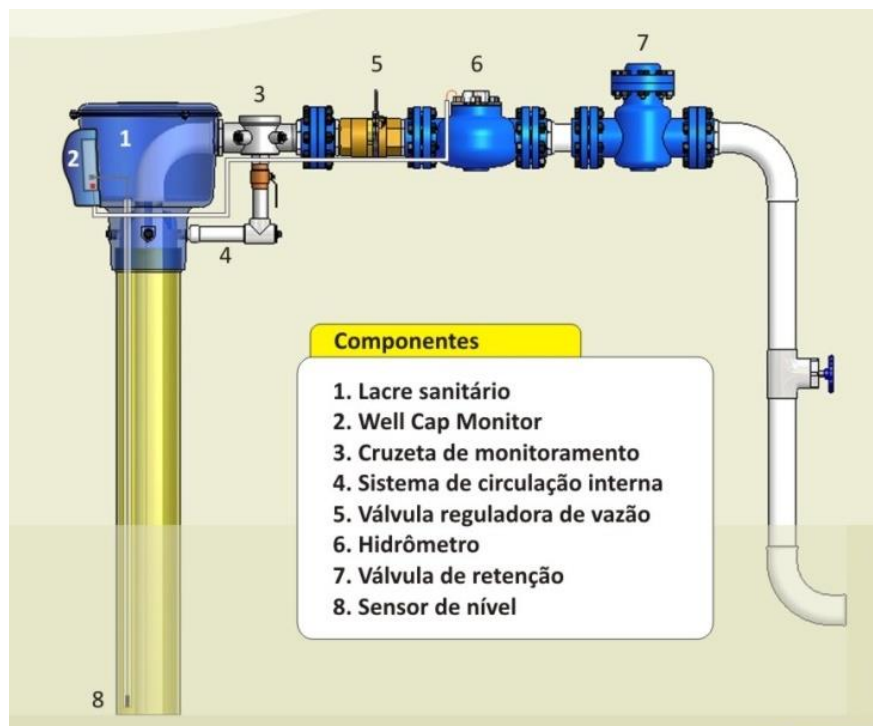


Figura 14: Cavalete de monitoramento. Fonte: JUPER (2013).

O cavalete de monitoramento e o SIGAS foram desenvolvidos pela empresa JUPER (contratada do PRODESAS/HIDROFRAT). Cada cavalete foi dimensionado de acordo com os

dados que constavam nos perfis geológico-constructivos e dos dados de exploração fornecidos pela CORSAN.

5.1.3 PARÂMETROS ANALISADOS E INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADA

Neste sistema são monitorados três parâmetros: nível de água, volume explotado e corrente da bomba, os quais são monitorados por um conjunto de equipamentos, que é composto de um processador que coleta os sinais dos sensores os quais são descritos a seguir:

- Sensor analógico de pressão com sinais de 4 a 20 mA, responsável pela coleta dos sinais de níveis;
- Sensor de pulso (um pulso equivale a 100 litros) instalado no hidrômetro do cavalete, responsável pela coleta de dados do volume explotado;
- Transformador de corrente com saída 4-20 mA.

O transformador de corrente possui um intervalo de 0 – 50 A, o mesmo é acoplado ao cabo de uma das fases que alimenta a bomba. Assim quando a bomba é ligada é identificada a existência de corrente sendo a mesma medida, armazenada e enviada para o SIGAS.

O sensor utilizado para medir o nível (Figura 15), realiza a medição calculando as variações da coluna de água existente acima de seu ponto de instalação, conhecendo a profundidade de instalação e a profundidade do poço, o logger determina o nível e armazena esse dado.



Figura 15: Sensor de nível.

O fundo de escala varia entre os poços devido a maiores ou menores variações das colunas de água a serem monitoradas, desta forma na tabela 10 é apresentada a faixa de pressão dos sensores instalados nos poços analisados e a profundidade de instalação dos mesmos. A faixa de pressão dos sensores e as profundidades de instalação dos mesmos foram decididas pela empresa responsável pela instalação do SIGAS nos poços e foi baseada em monitoramento dos níveis de água em poços com bombeamento contínuo realizados em campo e não em relação aos níveis estáticos e dinâmicos do projeto de bombeamento original.

Tabela 10: Faixa de pressão e profundidade de instalação dos sensores de nível dos poços analisados.

Poço	Faixa de pressão (m)	Prof. Instalação (m)
CBA03A	0 - 30	69
CBA05A	0 - 25	32
CBA09	0 - 30	30
CBA11	0 - 25	29,3
CBA12	0 - 30	34,7
CBA18	0 - 40	57
CBA 26	0 - 40	80
CBA34	0 - 40	80

Através do processador, denominado CNV 100 que possui memória para 32.000 registros, os sinais, enviados pelos sensores, são convertidos em dados, armazenados e transmitidos através de uma porta serial 485 para ambiente Windows, RS 232 para captura dos dados. Os dados de nível, volume e corrente são capturados e armazenados no data logger. Estes dados são enviados para o SIGAS através do sistema de telefonia celular. Isto é feito por um módulo GPRS que periodicamente abre uma conexão TCP/IP e envia os dados armazenados no data logger para o SIGAS. Caso a conexão, que seria o mesmo que uma chamada telefônica não for efetivada, os dados permanecem armazenados, sendo enviados novamente com o próximo grupo de dados coletados.

Na figura 16 são apresentadas fotos do processo de instalação do sistema de monitoramento no poço CBA 9, que foi o primeiro poço a ter a sistema instalado.

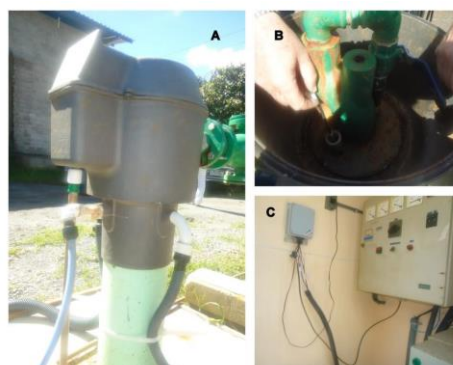


Figura 16: Capsula sanitária (A), Instalação do sensor de nível no poço (B) e Data logger (C).

Os dados de volume e corrente são enviados a cada 15 minutos e os de níveis de água a cada 1 minuto. A partir dos parâmetros de corrente e volume, o SIGAS é capaz de gerar outros dados como:

- Tempo de bombeamento: através da detecção de corrente da bomba;
- Vazão: como o volume é enviado a cada 15 minutos, a vazão é obtida dividindo o volume por 0,25 (valor referente a um quarto de hora).

Futuramente dados de precipitação também serão monitorados, com o intuito de verificar a relação da mesma com a recarga do aquífero. Desta forma, já estão instalados dois pluviógrafos, um próximo ao poço CBA 5A e outra no poço CBA 12, no entanto, os dados dos mesmos não estão sendo coletados ainda.

5.1.4 AFERIÇÃO DOS DADOS EM CAMPO

A aferição foi realizada apenas para os dados de níveis, sendo utilizado um sensor de nível manual para a realização da mesma. Optou-se por aferir somente o parâmetro nível de água, pois o mesmo pode apresentar erros que podem estar associados a outros fatores, como os gerados pela instalação do sensor.

Buscou-se analisar o período de repouso e bombeamento do poço, no entanto isso não foi possível em todos os poços, devido às variações de operação e os horários de bombeamento e descanso, que comumente podem ocorrer de madrugada. Neste trabalho só foi apresentado à aferição feita nos poços CBA 3A, 9, 11, 12, 26 e 34 porque somente nesses poços foi analisado a variação deste parâmetro. No entanto, a aferição foi feita em todos os poços durante três campanhas de levantamento, realizadas nos dias 04/12/15, 19/02/16 e 22/02/16, para avaliar o monitoramento, ajustar a profundidade de instalação e verificar a necessidade de troca dos sensores que estão apresentando falhas.

5.1.5 PLATAFORMA DO SIGAS

O SIGAS foi desenvolvido com o objetivo de permitir a coleta, armazenamento e a consulta de dados pela CORSAN, auxiliando a mesma na gestão dos recursos hídricos subterrâneos no município.

O sistema possui diferentes módulos como: armazenamento e tabulação de dados, controle on-line do poço, acesso imediato a tabelas e gráficos, armazenamento e controle dos dados cadastrais (Figura 17).



Figura 17: Layout da Janela Inicial do Programa SIGAS.

O acesso ao sistema é via site dedicado com controle de acesso, ou seja, atualmente não está disponível para o público em geral. Com o controle on-line é possível acessar os dados operacionais do poço em tempo real, sendo que no painel de avisos são fornecidos dados básicos do poço, assim como a data e horário do último dado que foi medido e enviado para o SIGAS do poço selecionado (neste exemplo o poço é o CBA09).

Os módulos indicados pelo retângulo laranja na figura 17, são referentes aos dados cadastrais, relatório de outorga e orientação técnica, esses módulos possuem os dados gerais, hidrogeológicos, construtivos e operacionais do poço.

No entanto, neste trabalho foram utilizados os dados brutos enviados para o SIGAS, ou seja, de 15 em 15 minutos para os dados de volume e corrente e de 1 em 1 minuto para os dados de níveis de água, os quais podem ser acessados no módulo pesquisa, indicada pela seta preta na figura 17.

5.2 METODOLOGIA UTILIZADA PELA CORSAN NO MONITORAMENTO QUANTITATIVO

Os parâmetros monitorados pela companhia são: volume explotado, tempo de bombeamento e níveis de água. Essas informações são coletadas manualmente por um técnico da CORSAN, por meio de visitas aos poços. Os níveis de água são medidos pela CORSAN nos poços de forma aleatória, sem frequência ou periodicidade definida, sendo que essas medições são realizadas por meio da utilização de medidores de nível de água manuais.

O volume explotado é medido por meio de hidrômetro, sendo que nos poços em que há monitoramento, ambos os sistemas (CORSAN e SIGAS) utilizam o mesmo equipamento

(Figura 18.A). Na ausência do hidrômetro o volume é calculado através da vazão, a qual é estimada pelo método volumétrico (utilizando tonel). A definição do tempo de operação da bomba é realizada por dois sistemas: Timer (Figura 18.B) e a Rádio, já o Horimetro é utilizado para registrar o tempo total de funcionamento da bomba.



Figura 18: (A) Hidrômetro (B) Timer.

Os poços que possuem Timer trabalham apenas dentro do tempo de bombeamento projetado, logo quando esse tempo é atingido o Timer encerra o bombeamento do poço e inicia novamente após o tempo de descanso previsto. Porém com o aumento da demanda o Timer é desligado para o poço voltar a bombear, conforme informações fornecidas pelo técnico da CORSAN responsável pelo monitoramento.

Os poços que possuem somente o sistema a rádio trabalham em função dos reservatórios, os quais eles abastecem (Tabela 11), sendo que os poços analisados neste trabalho estão envolvidos no abastecimento dos reservatórios R1, R2 e R4, conforme indicado em negrito na tabela. No reservatório 4 o nível é controlado através de uma boia e nos demais reservatórios através de sensores de nível. Os controladores de níveis mencionados emitem um sinal via rádio para o poço, sendo que o mesmo possui em seu quadro de comando cinco níveis de água 1, 2, 3, 4 e 5 (sendo 1 o nível mais baixo e o cinco quando o reservatório está cheio) logo o poço é sempre acionado quando o reservatório chega ao nível 3 e desligado quando mesmo se encontra no nível 5. Sendo assim os poços que só possuem o sistema a rádio tem seu tempo de bombeamento regulado pela demanda do reservatório.

Tabela 11: Relação dos reservatórios e os poços que o abastecem.

Reservatórios	Volume (m³)	Poços
R1	500	2, 3 , 4, 5, 6, 18 , 20, 26 e 34
R2	200	9 , 10, 11 , e 12
R3	200	16, 17 e 19
R4	30	Abastecido pelo R2

Como todos os poços analisados possuem os dois sistemas de acionamento da bomba, o Timer consiste no sistema de acionamento principal, ou seja, a bomba só pode ser operada dentro do intervalo de tempo previsto no Timer. Neste espaço de tempo o sistema a Rádio pode operar a bomba conforme a necessidade do reservatório, quando este tempo é concluído a bomba cessa a sua operação, independente das demandas do reservatório.

A análise dos dados diários obtidos no Hidrômetro e Horímetro é feita por meio das diferenças obtidas entre as leituras diárias desses equipamentos, obtendo assim a produção diária e o tempo de bombeamento total.

5.3 LEVANTAMENTOS DE DADOS DE POÇOS TUBULARES EXISTENTES NA REGIÃO

Mesmo sendo discutidos apenas 8 poços, o levantamento de dados dos demais poços tubulares existentes em Carlos Barbosa foi necessário para fazer uma caracterização geral dos poços na região.

Desta forma, foram coletadas no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e na Companhia de Saneamento do estado do Rio Grande do Sul (CORSAN) as seguintes informações dos poços: Coordenadas (geográficas e UTM), situação, usos preponderantes dos recursos subterrâneos, proprietários, características construtivas, perfil geológico e dados hidrogeológicos (parâmetros hidrodinâmicos e dados de produção).

A partir do banco de dados construído por Bortolin (2014), em trabalho também desenvolvido com poços tubulares do município de Carlos Barbosa, foi feita a comparação dos dados, visando à atualização das informações identificadas pelo autor e obtidos com o desenvolvimento dessa etapa.

5.4 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

Essa caracterização foi realizada com base em dados existentes, gerados e publicados por Bortolin (2014) para a região de Carlos Barbosa, visto que o trabalho desenvolvido por esse autor abrangeu os mesmos poços. Desse trabalho foram utilizados os mapas de geologia e hidrogeologia, bem como os dados geológicos e hidrogeológicos dos poços tubulares identificados pelo autor. Além disso, para a caracterização foram utilizados os dados obtidos na etapa de levantamento de dados de poços tubulares existentes.

A avaliação do uso dos recursos hídricos subterrâneos foi realizada visando à identificação do número de poços tubulares existentes, a distribuição espacial desses poços no município, nas bacias e sub-bacias hidrográficas, a identificação dos diferentes usos e as

principais características dos poços tais como: profundidade, vazão, nível estático e dinâmico, quantidade e profundidade das entradas de água e capacidade específica.

A geração do mapa de bacias e sub-bacias hidrográficas foi realizada com base no uso do software ArcGIS, sendo estas delimitadas a partir do modelo digital de elevação da área obtido no site da EMBRAPA. A geração desse mapa teve por objetivo avaliar a ocorrência de poços tubulares (da CORSAN e de outros proprietários) na área de cada sub-bacia, que contém os poços analisados neste trabalho.

A identificação das características geológicas e hidrogeológicas de cada poço analisado foram realizadas com base na interpretação de dados obtidos nas etapas anteriores. Essa caracterização envolveu a identificação das principais características geológico-constitutivas, parâmetros hidrogeológicos e análise dos ensaios de bombeamento. A identificação das características do bombeamento foi feita com base na interpretação dos dados fornecidos pela CORSAN referentes ao projeto de bombeamento de cada poço.

5.5 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE EXPLOTAÇÃO

Esta etapa do trabalho foi realizada através da comparação entre os parâmetros obtidos com o SIGAS (nível de água, vazão, tempo de bombeamento) e com os dados de projetos elaborados para os poços nos testes de bombeamento. Esta análise foi feita para um intervalo diário de tempo, sendo que os parâmetros analisados foram:

- Tempo total com bombeamento e sem bombeamento;
- Vazão;
- Volume de água total explorado;
- Níveis de água (NE e ND).

Em relação ao parâmetro de nível de água, nos poços CBA 5A, 11, 18, 26 e 34, os dados de nível coletados apresentaram problemas decorrentes da profundidade de instalação dos sensores e de seu range de monitoramento. Assim, os dados de nível de água mais baixos apresentaram foram incoerentes, pois estavam fora da faixa de medição do sensor, logo os sensores instalados nesses poços não possuíam a faixa de pressão necessária para o monitoramento dos níveis mínimos.

Desta forma só serão analisados neste trabalho os dados de níveis máximos e mínimos nos poços CBA 3A, 9 e 12, nos quais as faixas de pressão e profundidade de instalação dos sensores foram coerentes com a variação da coluna de água no poço, já nos demais poços, serão analisados os níveis máximos, estavam dentro da faixa de medição dos sensores e se demonstraram coerentes ao dados coletados em campo.

Os níveis de água máximos e mínimos diários foram coletados e comparados, graficamente, com os níveis estáticos e dinâmicos de projeto do poço.

Em relação ao regime de operação do poço, pelo mesmo não ocorrer de forma ininterrupta, foram identificados os intervalos de bombeamento e sem bombeamento diários, sendo o período de bombeamento total diário, comparado com o tempo de bombeamento projetado, através de gráficos. Os intervalos de bombeamento e sem bombeamento, também foram analisados graficamente, de forma separada com o intuito de entender melhor as condições de exploração dos poços assim como o comportamento hidrogeológico do poço frente ao regime de operação imposto ao mesmo.

O SIGAS calcula o volume para cada intervalo de tempo de 15 minutos, desta forma, foi realizado a soma do volume registrado em cada intervalo para obter o volume total de água extraído diariamente, o qual foi comparado graficamente com o volume de água projetado para o poço.

Foram feitas as análises estatísticas do parâmetro de vazão, as quais foram detalhadas no capítulo 5.7.2, logo a vazão diária coletada pelo SIGAS foi comparada com a vazão de projeto.

O período de tempo de monitoramento dos dados de vazão, volume e tempo de bombeamento utilizados do SIGAS nesta etapa do estudo estão apresentados na tabela 12. Nota-se que nos meses de abril a julho de 2015 não há dados para nenhum dos poços analisados neste trabalho e na maioria dos meses em que há dados, os mesmos não constituem um período contínuo, possuindo falhas. Isso ocorreu porque o trabalho foi desenvolvido na fase de implantação e posterior ajuste do sistema, logo por vezes o mesmo apresentava falhas na coleta e/ou no envio dos dados, sendo então interrompido o monitoramento para ajustes. Por vezes, os períodos de monitoramento do tempo de bombeamento diferem dos de volume e vazão, isso ocorreu porque o funcionamento dos sensores de corrente e nível de água trabalham de forma independente e os parâmetros de volume e vazão são dependentes do bom funcionamento do hidrômetro. Logo se o hidrômetro for removido para ajustes, isso não prejudica o monitoramento dos demais parâmetros, sendo que o mesmo vale para a remoção para ajustes do sensor de nível e o transformador de corrente.

Tabela 12: Período de dias monitorados para análise dos parâmetros de vazão, volume e tempo de bombeamento.

		POÇOS							
Mês		3A	5 A	9	11	12	18	26	34
jan/15	TB	15 a 31	1 a 26	1 a 31	.....	.....	.....	.....	.....
	Q/Vol			.....	.....		
fev/15	TB	1 e 3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
	Q/Vol	19 a 28	.....	.....	.....	
mar/15	TB	1 a 15	.....	1 a 27	.....	.....	.....	.....	.....
	Q/Vol	17 a 19	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
ago/15	TB	1 a 10	5 a 30	1 a 6 29 a 31	1 a 30	.....	.....	5 a 30	5 a 31
	Q/Vol			.....	.....	.....	.....	5 a 29	5 a 31
set/15	TB	5 a 13	.....	1 a 26 29 e 30	1 a 16	.....	5 a 26 28 a 30	1 a 15	.....
	Q/Vol		.....	.....	.....	.....			.....
out/15	TB	14 a 26 e 31	14 a 31	1 a 13 31	.....	.....	1 a 4 20 a 31	20 a 31	.....
	Q/Vol		.....	.....	.....	.....		22 e 24 a 31	.....
nov/15	TB	4 a 30	1 a 30	1 a 17	21 a 30	.....	1 e 2 4 a 10	1 a 9	1 a 30
	Q/Vol		.....	.....	.....	.....	12 a 26		
dez/15	TB	.....	1 a 16	5 a 21	1 a 31	.....	5 a 28	24 a 31	1 a 21
	Q/Vol	.....	23 a 28	27 a 31	1 a 5 7 a 31	.....		
jan/16	TB	6 a 24 26 a 31	3 a 11 16 a 31	1 3 a 27	1 a 3 6 a 31	1 a 26	4 a 31	1 a 4 16 e 17 21 e 22	6 a 24 27 a 31
	Q/Vol		4 a 7 9 a 11 16 a 31		.....			.....
fev/16	TB	5 a 17 19 a 29	1 a 4 7 a 10	2 a 29	14 a 29	3 a 29	1 a 4 7 a 10	19 a 29	1 a 4 7 a 16
	Q/Vol		12 a 29	2 a 15	19 a 29		12 a 14		
Total (dias)	TB	155	167	202	132	53	128	89	116
	Q/Vol	155	107	62	41	53	128	78	116

Na análise das variações dos dados de níveis de água, foram utilizados os dados coletados no período de tempo apresentado na tabela 13. Como é possível notar, os mesmos só foram monitorados a partir do mês de agosto.

Tabela 13: Período de dias monitorado para análise do parâmetro de nível de água.

Mês	CBA 3A	CBA 9	CBA 11	CBA 12	CBA 26	CBA 34
ago/15	1 7 a 10	1 a 6 29 e 30	1 a 30	.....	22 a 30	.....
set/15	5 a 13	1 a 26 29 e 30	1 a 16	.....	1 a 15	.....
out/15	14 16 a 21 23 a 25 31	1 a 12	.....	.....	.....	.....
nov/15	4 a 24 26 e 27 e 30	.....	21 a 30	.....	.....	.....
dez/15	.....	5 a 21 27 a 31	1 a 31	.....	.....	1 a 21
jan/16	13 a 24 26 a 31	1 3 a 27	1 a 3 6 a 11 13 a 31	1 a 26	.....	6 a 24 27 a 31
fev/16	5 e 6/ 8/ 10 a 15/17	2 a 29	1 a 29	3 a 29	.....	1 a 4 7 a 16
Total (dias)	71	124	143	53	24	59

Os poços da CORSAN CBA 4A e CBA 10, tiveram seu funcionamento interrompido, o primeiro em setembro de 2014 e o segundo nos meses de novembro e dezembro de 2015. No caso do poço CBA 10 o mesmo retornou a funcionar em janeiro de 2016, já o poço CBA 4A por ter apresentado problemas estruturais foi desativado, tendo sido perfurado um novo poço ao lado deste, o qual ainda não entrou em funcionamento. Levando em consideração a boa capacidade de produção de ambos os poços, o CBA 4A com vazão de 35 m³/h o poço CBA 10 com vazão de 32,15 m³/h, foi analisada a influência da ausência dos mesmos nas operações dos poços. Para isso foram utilizados dados da CORSAN de volume médio mensal de água no período antes e durante a ausência desses poços (Tabela 14), para verificar se realmente houve mudança nos volumes de água comumente explorados.

Tabela 14: Período de dados de volume mensal monitorados pela CORSAN

Poços	Período monitorado (meses)
CBA 3A	Jul de 2009 a dez 2013/ Out de 2014 a fev de 2016
CBA 5A	Jul de 2009 a dez 2013/ Out de 2014 a fev de 2016
CBA 9	Jan de 2006 a dez 2013/ Out de 2014 a fev de 2016
CBA 11	Jan de 2006 a dez 2013/ Out de 2014 a fev de 2016
CBA 12	Jan de 2006 a dez 2013/ Out de 2014 a fev de 2016
CBA 18	Jan de 2006 a dez 2013/ Out de 2014 a fev de 2016
CBA 26	Mar de 2013 a dez 2013/ fev de 2014 a fev de 2016
CBA 34	Jan de 2010 a dez 2013/ Out de 2014 a fev de 2016

Os dados de volume monitorados pela CORSAN nos poços CBA 2, 6, 10 e 20, os quais não foram estudados neste trabalho, foram analisados no período de janeiro de 2015 a fevereiro de 2016, o qual abrange todo o período dos poços analisados. Esses dados foram utilizados para compreender melhor as condições de exploração dos poços analisados no trabalho e utilizados no abastecimento dos reservatórios R1 e R2.

Estas avaliações permitirão avaliar as condições de exploração dos poços e avaliar se os mesmos estão sendo operados de acordo com os valores projetados e os reflexos desta operação nos poços em que há dados de nível de água.

5.6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO

Foi feita uma comparação entre os dados coletados pelos dois sistemas, para avaliar a confiabilidade do SIGAS no monitoramento quantitativo dos poços, bem como demonstrar os benefícios dos mesmos frente ao atual sistema de monitoramento utilizado pela CORSAN.

A CORSAN enviou todos os dados referentes ao seu monitoramento para os anos de 2014, 2015 e 2016. No entanto, os dados utilizados neste trabalho, foram apenas os que coincidiram com o período analisado pelo SIGAS os quais foram descritos na tabela 12, apresentada anteriormente.

Os parâmetros que foram confrontados graficamente foram os de vazão, volume e tempo de bombeamento. Análises estatísticas foram realizadas com o intuito de melhor visualizar as variação entre os valores observados, as quais serão detalhadas no item a seguir.

5.7 METODOLOGIA ANALÍTICA

5.7.1 CONSISTÊNCIA DOS DADOS

Por vezes, o programa responsável pela inserção dos dados no banco de dados, inclui os mesmos em duplicatas, repetindo o mesmo dado diversas vezes. Logo foi utilizado duas

ferramentas no *software Excel* para remover os valores repetidos. Primeiramente os dados, em intervalos diários, foram agrupados em colunas, por meio da ferramenta denominada *Agrupar*, Posteriormente os dados agrupados foram selecionados e removidos por meio da ferramenta *Remover Duplicatas*, selecionando as células de data e hora.

Caso algum dado coletado estivesse com um valor muito discrepante dos demais, foi realizada uma análise do comportamento da série de dados ao longo do tempo, não detectando nenhum comportamento semelhante ao mesmo, o dado era removido da análise.

5.7.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após a consistência dos dados, foram aplicadas as análises estatísticas nos mesmos.

As análises estatísticas envolveram:

- Medidas de tendência central: média e mediana;
- Medida de dispersão: desvio padrão.

Na análise das condições de exploração dos poços, as análises citadas acima só foram utilizadas, a nível diário, no estudo do parâmetro de vazão. Logo, o que determinou a utilização da média ou da mediana, foi o desvio padrão, nos poços em que este parâmetro foi inferior a 1m³/h, foi utilizado à média, nos casos em foi superior a este valor foi utilizado à mediana, na tabela 15 está descrito qual das duas foi utilizada em cada poço.

Tabela 15: análise estatística de tendência central do parâmetro de vazão realizada em cada poço

Poços	Média	Mediana
CBA 3A		X
CBA5A		X
CBA 9	X	
CBA 11	X	
CBA 12		X
CBA 18		X
CBA 26	X	
CBA 34	X*	

*neste poço nos meses de janeiro e fevereiro de 2016 foi utilizado à mediana.

Ainda nesta etapa do trabalho, as mesmas análises estatísticas de medidas de dispersão e tendência central foram aplicadas para o conjunto de dados de volume, tempo de bombeamento e vazão, com o intuito de verificar de forma mais concisa a variação destes parâmetros. Somadas a estas análises, foram verificados valores máximos e mínimos monitorados, a fim de conferir a amplitude total de variação dos parâmetros, sendo que na análise dos níveis de água apenas esta avaliação foi feita.

Na avaliação do monitoramento realizado pelo SIGAS, a mesma análise estatística foi aplicada, só que para os valores de diferenças observados entre os dois sistemas.

6 RESULTADOS

6.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DOS POÇOS DE CARLOS BARBOSA

Em Carlos Barbosa, foram identificados 135 poços, cuja distribuição pode ser visualizada na figura 19, onde nota-se uma maior concentração de poços perfurados dentro e nas proximidades do perímetro urbano.

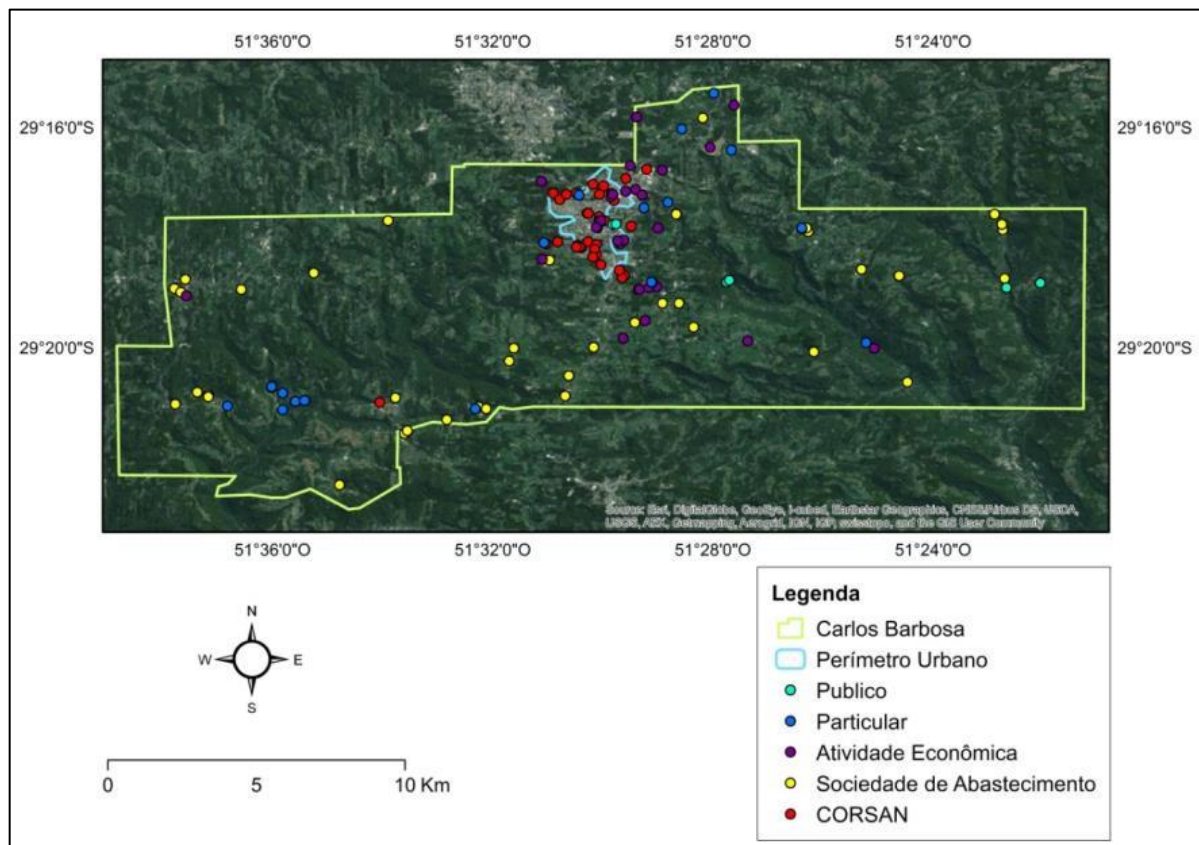


Figura 19: Distribuição espacial dos poços perfurados em Carlos Barbosa.

A partir dos dados obtidos na plataforma do SIAGAS e relatórios técnicos da CORSAN, foi possível caracterizar os poços perfurados no município de Carlos Barbosa. Desta forma, foram analisados os seguintes dados: proprietários, usos, situação, profundidade, profundidade das entradas de água, nível estático, nível dinâmico e vazão. Na tabela 16 é descrita a quantidade de dados disponíveis de cada parâmetro para a realização da caracterização dos poços, sendo que apenas cerca de 33% dos poços possuem dados de todos os parâmetros.

Tabela 16: Relação da quantidade de dados existentes para cada parâmetro dos poços na cidade de Carlos Barbosa.

Parâmetros	n° de poços com dados	% do total
Profundidade	128	94,81
Vazão	84	62,22
Capacidade Específica	71	52,59
Nível Dinâmico	71	52,59
Nível Estático	75	55,56
Profundidade das Entradas de Água	60	44,44

Identificou-se que a maioria dos poços pertence a sociedades de abastecimento de água (33%), que são grupos de moradores que se unem de forma organizada e reúnem os recursos financeiros necessários para a perfuração de um poço, a fim de prover o abastecimento de água na comunidade, a qual não é abrangida pela rede de abastecimento da CORSAN (Figura 20).

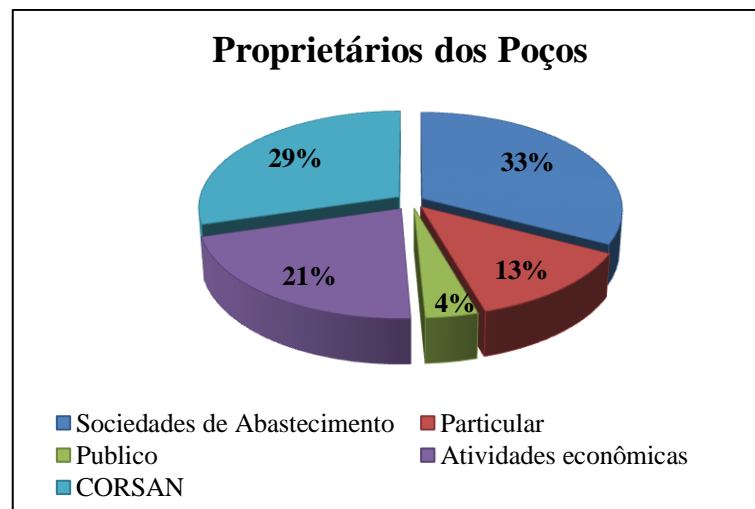


Figura 20: Proprietários dos poços perfurados em Carlos Barbosa.

A CORSAN é a segunda maior proprietária de poços na região (29%), seguida pelas atividades econômicas na região (sendo as principais a empresa Tramontina e a cooperativa Santa Clara), os poços particulares somam 13% e com menor percentual os poços públicos, pertencentes à Prefeitura e ao Hospital Beneficente da cidade.

Em relação à utilização dos poços na região, os dados seguiram os padrões dos seus respectivos proprietários, conforme figura 21.

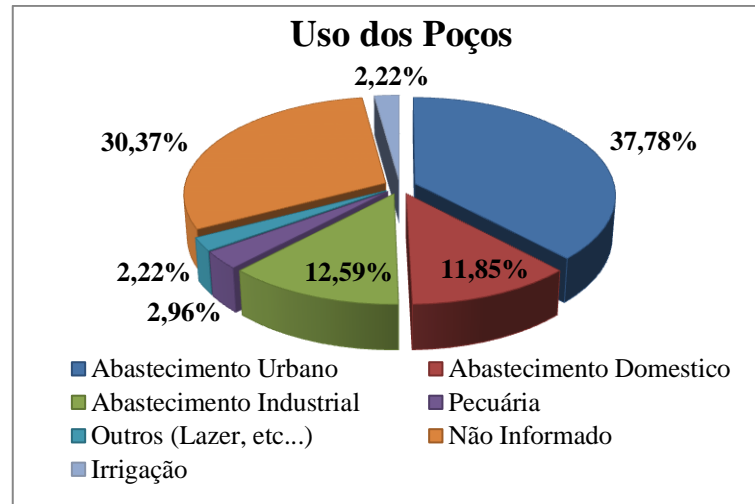


Figura 21: Uso dos poços perfurados em Carlos Barbosa.

O maior percentual de poços é destinado ao abastecimento urbano (37,78%), seguidos pelo abastecimento industrial (12,59%) e abastecimento doméstico (11,85%), em menor proporção os poços são utilizados para pecuária e outros usos (lazer, etc...). Um percentual significativo de poços não possuem informações sobre o uso o que impediu uma conclusão definitiva sobre os usos preponderantes na região.

Como apresentado na figura 22, a maioria dos poços perfurados em Carlos Barbosa está em operação (63%). Este resultado reflete a situação da cidade, que é abastecida apenas por águas subterrâneas. Do percentual restante 13,39 % estão fechados, 7,87% foram perfurados, mas não tiveram o sistema de bombeamento instalado, 4,72% foram desativados (baixa capacidade de produção), 3,94% estão parados, secos ou obstruídos e 7,09% não possuem informação.

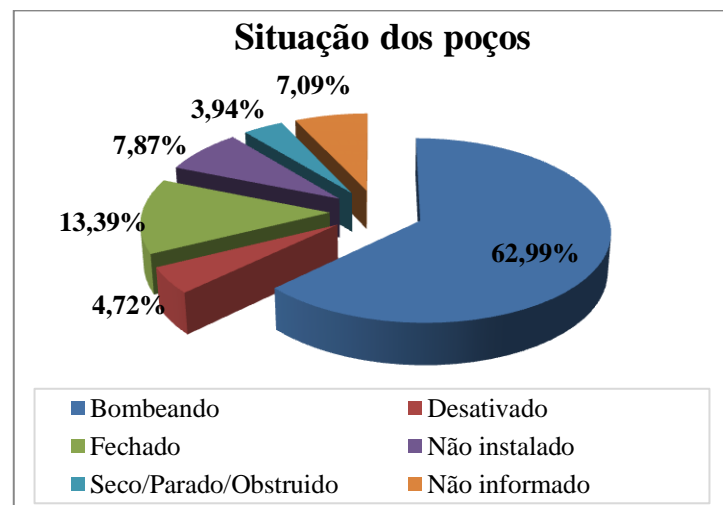


Figura 22: Situação dos poços perfurados em Carlos Barbosa.

A maioria dos poços está localizada na Unidade litológica Palmas/Caxias (Figura 23). A distribuição dos poços operantes e não operantes é relativamente bem distribuída, sendo que próximo dos poços analisados predominam os poços em operação.

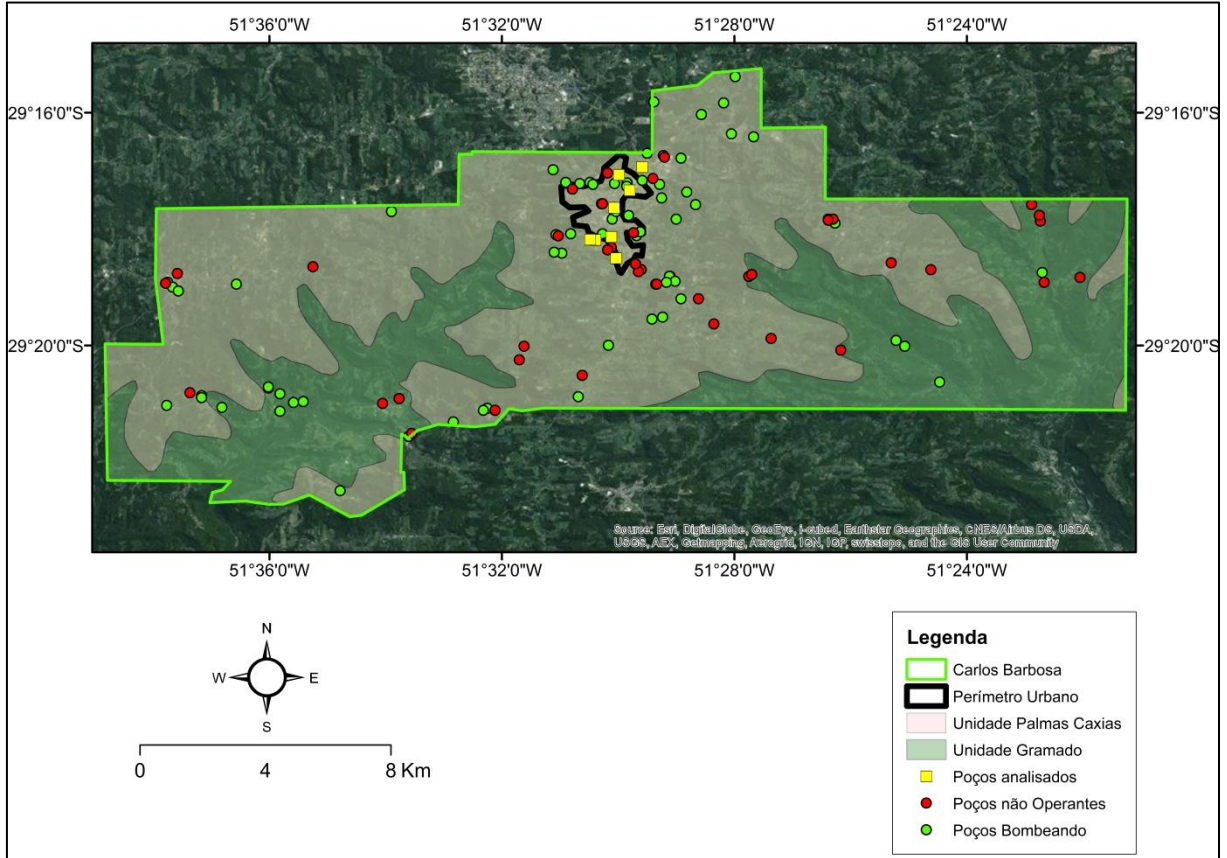


Figura 23: Localização dos poços analisados e situação dos demais poços da região.

Identificou-se que a maioria dos poços possui profundidade dentro do intervalo de 100 a 150 m (37,04%), seguido pelo intervalo de 50 a 100m (34,81%), conforme o gráfico na figura 24.

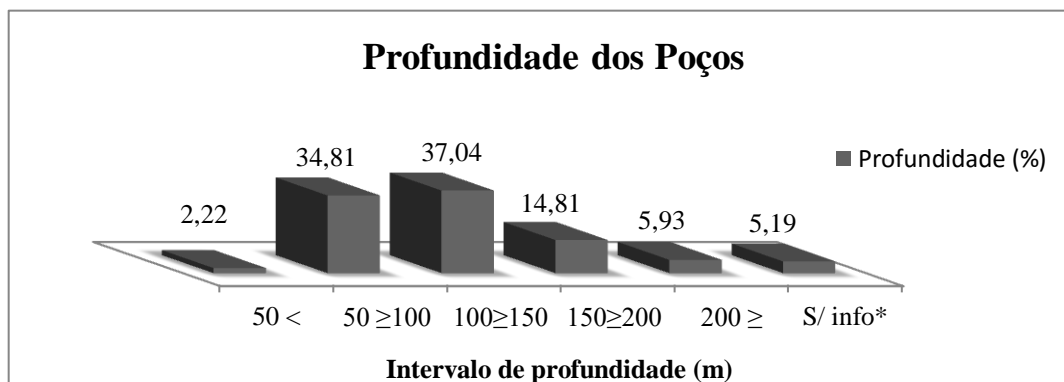


Figura 24: Profundidade dos poços em Carlos Barbosa. * Sem Informação.

Conforme tabela 17, a média da profundidade dos poços perfurados em Carlos Barbosa é de 120,13 m, sendo que o conjunto de poços analisados apresenta um desvio padrão em relação a este valor central de 42,39 m. A profundidade mínima dos poços é de 40 metros e a máxima de 216 m. Segundo a análise dos quartis 25% dos dados de profundidade estão abaixo do valor de 86,9 m, 50% abaixo de 120 m (mediana) e 75% abaixo de 150 m.

Tabela 17: Análise estatística da profundidade dos poços.

Dados estatísticos	
Profundidade média (m)	120,13
Profundidade mínima (m)	40
Profundidade máxima (m)	216
Desvio padrão (m)	42,39
Moda (m)	150
1° Quartil (m)	86,9
2° Quartil (m)	120
3° Quartil (m)	150

A profundidade dos poços é coerente aos valores de profundidades indicados na literatura para poços perfurados no SASG. Sendo que autores como Binotto *et al.* 2012 e Lastória *et al.* 2006 também obtiveram de forma predominante o intervalo de profundidade entre 100 e 150 m. A transmissividade das fraturas verticais e horizontais decai com a profundidade, sendo que na primeira isso ocorre a partir dos 300 m e a segunda a partir dos 30 m (FERNANDES, 2008). Lastória *et al.* 2006 em estudo local do SASG no estado do Mato Grosso do sul, constatou que o aumento da profundidade dos poços não corresponde a um aumento linear da vazão, não existindo, desta forma uma relação entre esses dois parâmetros.

Os poços existentes na região de estudo, possuem de forma predominante 2 entradas de água, seguidos de 1 e 3 entradas consecutivamente, conforme tabela 18. Dos poços que possuem uma quantidade superior a 3, temos 7 poços com 4 entradas, 1 poço com 5 entradas, 1 poço com 6 entradas e 2 poços com 7 entradas .

Tabela 18: Análise estatística da profundidade das entradas de água dos poços.

Dados estatísticos				
Numero de Entradas de água	1 (28,33%)	2 (30%)	3 (23,33%)	>3 (18,33%)
Profundidade mediana (m)	52,35			
Profundidade mínima (m)	3			
Profundidade máxima (m)	167			
Desvio padrão (m)	38,23			

Conforme tabela 18, a profundidade mediana das entradas de água é de 52,35 m, sendo que os dados apresentam um desvio padrão de 38,91 m. A entrada de água mais profunda está a 167 m e a entrada mais superior encontra-se a 3 m de profundidade. Conforme o gráfico na figura 25, as entradas de água estão situadas preferencialmente em níveis inferiores aos 100 m de profundidade (86,96%). Tais valores evidenciam que estruturas com potencial para circulação de água na região estão situadas nesses níveis.

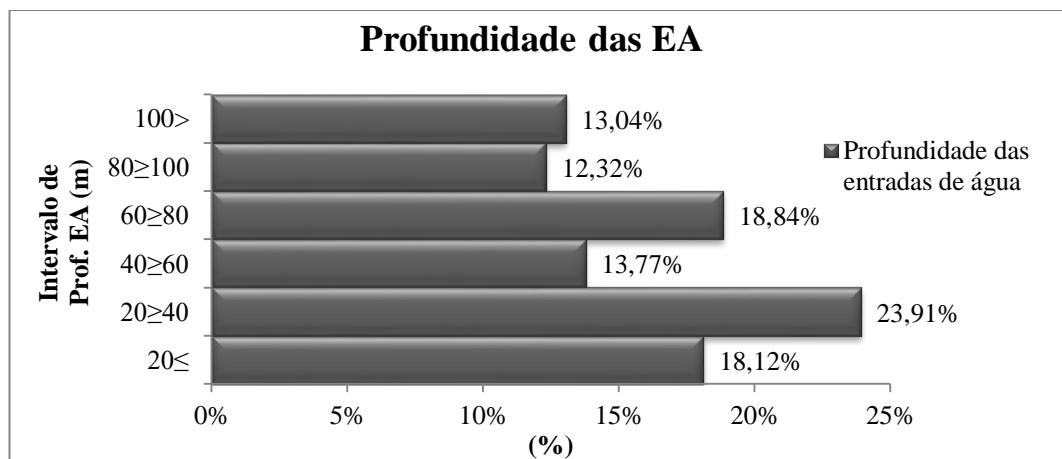


Figura 25: Profundidade das entradas de água dos poços em Carlos Barbosa

Dos poços analisados o nível estático está situado preferencialmente entre o intervalo de 1 a 6 m, seguido pelos intervalos de 10 a 30 m e de 6 a 8 m respectivamente (Figura 26). Não há registro de nenhum poço surgente na região de estudo, no entanto, temos um poço que possui o nível estático igual a 0, ou seja, no nível do terreno. Este poço se encontra no percentual de 8% de poços que possuem nível estático inferior a 1 m de profundidade. A média da profundidade do nível estático dos poços é de 14,97 m, em média os dados apresentam um desvio de 18,11 m deste valor, demonstrando a grande variação que há entre os valores, o nível estático mais profundo encontra-se aos 75 m de profundidade.

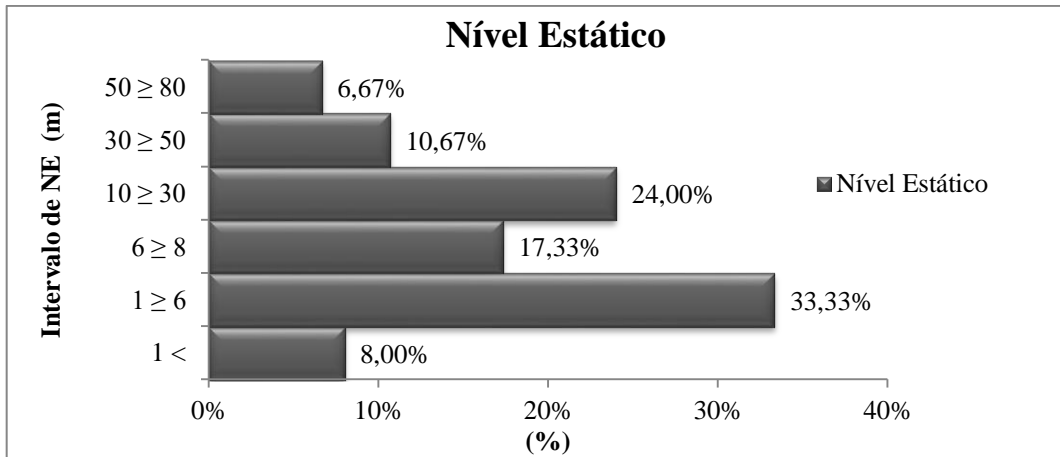


Figura 26: Profundidade do nível estático dos poços em Carlos Barbosa

Os níveis dinâmicos dos poços perfurados na região, apresentado no gráfico na figura 27, situam-se preferencialmente entre o intervalo de profundidade de 20 a 40 m, seguido pelos intervalos de 40 a 60 m e 60 a 80 m respectivamente, os demais intervalos ($100 \geq$; $80 \geq 100$; < 20), apresentaram menores representatividades. A média do nível dinâmico é de 54,39 m, sendo que em média os dados apresentam um desvio de 28,01 m deste valor. O nível dinâmico mais superficial está registrado a 10 m de profundidade e o mais profundo a 120 m.

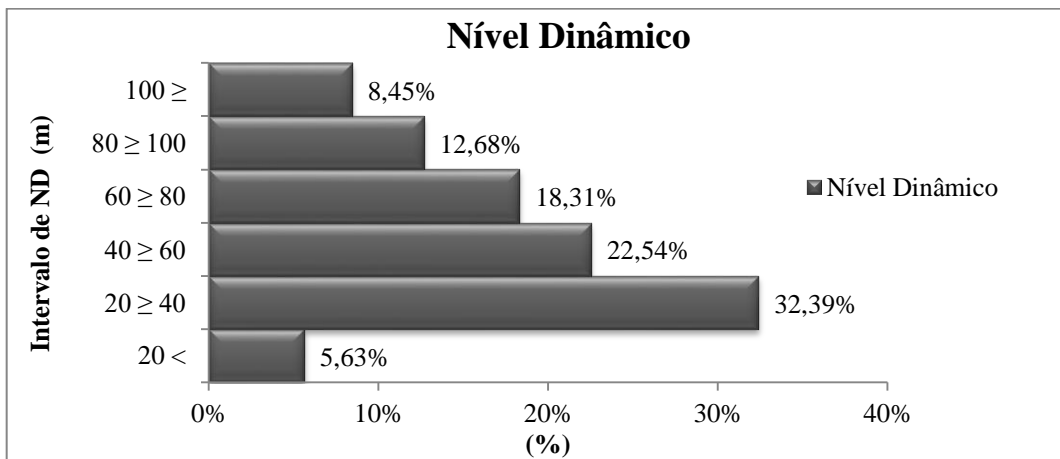


Figura 27: Profundidade do nível dinâmico dos poços de Carlos Barbosa.

A capacidade específica dos poços em Carlos Barbosa são predominantemente inferiores a $0,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, apenas cerca de 20 % dos poços possuem capacidade específica superior ou igual a $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$. A capacidade específica apresenta uma grande variação, conforme o gráfico apresentado na figura 28, este comportamento é característico do aquífero fraturado, sendo resultado da forte anisotropia presente no mesmo. Em média a capacidade específica dos poços analisados é de $0,587 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, sendo que os dados apresentam um desvio

padrão de 0,565 m³/h/m em relação a este valor central. O menor valor de capacidade específica registrado foi de 0,005 m³/h/m e o maior valor observado deste parâmetro foi de 2,12 m³/h/m.

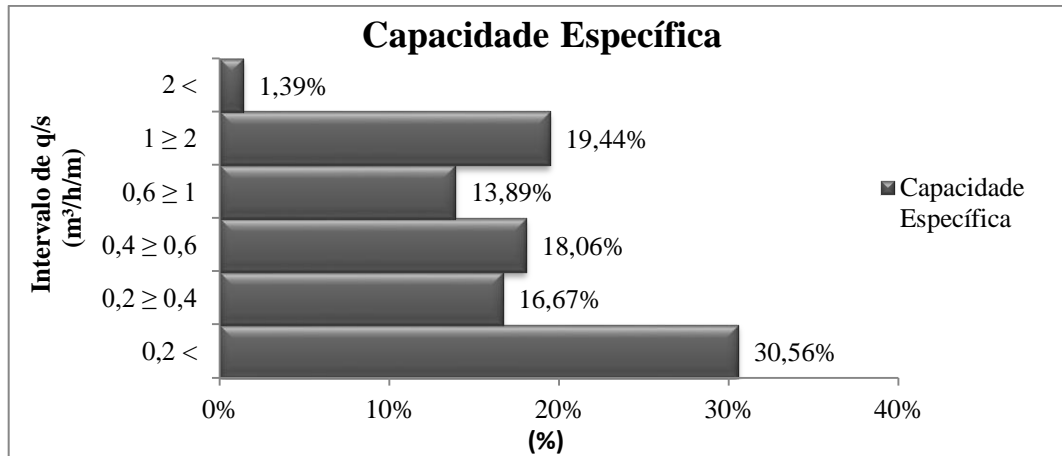


Figura 28: Capacidade específica dos poços em Carlos Barbosa.

Os dados de vazão evidenciaram que os poços possuem em sua maioria vazão inferior ou igual a 5 m³/h (36,14%). Os poços que não estão incluídos neste percentual, apresentam em sua maioria vazão dentro do intervalo de 15 a 25 m³/h, seguidos pelo intervalo de 10 a 15 e 5 a 10 m³/h respectivamente, os demais intervalos de vazão analisados foram menos expressivos (Figura 29).

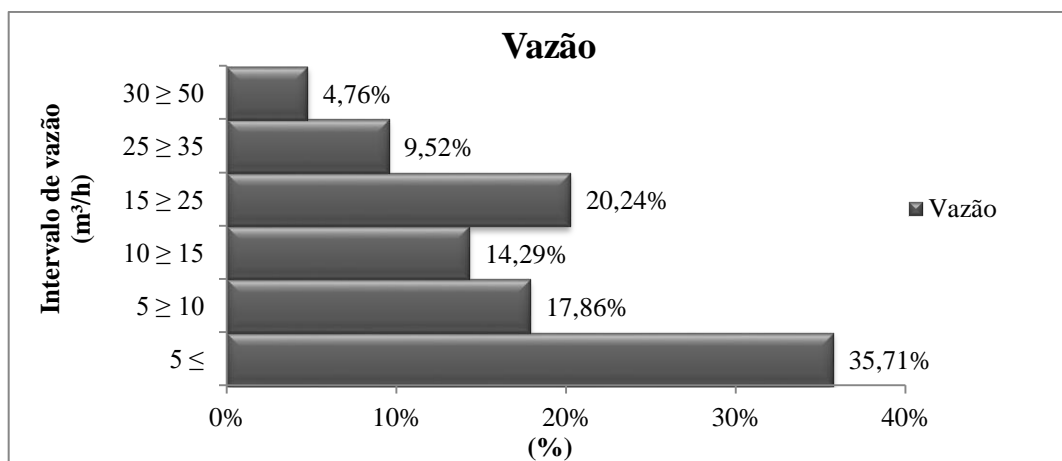


Figura 29: Vazão dos poços em Carlos Barbosa.

Assim como a capacidade específica, a vazão possui valores bem diversificados entre os poços analisados. Com exceção dos dois poços nulos, com vazão igual a zero, o menor valor de vazão observado foi de 0,3 m³/h e o maior valor registrado foi de 50 m³/h. O valor

médio de vazão foi de 12,28 m³/h, sendo que em média os dados apresentam um desvio de 10.54 m³/h deste valor central.

6.2 CARACTERIZAÇÃO DOS POÇOS ANALISADOS EM CARLOS BARBOSA.

Os oito poços analisados possuem características hidrodinâmicas relativamente variadas. Na tabela 19, são apresentados alguns dados hidrodinâmicos desde grupo de poços analisados, proporcionando uma noção das características dos mesmos.

Tabela 19: Dados hidrodinâmicos dos poços analisados

POÇOS	PROF. (m)	PROF. EA (m)	PROF. REV (m)	ND (m)	NE (m)	Q (m ³ /h)	q/s (m ³ /h.m)	TB (h)
3A	163,65	21; 26; 159	32,0	110	22,2	45	0,513	16
5A	216	40	26,3	40	6,25	12	0,356	16
9	71,5	19; 23,5; 53,5	15,3	35	15,17	30	1,515	18
11	98	14 e 22	12,5	35	5,83	30	1,028	16
12	86	5; 21; 61	13,0	24	10,3	20	1,457	12
18	150	56 e 80	1,70	87,85	2,54	13,31	0,156	12
26	150	34 e 70	36,5	70	5,78	10	0,156	10
34	180	48; 60; 71	30,0	70,12	16,20	15	0,278	14

PROF: Profundidade/ EA: Entrada de água/ REV: Revestimento/ ND: Nível dinâmico/ NE: Nível estático/ Q: Vazão/ q/s: Capacidade específica/ TB: Tempo de bombeamento.

Conforme a tabela 19, a maioria dos poços analisados possuem profundidade acima da média dos poços de Carlos Barbosa (120,13m), com exceção apenas dos poços CBA 9,11 e 12, sendo que neste grupo de poços analisados se encontra o poço mais profundo da cidade o CBA 05 A (216 m).

A profundidade da entrada de água mais superficial, que efetivamente contribuem para o abastecimento de água no poço, nesse grupo de poços, está localizada aos 14 m de profundidade, enquanto a mais profunda está aos 159 m. Levando em consideração que nos poços CBA 3A, 5A e 26 as entradas de água mais superficiais estão seladas pelo revestimento. Logo, de forma efetiva, dos 8 poços, 3 possuem 1 entrada (CBA 3A, 5A e 26), 3 possuem 2 entradas (CBA 11, 12 e 18) e 2 possuem 3 entradas (CBA 9 e 34).

O nível dinâmico desses poços é bastante variável, no entanto os poços CBA 9 e 11 possuem o mesmo ND e nos poços CBA 26 e 34 o valor do ND pouco difere. O poço CBA 3A, possui o segundo ND mais profundo registrado na região, o maior é de 120 m. Na metade

dos poços o nível estático é raso entre 2 e 7 m de profundidade, os poços não incluídos neste intervalo (CBA 3A, 9, 12 e 34) possuem NE mais profundo, no entanto acima dos 25 m.

A vazão, da maioria poços analisados se divide em dois grupos, o primeiro composto pelos poços CBA 3A, 9 e 11, que está incluído no percentual de 4,76% dos poços da região de Carlos Barbosa que possuem uma vazão igual ou maior a 30 m³/h. O poço CBA 3 A é o poço com a segunda maior vazão da região, logo neste grupo se encontram alguns dos poços cadastrados mais produtivos do município. O segundo grupo, composto pelos poços CBA 5A, 18, 26 e 34 possui uma vazão baixa, em relação ao primeiro grupo, no entanto está próximo da média da região de 12,28 m³/h. O poço que não se inclui em nenhum desses grupos é o poço CBA 12, que possui uma vazão regular que está situada entre os dois.

A capacidade específica dos poços analisados é em sua maioria baixa, e próxima da média da região de 0,587 m³/h/m, levando em conta o desvio padrão de 0,565 m³/h/m. Os três valores acima de 1 m³/h/m coincidem com os poços CBA 9,11 e 12, sendo que os poços 9 e 11 tiveram um novo teste de bombeamento em 2014, conforme tabela 20. No poço CBA 9, o aumento da q/s, que duplicou, está associado ao aumento da vazão e uma diminuição do rebaixamento promovida pelas alterações do NE e ND. No poço 11 o aumento na q/s está associado principalmente ao aumento da vazão, embora também tenha ocorrido alteração do NE e ND. O poço CBA 34 também teve um novo teste de bombeamento, só que em 2015, conforme tabela 20, mesmo o aumento da q/s ser menos expressivo, a mesma ocorreu e está associada principalmente a redução do rebaixamento, oriundo da alteração significativa do NE.

Tabela 20: Dados hidrodinâmicos dos novos testes de bombeamento dos poços 9, 11 e 34.

POÇOS	ND (m)	NE (m)	Q (m³/h)	q/s (m³/h/m)
CBA 09	30	0,79	22	0,753
CBA 09 (teste novo)	35	15,17	30	1,513
CBA 11	27	1,28	20	0,778
CBA 11 (teste novo)	35	5,83	30	1,028
CBA 34	70	6,99	12	0,190
CBA 34 (teste novo)	70,12	16,17	15	0,278

A maioria dos poços possuem tempo de bombeamento de 12 e 16 horas, com exceção dos poços CBA 9 e 26, respectivamente o maior e menor tempo de bombeando e do poço CBA

34 com tempo de bombeamento de 14 horas. Na figura 30 podem ser visualizadas as fotos dos poços analisados.



Figura 30: Fotos de alguns dos poços monitorados.

A distribuição espacial da maioria dos poços na cidade de Carlos Barbosa se encontra em duas bacias, conforme figura 31. Essas bacias abrangem quase que a totalidade da cidade, sendo que a bacia SBTA é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas e a bacia SBC é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Caí. Em relação aos oito poços, todos estão

concentrados em 3 sub-bacias da bacia SBTA, além disso, quase que a totalidade dos poços da CORSAN também estão situados nesta bacia.

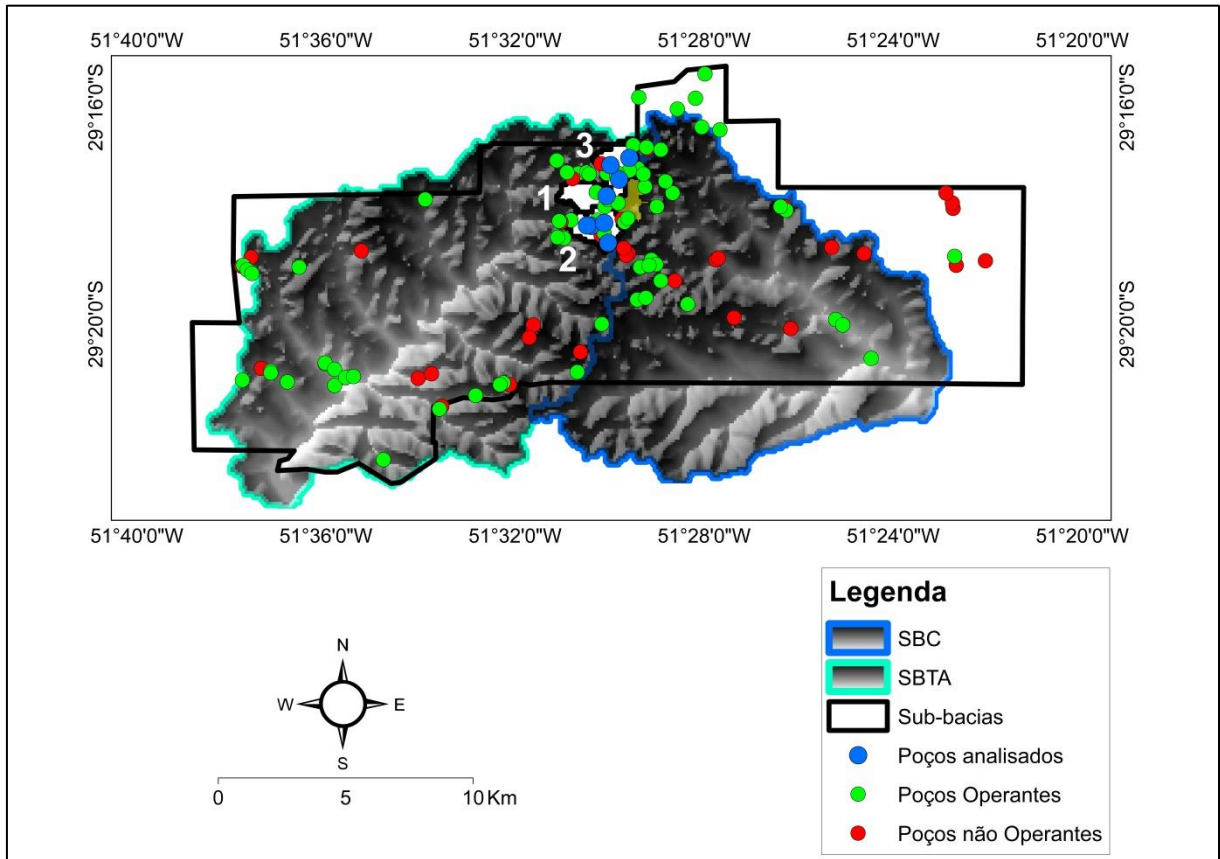


Figura 31: Bacias e sub-bacias de Carlos Barbosa.

Na tabela 21, são expostos alguns dados das 3 sub-bacias, onde é possível observar que as mesmas possuem uma área que varia entre 1,5 e 2 km², que a quantidade de poços situada em cada uma varia de 6 a 9, sendo que entre esses poços a quantidade de poços analisados varia de 1 a 4 por sub-bacia.

Tabela 21: Dados das 4 sub-bacias da Bacia 1.

SBTA	Área Km ²	Quantidade total de poços	Quantidade de poços monitorados
1	1,52	6	1
2	1,85	9	4
3	1,73	8	3
Total	5,1	23	8

Na sub-bacia 1, apresentada na figura 32, está localizado o poço CBA 3A, além deste poço há mais 5 poços nesta sub-bacia, sendo que desses, apenas 1 não está em operação.

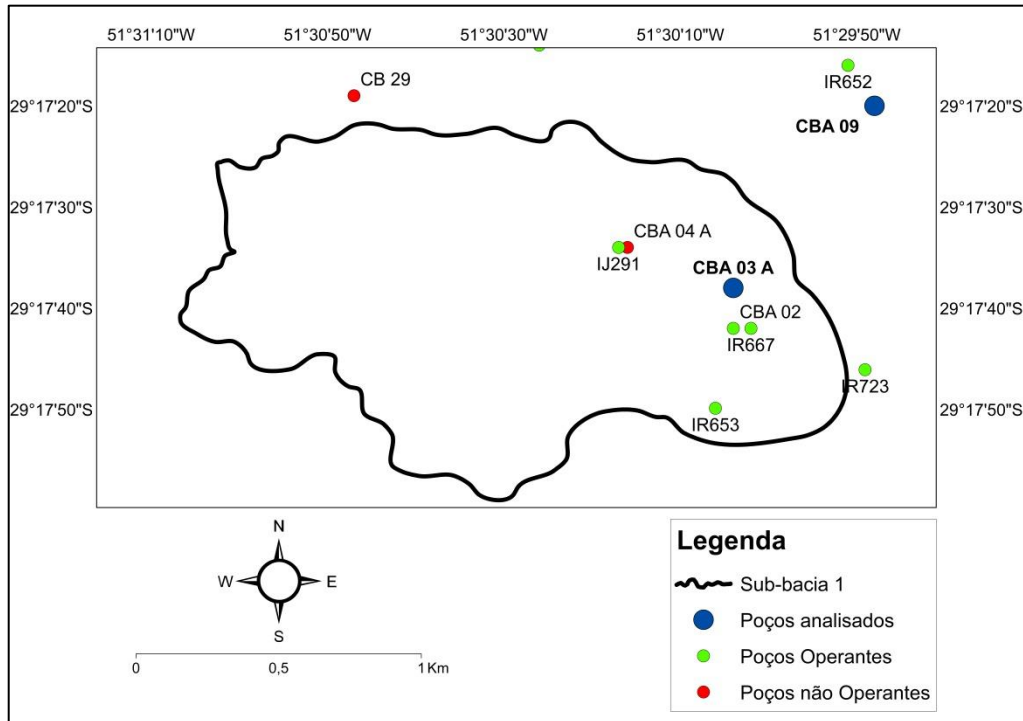


Figura 32: Sub-bacia 1.

Dos demais poços desta sub-bacia, o poço CB4A apresentou problemas construtivos (desmoronou) e foi desativado, sendo que ao lado do mesmo foi perfurado um novo poço que atingiu a profundidade de 180 m e que possui uma vazão de 48,6 m³/h. Esse poço ainda não entrou em operação no sistema. Os outros poços, que se encontram em operação, possuem vazões baixas, IJ291 com 3 m³/h e 101 m de profundidade, CBA 2 com 13,66 m³/h e 74,8 m de profundidade, IR653 com 11,15 m³/h e 180 m de profundidade e o poço IR667 com 9 m³/h e 160 m de profundidade.

A curva de rebaixamento do poço CBA 3A, apresentada na figura 33.A, é oriunda de teste de rebaixamento realizado pela CORSAN, com vazão decrescente, no entanto, a reação do poço é lenta, mantendo o rebaixamento, apresentando estabilização do nível de água no final do teste. A curva de recuperação do poço CBA 3A, apresentada na figura 33.B, apresenta uma rápida recuperação, representada pela declividade acentuada da mesma.

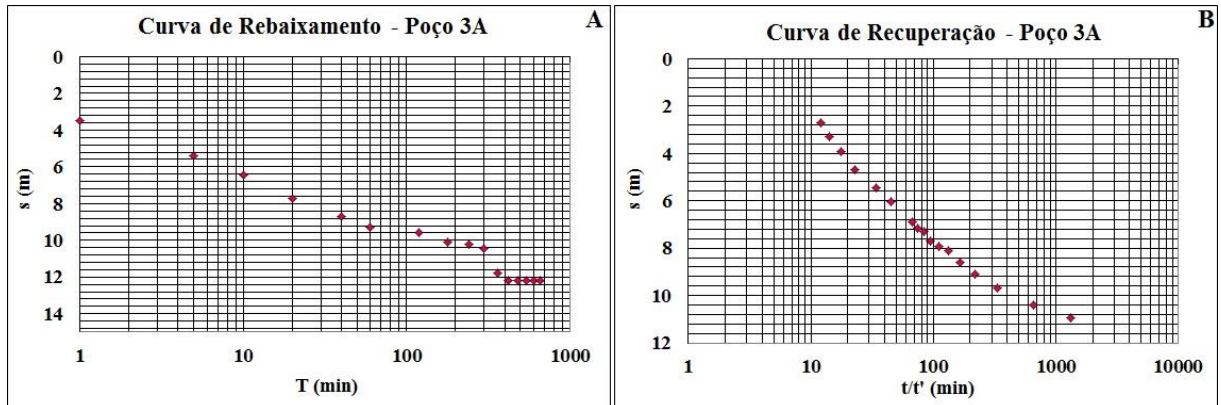


Figura 33: (A) Curva de rebaixamento do poço CBA 3A. (B) Curvas de recuperação do poço CBA 3A.

Na sub-bacia 2, apresentado na figura 34, estão situados 9 poços, sendo que desse total 6 são poços monitorados pelo SIGAS (poços 5, 6, 18, 20, 26 e 34) e desses seis 4 serão analisados (5, 18, 26 e 34). Dos poços não monitorados, presentes nesta sub-bacia, todos estão fora de operação.

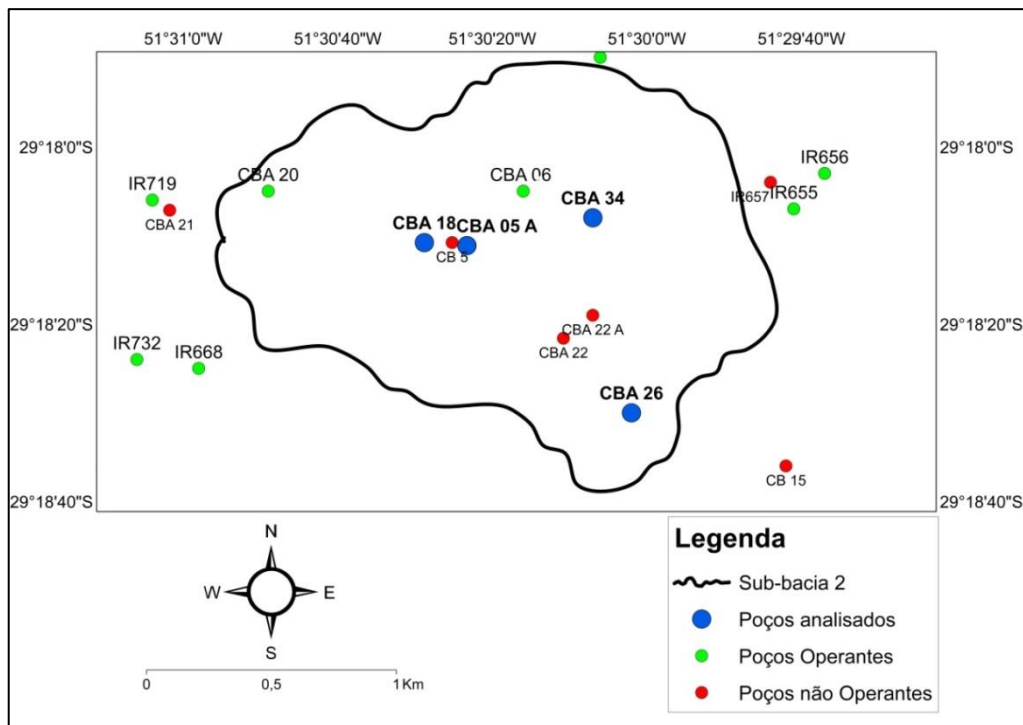


Figura 34: Sub-bacia 2.

Dos demais poços presentes nesta sub-bacia, com exceção do CBA 5 e CBA 22A com vazões de 12,86 e 12 m³/h e profundidades de 57 e 126 m respectivamente, os poços CBA 6, 20 e 22 possuem vazão superior aos poços analisados presentes nesta sub-bacia. O CBA 6 tem vazão de 16 m³/h e 40 m de profundidade (poço mais raso da região de Carlos Barbosa), enquanto que os poços CBA 20 e 22 possuem vazão de 20m³/h e profundidades de 140 e 124 m respectivamente.

As curvas de rebaixamento dos poços monitorados presentes na sub-bacia 2, são resultados de testes de bombeamento realizados pela CORSAN com variação de vazão (Figura 35). As curva de rabaixamento e recuperação do CBA 34 são referêntes ao novo teste de bombeamento, sendo que os dados do primeiro teste não foram disponibilizados. As flexas pretas indicam um aumento da vazão a partir do ponto indicado e as flexas azuis uma diminuição da vazão bombeada em relação a flexa anterior.

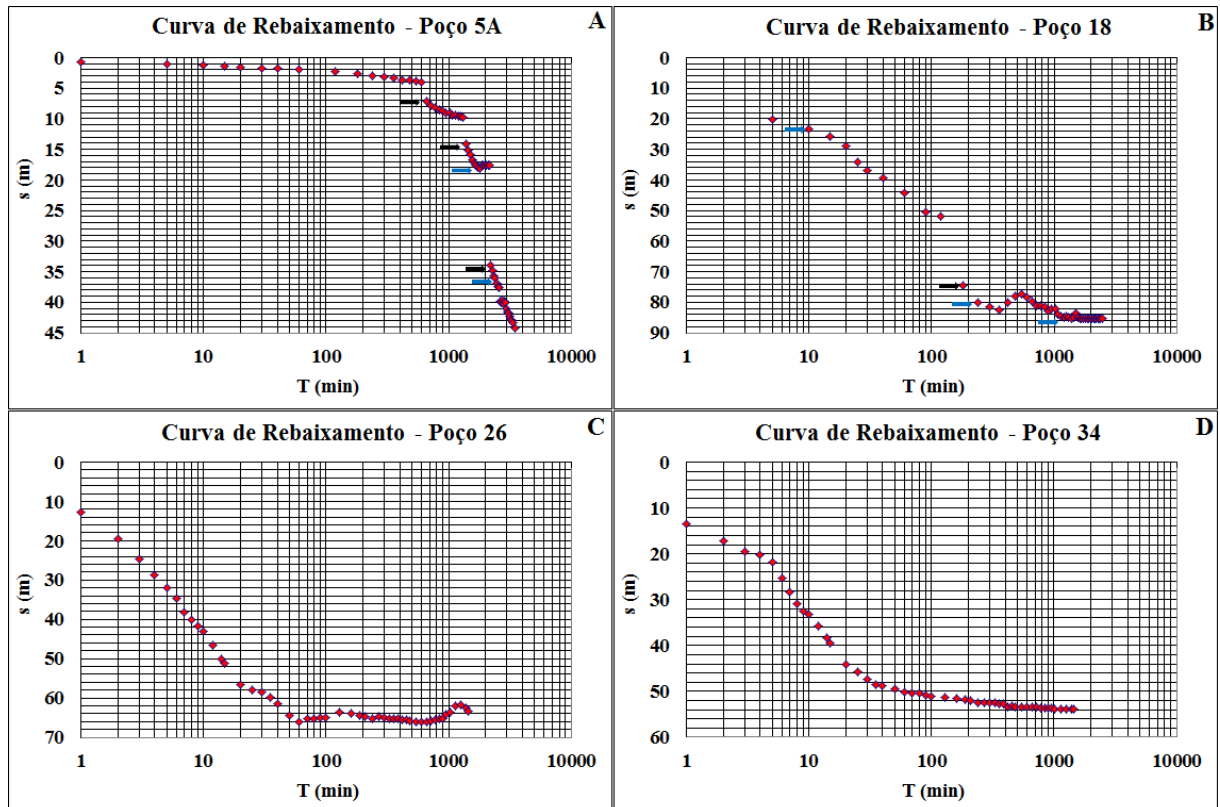


Figura 35: (A) Curva de rebaixamento do poço CBA 5A. (B) Curva de rebaixamento do poço CBA 18. (C) Curva de rebaixamento do poço CBA 26. (D) Curva de rebaixamento do poço CBA 34.

No poço CBA 5A, apresentado na figura 35.A vazão de teste é crescente, o que explica as variações bruscas no rebaixamento, no entanto, ocorrem rápidas reduções da mesma em alguns pontos. Os poços CBA 18, 26 e 34 (Figura 35.B, C e D), possuem curvas parecidas, porém as vazões de teste são decrescentes, no entanto, a reação dos poços é lenta e os mesmos mantem o rebaixamento, apresentando uma reação a redução da vazão só no final do teste, com uma tendência de estabilização. Sendo que o aumento expressivo do rebaixamento, observado no poço CBA 18 está associado ao aumento de vazão ocorrido neste intervalo.

A recuperação nos poços CBA 5A e 18 ocorrem de forma mais rápida inicialmente, marcada por uma declividade mais acentuada das curvas (Figura 36.A e B). Após este primeiro intervalo de tempo, a velocidade de recuperação se torna mais lenta, sendo

observado na curva através da mudança na declividade da mesma. No poço CBA 26 inicialmente a recuperação ocorre de forma mais lenta, após um pequeno intervalo de tempo a mesma ganha velocidade até tender a uma redução da recuperação novamente (Figura 36.C). O poço CBA 34 demonstrou uma rápida recuperação no teste, durante um significativo período de tempo, com uma redução da mesma no final do teste (Figura 36.D). Este comportamento de recuperação rápida do nível de água foi observado também nas aferições de nível realizada em campo, nos poços CBA 18, 26 e 34, demonstrando que tal comportamento pode ser uma característica do aquífero fraturado da região.

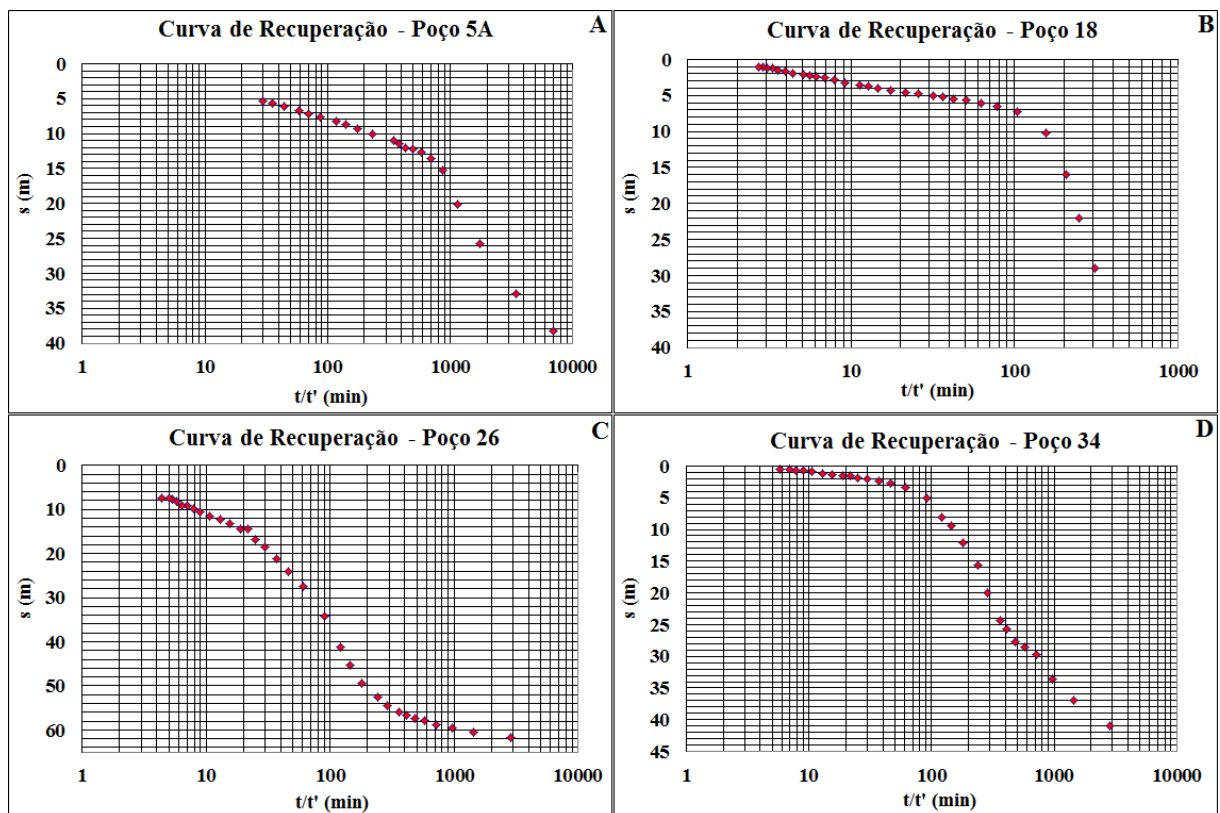


Figura 36: (A) Curva de recuperação do poço CBA 5A. (B) Curva de recuperação do poço CBA 18. (C) Curva de recuperação do poço CBA 26. (D) Curva de recuperação do poço CBA 34.

Na sub-bacia 3, apresentada na figura 37, estão localizados 8 poços, sendo que desse total a metade são poços monitorados (poços CBA 9, 10, 11 e 12) e desses 3 foram analisados (poços CBA 9, 11 e 12). Dos demais poços analisados nesta sub-bacia tem o CBA 10 com vazão de $25 \text{ m}^3/\text{h}$ e profundidade de 90 m, IR651 e 652 ambos com 100 m de profundidade e vazões de $23,3$ e $17,6 \text{ m}^3/\text{h}$ respectivamente, o poço CB 14 possui 168 m de profundidade e vazão de $2,474 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo este o possível motivo do mesmo não estar em funcionamento e o poço IR650 que não possui informações.

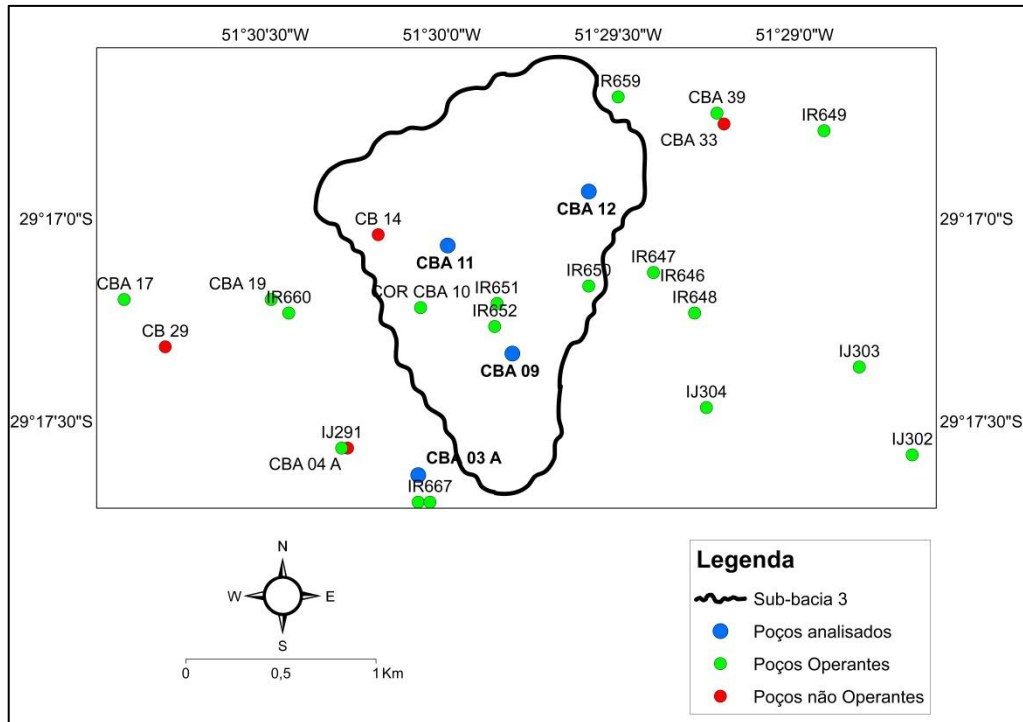


Figura 37: Sub-bacia 3.

Nos poços CBA 9 e 12 a vazão de teste é crescente (Figura 38.A e E), o que explica as variações bruscas no rebaixamento, sendo que no poço CBA 9 há apenas um pequeno intervalo de tempo em que a vazão é reduzida.

No poço 11 a vazão de teste é decrescente, sendo que o mesmo responde rapidamente a redução da vazão, com a diminuição do rebaixamento (Figura 38.C).

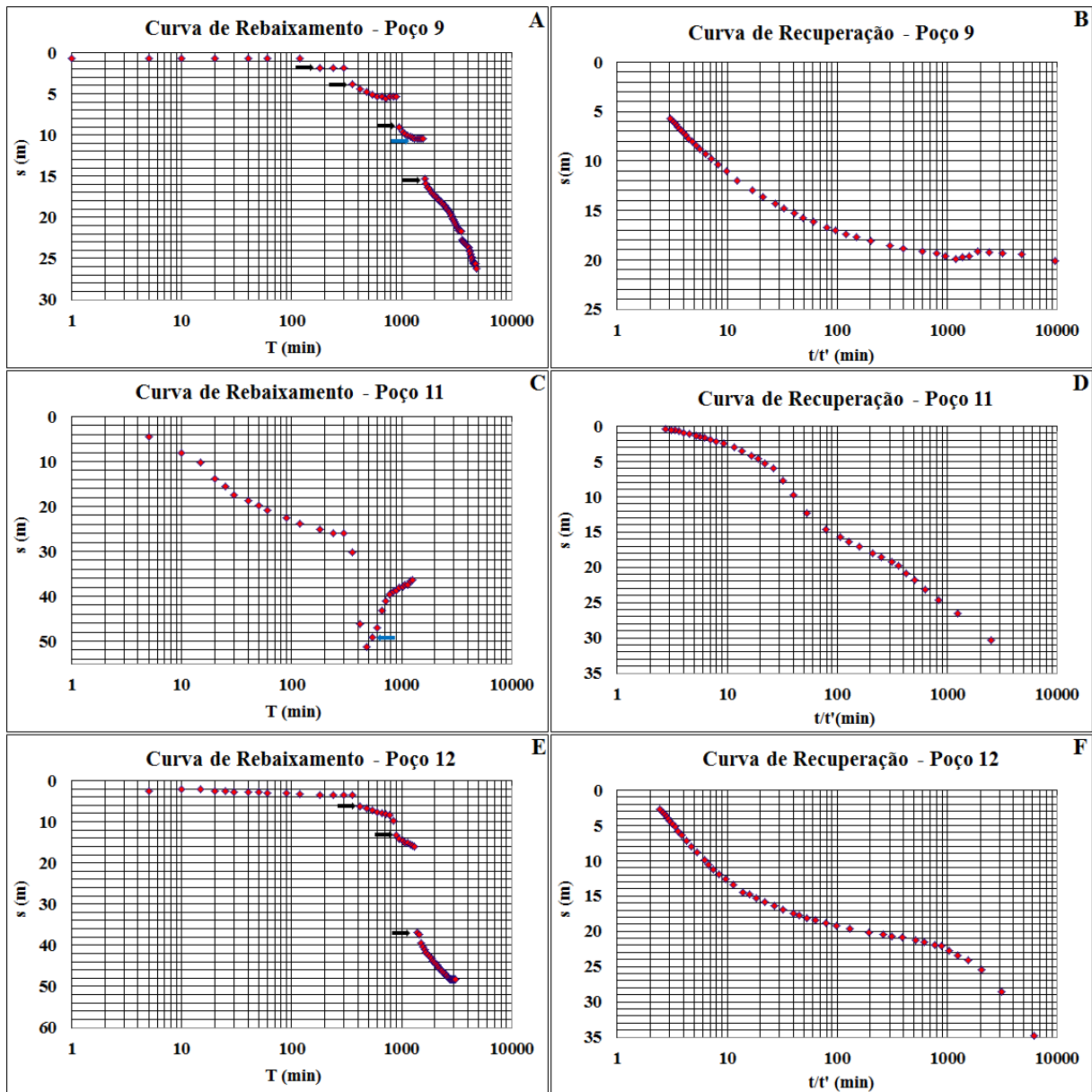


Figura 38: (A) Curva de rebaixamento do poço 9. (B) Curva de recuperação do poço 9. (C) Curva de rebaixamento do poço 11. (D) Curva de recuperação do poço 11. (E) Curva de rebaixamento do poço 12. (F) Curva de recuperação do poço 12.

A recuperação no poço CBA 9, inicialmente ocorre de forma muito lenta, após este intervalo a velocidade de recuperação aumenta, reduzindo novamente no final (Figura 38.B). O poço CBA 11 possui uma rápida recuperação, apresentando uma redução na velocidade da mesma só no final do teste (Figura 38.D). No poço CBA 12 a recuperação é inicialmente mais rápida, após sofre uma redução de velocidade, sendo que a mesma volta a se elevar novamente no final do teste, conforme demonstrado na curva pela mudança de declividade (Figura 38.F).

A importância dos poços analisados é inquestionável para o abastecimento de água no município de Carlos Barbosa, desta forma, o monitoramento é uma ferramenta indispensável

para que a gestão da operação desses poços seja coerente com as limitações hidrogeológicas dos mesmos. No entanto, levando em conta a anisotropia do sistema aquífero, só um monitoramento detalhado das condições de exploração nos poços é capaz de saber as influências das demandas na operação dos mesmos e os reflexos no nível de água desses poços. Assim, foi realizada uma análise com base na utilização dos dados de monitoramento do SIGAS, contudo esse sistema possui limitações que serão descritas a seguir.

6.3 LIMITAÇÕES DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DO SIGAS

O SIGAS possui algumas limitações em relação à precisão na coleta e envio dos dados, os quais estão associados aos equipamentos utilizados e o sistema de transmissão dos mesmos. Tais limitações serão detalhadas a seguir para cada parâmetro monitorado.

6.3.1 LIMITAÇÕES REFERENTES À COLETA DOS DADOS

A precisão dos sensores de nível é de 1% do fundo de escala, ou seja, por exemplo, no poço CBA 5 A, o sensor de nível que está sendo usado neste poço possui uma faixa de pressão 0-25 MCA, logo o erro associado a esta medida de nível é de 0,25 m, e o mesmo está associado ao sensor de pressão e a sua eletrônica. A variação da pressão atmosférica também contribuem com o erro na medição em uma faixa de 10 a 15 cm, no máximo 30 cm. Outra fonte de erro está no valor informado para a profundidade de instalação, sendo que este não é um erro instrumental propriamente dito, mas sim um erro operacional, pois qualquer variação na instalação da mesma também configurará em uma fonte de erro.

Na tabela 22 estão apresentados os dados de níveis de água observados em campo e os registrados no SIGAS nos poços CBA 9, 11, 12 e 26, já no poço CBA 3 A e 34 não foi possível realizar a comparação, porque no dia em que foram coletados os dados em campos, coincidiu com o período que não houve o monitoramento desses dados pelo SIGAS para esses poços. No entanto, os dados coletados no poço CBA 3 A em campo, tanto no bombeamento quanto na recuperação, foram coerentes à série de dados de níveis de água coletados pelo SIGAS, por isso os mesmos foram apresentados na discussão de dados, com a finalidade de analisar os reflexos na exploração no mesmo. No poço CBA 34 os dados coletados pelo SIGAS se demonstraram coerentes, levando em consideração os valores coletados em campo no período de bombeamento, por isso os mesmos também foram analisados.

Tabela 22: Verificação dos dados de nível nos poços CBA 9, 11, 12 e 26.

Poços	Poço Situação	Hora	NA. Medido no campo (m)	N.A. SIGAS (m)	Diferença (m)
CBA 9	Bombeando	14:30	20,16	20,04	0,12
		14:35	20,16	20,04	0,12
		14:40	20,16	20,11	0,05
CBA 11	Bombeando	13:50	19,6	19,74	0,14
		13:55	19,58	19,71	0,13
		14:00	19,56	19,68	0,12
CBA 12	Bombeando	15:00	31,85	30,90a	0,95
		15:05	31,92	30,90	1,02
		15:10	31,93	30,93	1,00
CBA 26	Bombeando	16:55	62,23	61,42	0,81
		17:00	61,89	60,67	1,22
		17:05	61,9	61,61	0,29

Os poços CBA 9, 11, 12 e 26 apresentaram uma diferença entre as leituras no período de bombeamento praticamente nula, levando em conta a precisão do sensor de nível e as demais fontes de erro mencionadas. Não foi possível verificar o comportamento do nível de água no período de recuperação nos poços CBA 9 e 12, mas levando em consideração a aproximação entre os dados coletados no período de bombeamento e tendo em vista que os dados coletados estão variando com certa folga dentro da faixa de pressão dos sensores, os níveis de água mínimos, desses poços, também foram utilizados neste trabalho para a avaliação dos reflexos da exploração nos mesmos.

Os dados de níveis nos poços CBA 5 A e 18 não foram avaliados, porque a verificação em campo demonstrou que os mesmos apresentavam leituras não representativas das ocorridas em campo, em ambos os períodos com e sem bombeamento.

6.3.2 LIMITAÇÕES REFERENTES AO ENVIO DOS DADOS

Os loggers trabalham com uma base de tempo de um minuto. Isto quer dizer que a medida de tempo do sistema tem uma precisão de ± 1 minuto. O que contribui para esta incerteza é o tempo levado para transmitir os dados, que é no mínimo de 30 segundos. Os dados de corrente e volume são transmitidos em pacotes de 15 (± 1) minutos e os dados de

níveis em pacotes de 1 minuto. Dependendo das condições de tráfego do sistema de telefonia celular da Claro o tempo para esta transmissão pode levar mais de um minuto. Enquanto esta transmitindo os dados o sistema não monitora, portanto isto pode levar, esporadicamente, a perda de dados em um ou dois minutos. Se o logger não consegue transmitir os dados em no máximo dois minutos, o monitoramento recomeça e o mesmo tenta transmitir todos os dados mais tarde. Logo há uma perda de dados de no máximo 2 minutos, relativa a um “tempo morto” associado à comunicação.

Cabe salientar pelo fato dos dados serem coletados por instrumentos eletrônicos e o seu envio estar condicionado à existência de rede de um sistema de telefonia, tanto a coleta por parte dos instrumentos, quando o envio podem ser prejudicados em eventos extremos, como temporais, os quais podem inviabilizar o envio dos dados ou até mesmo danificar os equipamentos responsáveis pela coleta e inserção dos mesmos no sistema.

6.4 AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE EXPLOTAÇÃO DOS POÇOS ANALISADOS COM BASE NOS DADOS OBTIDOS PELO SIGAS

Os poços analisados neste trabalho, em conjunto com outros 4 poços, abastecem 3 dos 4 reservatórios presentes em Carlos Barbosa, conforme a tabela 11 apresentada anteriormente. Os reservatórios abastecidos por esses poços possuem cerca de 78% da capacidade de armazenamento de água no município, na figura 39 é apresentada a localização dos três reservatórios e os poços analisados e responsáveis pelo abastecimento dos mesmos.

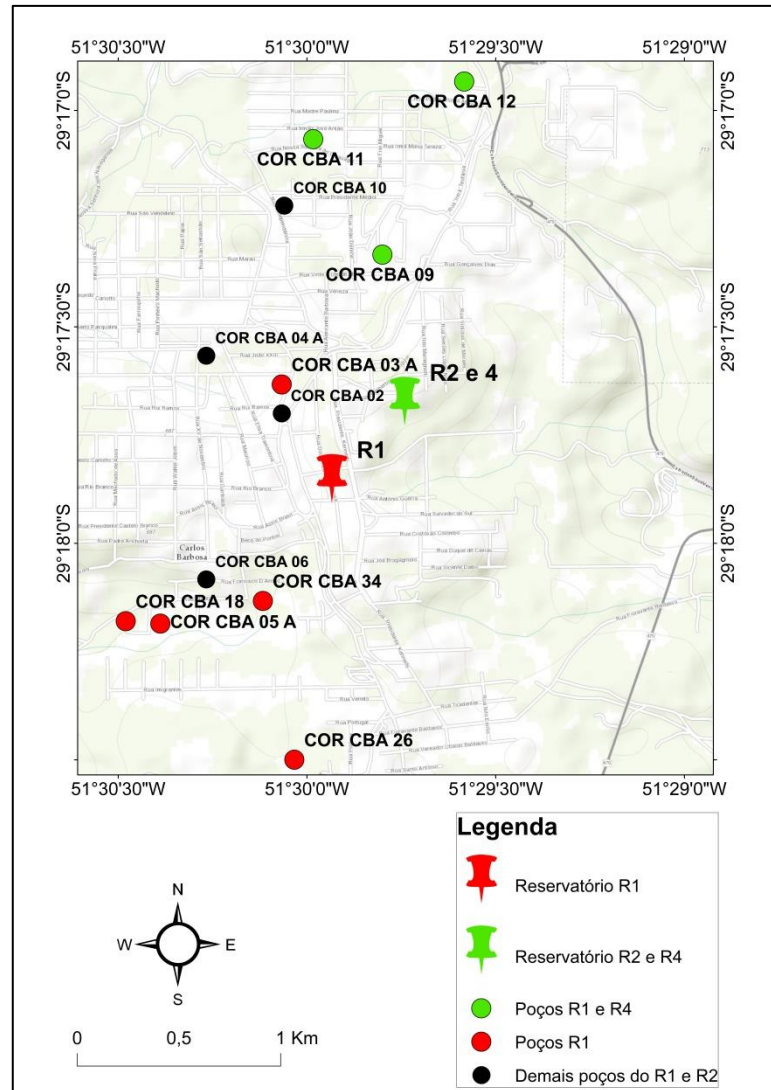


Figura 39: Localização dos reservatórios abastecidos pelos poços analisados

6.4.1 ANÁLISE DOS POÇOS QUE ABASTECEM O RESERVATÓRIO R1

Os poços CBA 3 A, 5 A, 18, 26 e 34 abastecem juntamente com outros 3 poços o reservatório R1, que é o principal reservatório do município, possuindo cerca de 54% da capacidade de armazenamento do mesmo, logo este reservatório é o que possui a maior quantidade de poços sendo bombeados para o seu abastecimento.

6.4.1.1 POÇO CBA 3 A

O tempo de bombeamento do poço CBA 3 A, na maior parte dos dias analisados (88% do tempo), está acima do valor projetado para este poço, conforme apresentado na figura 40.

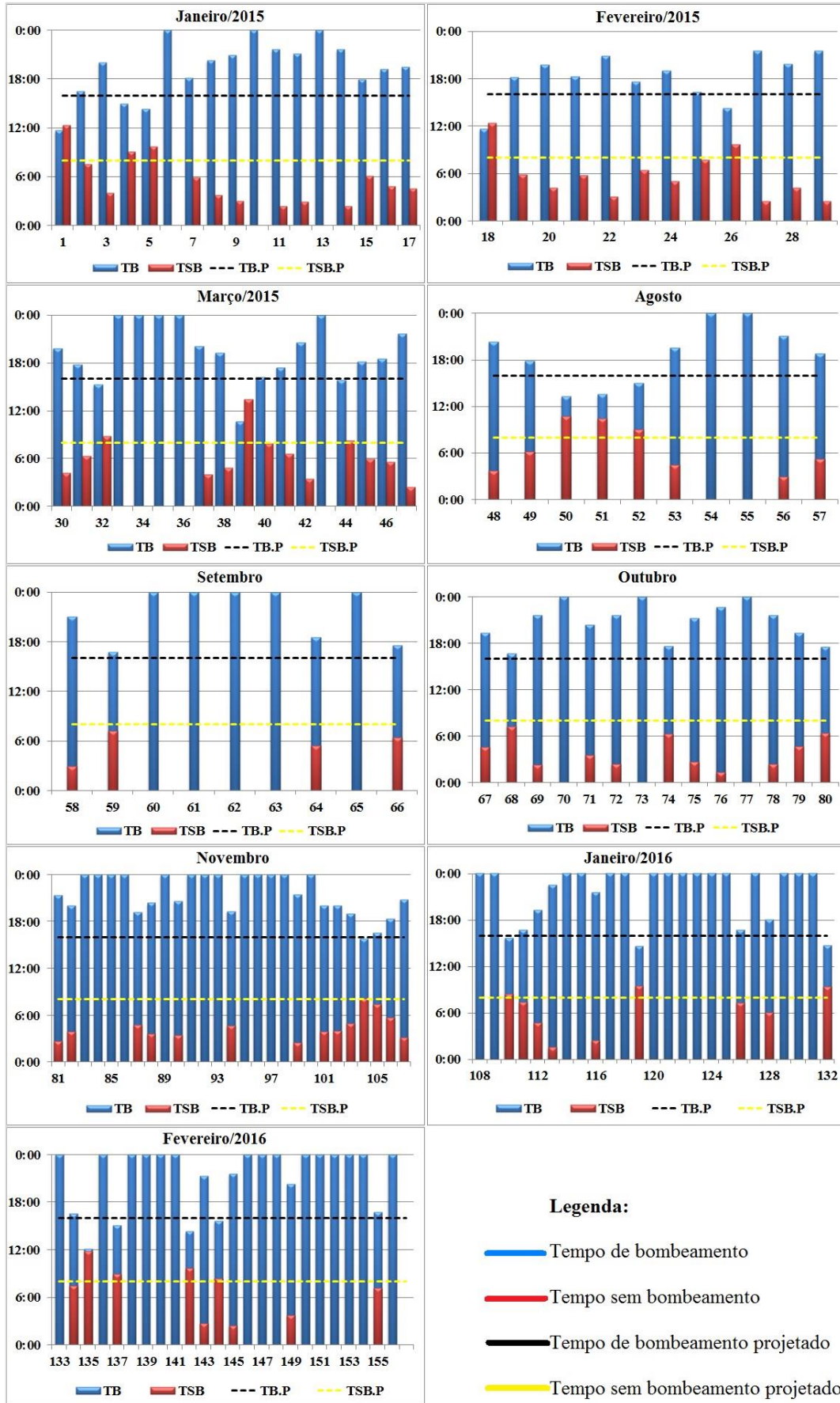


Figura 40: Tempo de bombeamento e sem bombeamento no poço CBA 3. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Em média o valor ultrapassado é de 5:08 h, com um desvio em torno deste valor de 2:42 h. Logo, em média o tempo de bombeamento operado neste poço é de 20:36 h, com um desvio em relação a este valor de 3:29 h, sendo o maior tempo de bombeamento registrado de 24:00 h e o menor de 10:37h. Conseqüentemente, o mesmo dificilmente atinge o período de tempo sem bombeamento estipulado em projeto.

Nos dias em que o tempo sem bombeamento foi atingido e por vezes ultrapassado, o mesmo não ocorreu de forma ininterrupta, sendo dividido em intervalos como pode ser observado na figura 41. Tal comportamento dificulta ainda mais a recuperação do nível de água, a qual já se encontra deplecionado pelo tempo de bombeamento mais prolongado. O comportamento das operações neste poço não possui nenhuma regularidade, sendo diferente de um mês para o outro, deixando claro que o mesmo funciona em função das demandas existentes no reservatório o qual ele abastece.

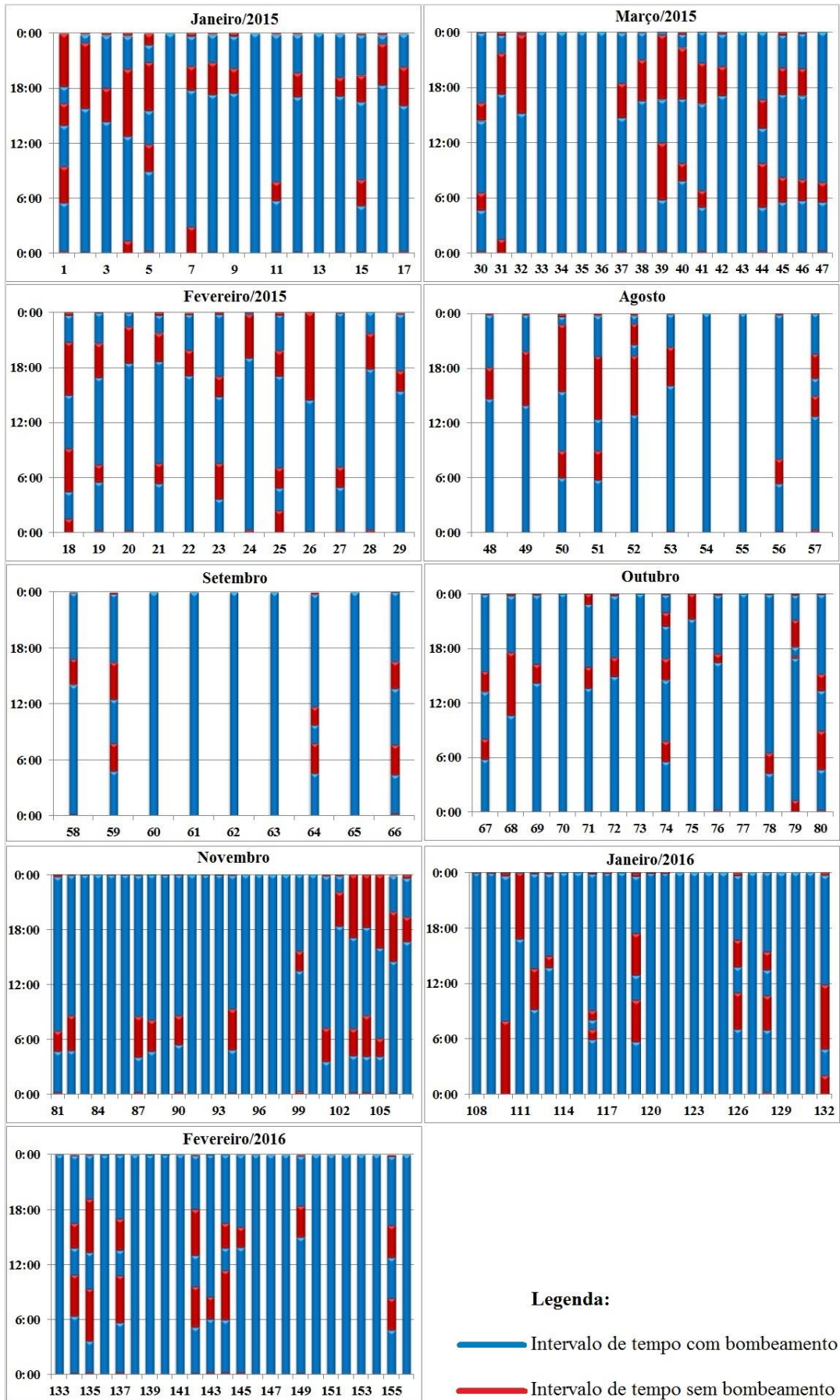


Figura 41: Intervalos de tempo com e sem bombeamento no poço CBA 3 A. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

A vazão bombeada no poço CBA 3 A se manteve abaixo do determinado em projeto, como pode ser visualizado no gráfico apresentado na figura 42. Este parâmetro se manteve praticamente estável, nos primeiros 6 meses analisados, a partir do mês de novembro, os valores de vazão operados reduziram. Em média a vazão foi de 32,14 m³/h, com um desvio em relação a este valor de 1,27 m³/h, sendo a máxima vazão registrada de 34,26 m³/h e a mínima de 30,04 m³/h.

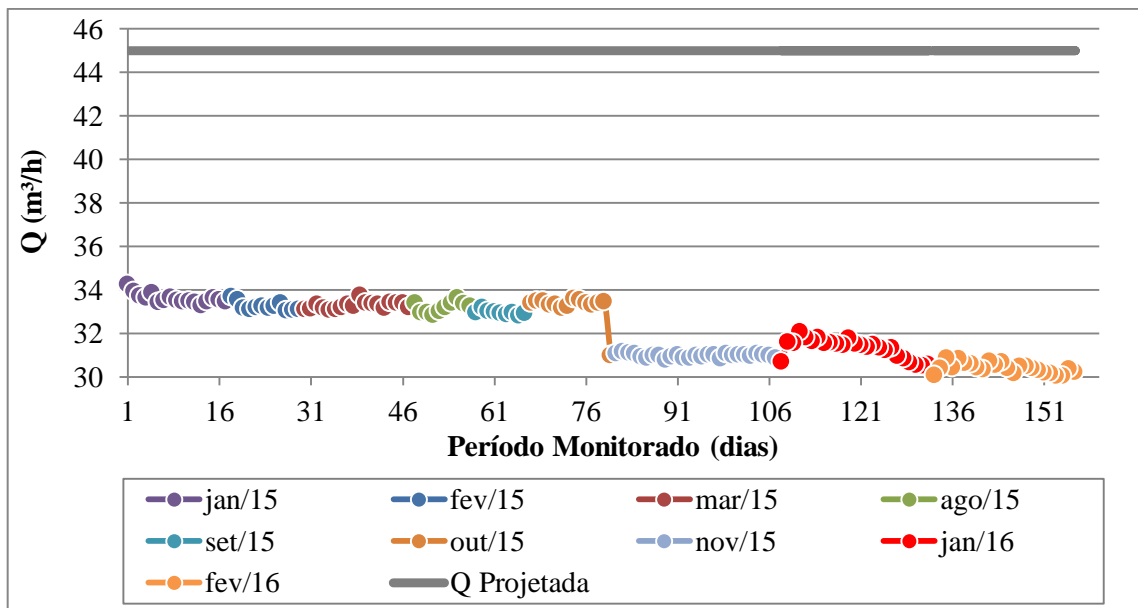


Figura 42: Vazão registrada no poço CBA 3 A.

Observando somente os dados de vazão da figura 42, conclui-se que a demanda de recursos hídricos subterrâneos nos últimos três meses reduziu, no entanto, ao analisar os dados de volume bombeado, apresentados na figura 43, fica claro que o contrário ocorreu neste período, ou seja, o aumento da demanda. Apesar de a vazão bombeada ter sido reduzida, o período de funcionamento do poço foi mais prolongado. Ainda na figura 43 é possível visualizar que comumente o poço está explotando um volume de água acima do permitido, sendo que em média o valor ultrapassado é de 22,59 m³, com um desvio em relação a este valor de 12,96 m³. O aumento da exploração ocorreu de forma mais frequente nos últimos três meses monitorados, no entanto, em 65% do período monitorado, o volume de água explotado se manteve abaixo do projetado. Desta forma, em média o volume explotado foi de 698,17 m³, como é possível observar na figura 43, o comportamento dos valores de volume de água apresenta grande variação, sendo o desvio padrão em torno deste de 110,26 m³. O máximo valor observado foi de 765,2 m³ e o menor de 354 m³.

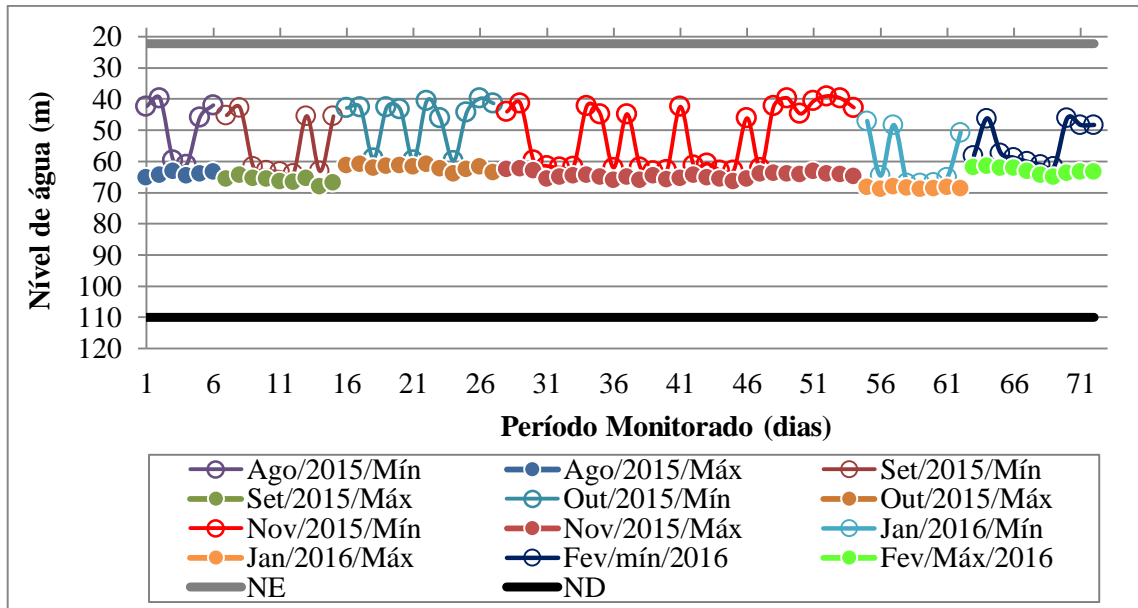


Figura 44: Valores dos níveis máximos e mínimos de água no poço CBA 3 A.

Não é possível afirmar que está ocorrendo uma alteração dos níveis de água, provocados pela exploração, porque o fato dos níveis mínimos não estar recuperando até o nível estático, pode estar associado ao reduzido período sem bombeamento. Logo somente com um período sem bombeamento mais prolongado seria possível analisar de forma coerente a recuperação deste poço.

6.4.1.2 POÇO CBA 5 A

O tempo de bombeamento neste poço, em cerca de 83% do período monitorado, é inferior ao projetado, como pode ser visualizado na figura 45. O restante deste percentual (17%), que está operando acima do definido em projeto, ocorreu predominantemente nos meses de novembro e dezembro. Em média o tempo de bombeamento é em torno de 14:40 h, com um desvio padrão em relação a este valor de 2:40 h. Sendo o máximo valor observado no período de bombeamento de 22:34 h e o mínimo de 1:29 h.

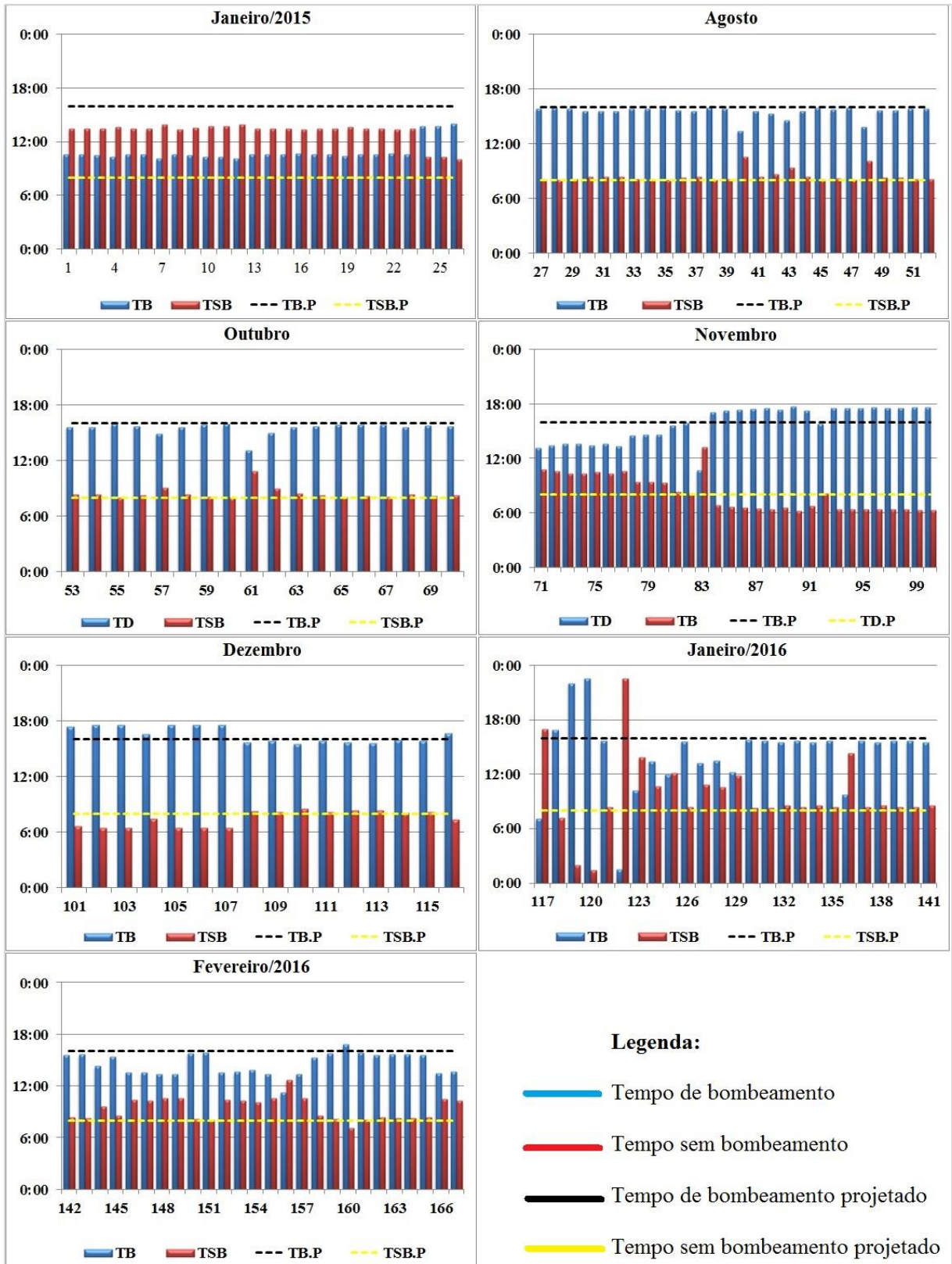


Figura 45: Tempo de bombeamento e sem bombeamento no poço CBA 5 A. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Na figura 46, notamos que tanto o tempo de bombeamento como o sem bombeamento, por vezes, ocorreu de forma intervalada.

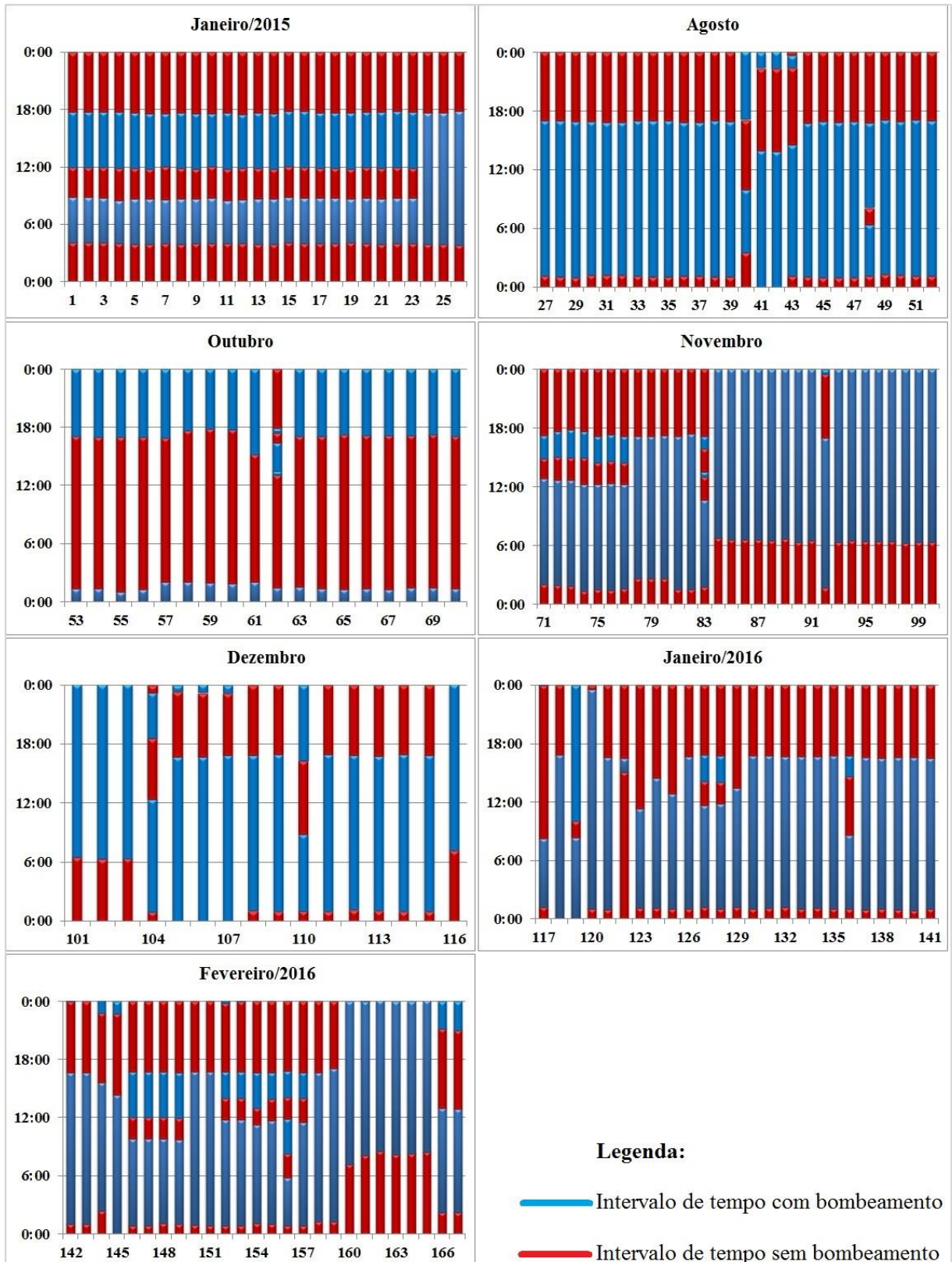


Figura 46: Intervalos de tempo com e sem bombeamento no poço CBA 5 A. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Logo, mesmo o tempo sem bombeamento estando de acordo com o de projeto, ou por vezes, sendo superior, pelo fato deste não ocorrer de forma contínua, pode dificultar a

recuperação dos níveis de água para o nível estático no poço. Nesta figura, pode-se identificar que o regime de bombeamento muda de um mês para o outro, não seguindo um padrão fixo, isso demonstra que os poços bombeiam em função da demanda.

A vazão de bombeamento média neste poço é de 11,38 m³/h, sendo que há um desvio padrão em torno da vazão de 0,77 m³/h. A máxima vazão observada neste poço, no período monitorado foi de 12,58 m³/h e a mínima de 10,25 m³/h. Como é possível observar na figura 47, há uma tendência de redução da vazão bombeada, sendo que valores de vazão superiores ao do projeto só foram registrados nos meses de janeiro e agosto de 2015, em média a vazão ultrapassada foi baixa de 0,39 m³/h com um desvio em relação a este valor de 0,13 m³/h.

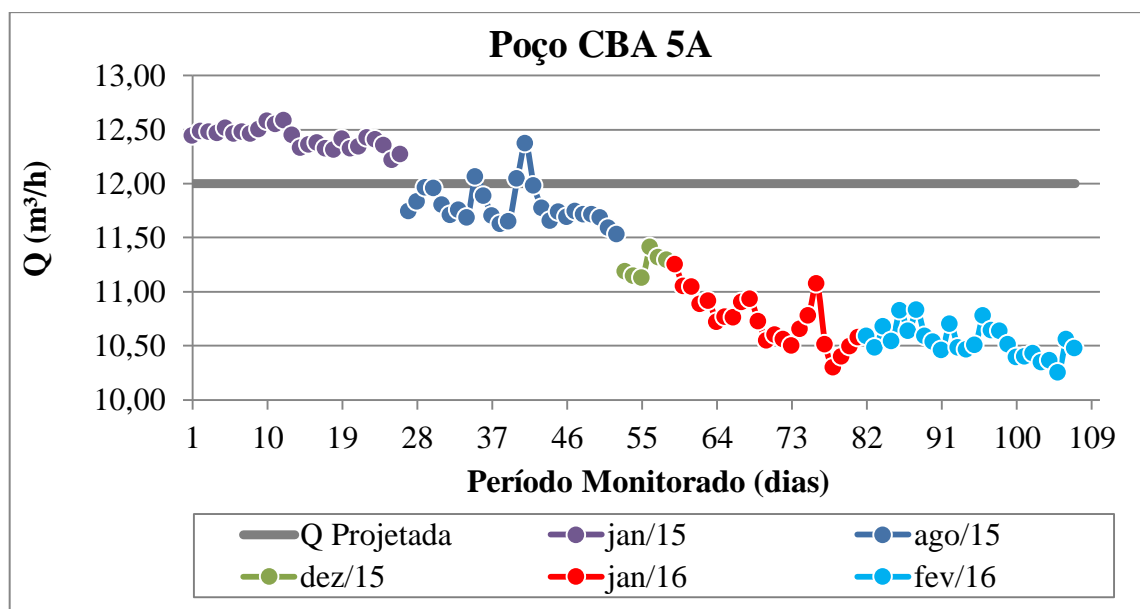


Figura 47: Vazão registradas no poço CBA 5 A.

Os dados de volume de água, apresentados na figura 48, demonstram que ao contrário do que foi observado nos dados de vazão, com a redução da mesma ao longo do tempo, a demanda, com exceção do primeiro mês, se manteve praticamente constante ao longo de todo o período monitorado. Sendo que em cerca de 96% do tempo os volumes registrados ficaram abaixo do projetado. Em média o volume extraído é de 157,15 m³, com o desvio em torno deste de 24,46 m³, sendo os valores máximo e mínimo registrados de 259,7 e 110,7 m³ respectivamente. Os picos registrados no mês de janeiro de 2016 são coerentes com os tempos de bombeamento observados, já os dois picos observados em agosto, não são coerentes com o tempo de bombeamento e vazão registrados neste período, indicando a ocorrência de uma possível falha do sistema.

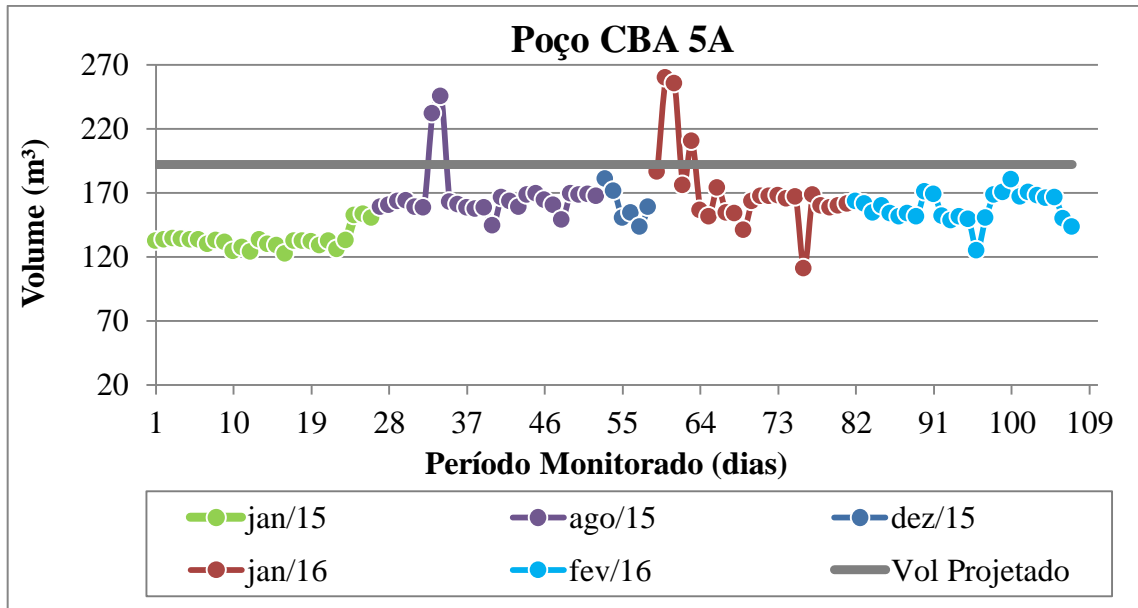


Figura 48: Volumes de água registrados no poço CBA 5 A.

6.4.1.3 POÇO CBA 18

Como pode ser visualizado na figura 49, em 98% do período monitorado, o tempo de bombeamento está acima do projetado, sendo que em média o tempo ultrapassado é de 3:00 h com um desvio em relação a este de 1:00 h. Desta forma, em média o tempo de bombeamento operado neste poço é de 14:50 h, ou seja, acima do projetado, com um desvio em relação a este valor de 1:22 h, sendo o menor tempo registrado de 7:40 h e o máximo de 15:54 h.

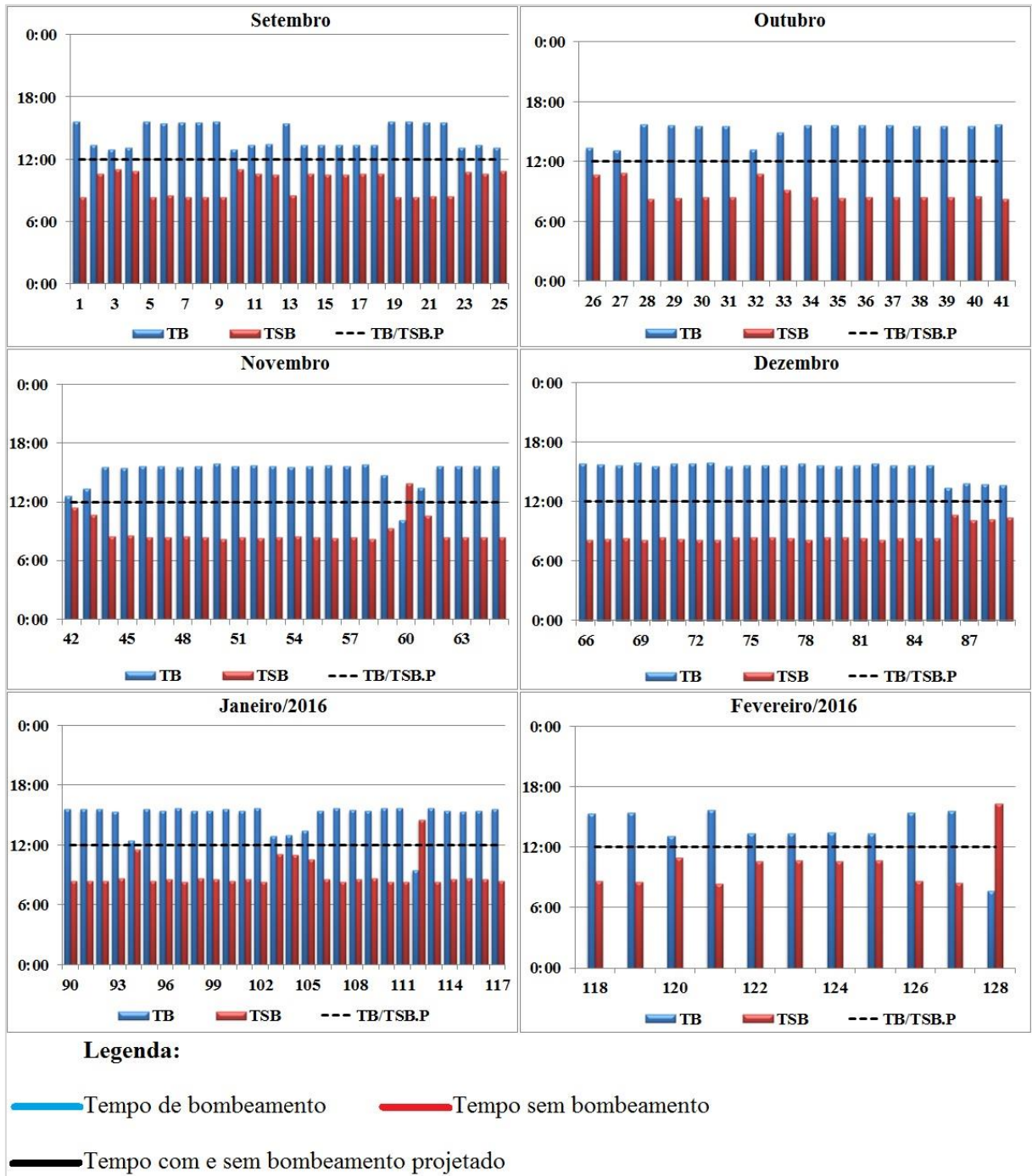


Figura 49: Tempo de bombeamento e sem bombeamento no poço CBA 18. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Além do tempo sem bombeamento não atingir o tempo definido em projeto, o mesmo é operado de forma descontínua, como pode ser visualizado na figura 50. Observou-se que há uma regularidade nos tempos sem bombeamento e com bombeamento, nos casos em que o comportamento dos tempos não seguiu este “padrão” é devido às variações da demanda.

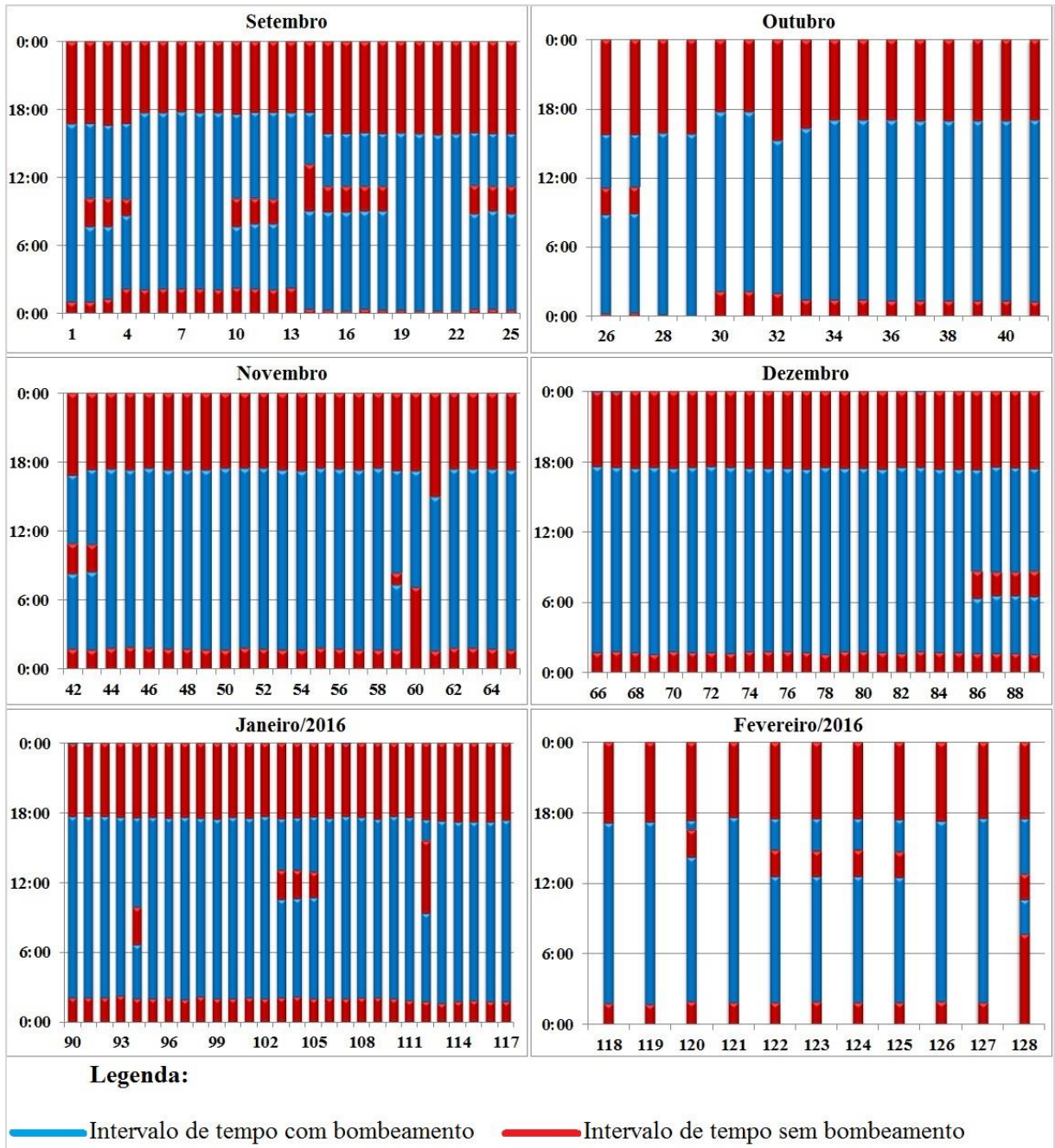


Figura 50: Intervalos de tempo com e sem bombeamento no poço CBA 18. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

A vazão bombeada neste poço, em todo o período monitorado, se manteve acima do projetado, como pode ser observado na figura 51. Em média o valor ultrapassado é de 3,62 m³/h, com um desvio em relação a este valor 0,521 m³/h, desta forma, em média a vazão foi de 16,93 m³/h, sendo o maior valor de vazão registrado de 18,10 m³/h e a menor de 16,13 m³/h. Com exceção dos dois primeiros meses, a vazão teve um comportamento praticamente regular, variando entre 16 e 17 m³/h.

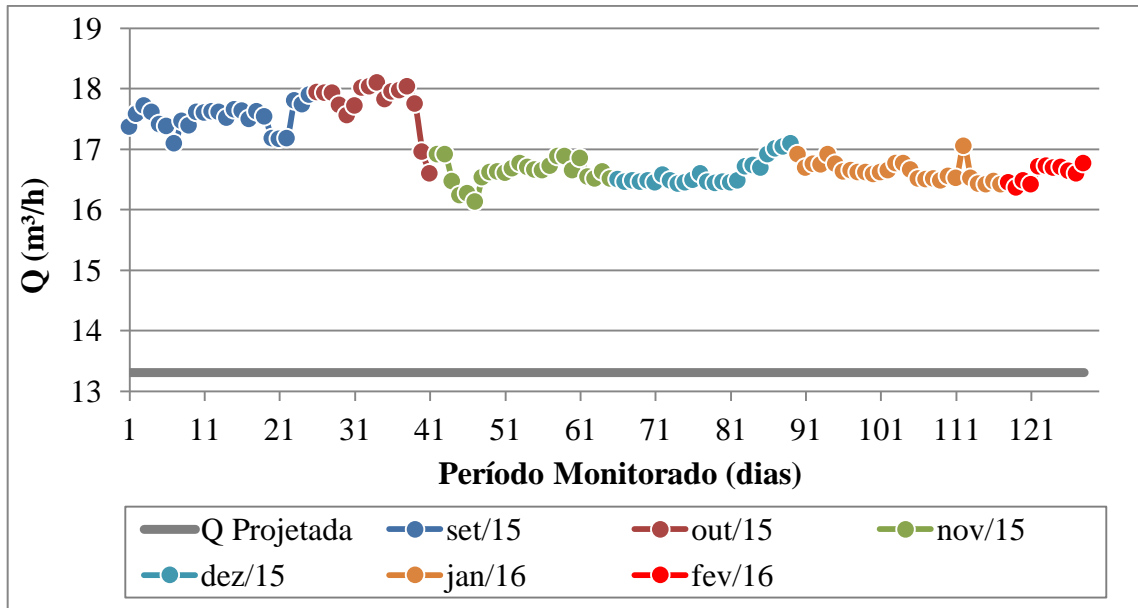


Figura 51: Vazões registradas no poço CBA 18.

Como o tempo de bombeamento e a vazão estão acima do projetado, o volume de água explotado, com exceção de um dia, também foi superior ao projetado, conforme pode ser observado na figura 52. Em média o volume ultrapassado foi de 91,45 m³, com um desvio em relação a este valor de 19,80 m³. Logo, em média o volume explotado foi de 250,86 m³, com um desvio em relação a este valor de 21,21 m³, sendo o menor volume registrado de 139,7 m³ e a maior de 273,9 m³. A redução da vazão, foi acompanhado por um aumento no tempo de bombeamento, como pode ser observado na figura 52, com a elevação do volume.

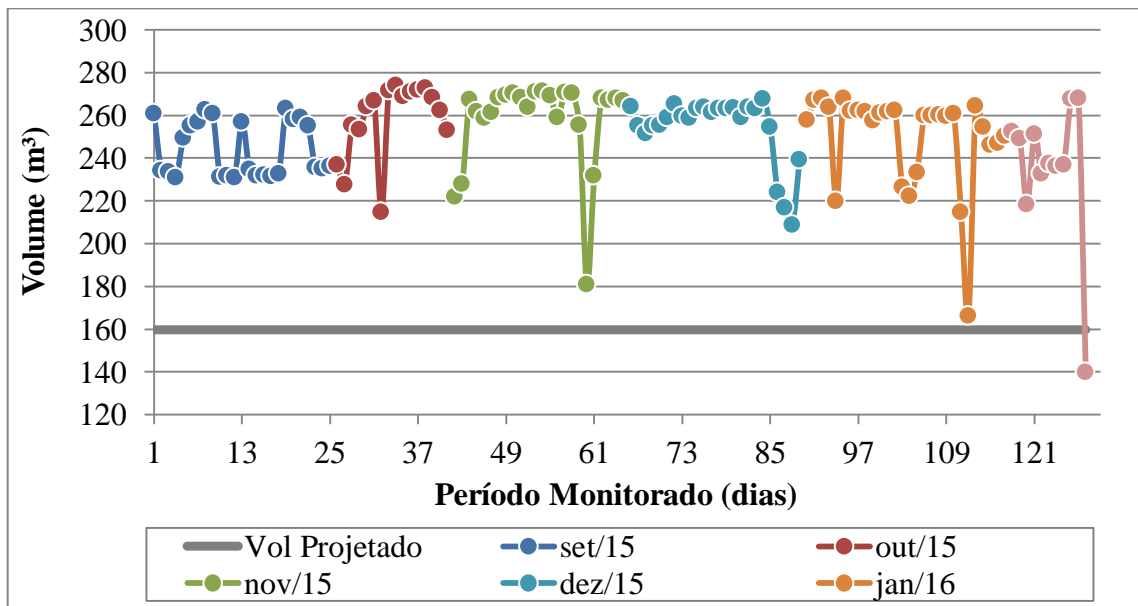


Figura 52: Valores de volume de água registrados no poço CBA 18.

6.4.1.4 POÇO CBA 26

O tempo de bombeamento neste poço, em quase que na totalidade do período monitorado, se encontra abaixo do projetado (Figura 53).

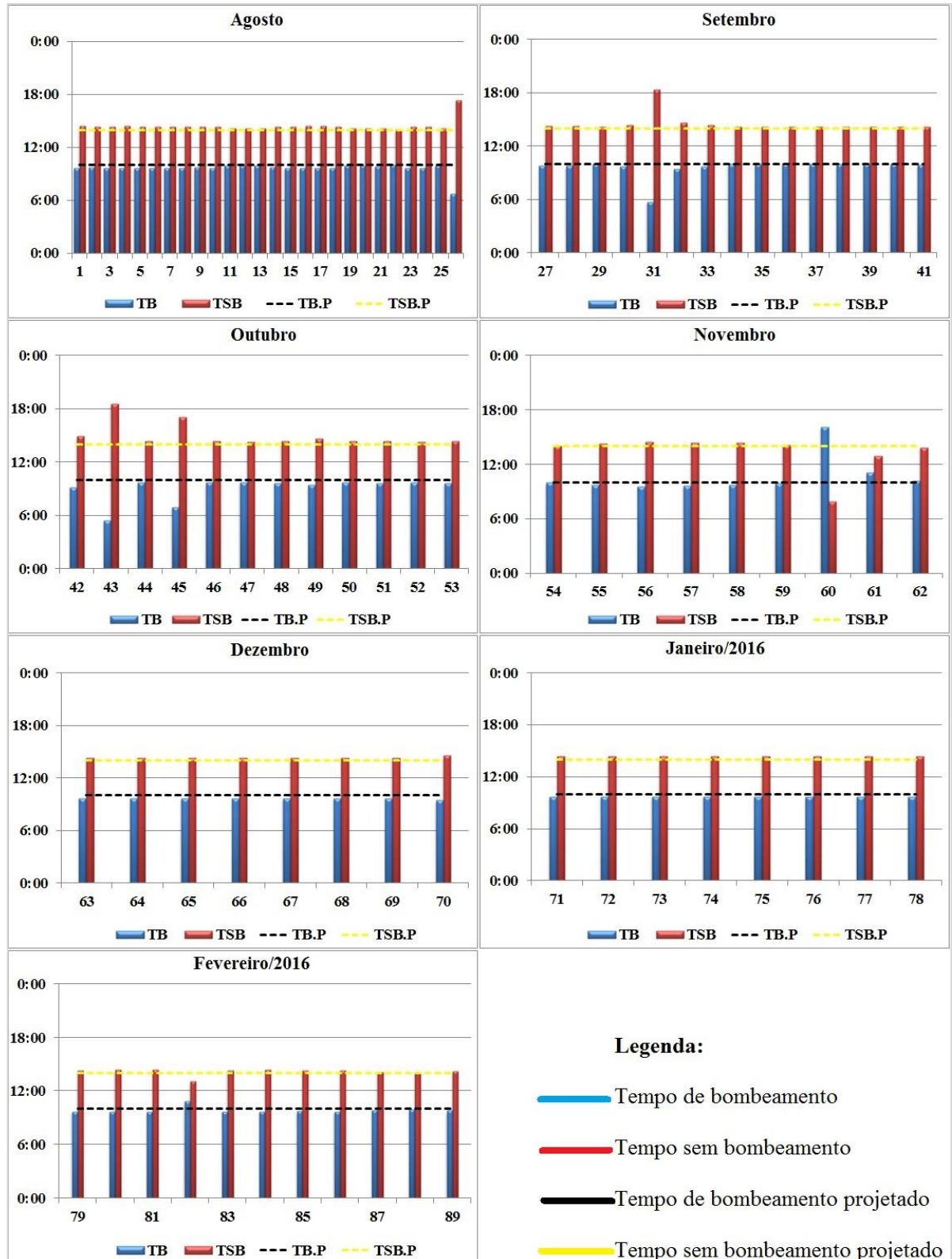


Figura 53: Tempo de bombeamento e sem bombeamento no poço CBA 26. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Em média o tempo operado neste poço é de 9:39 h, com um desvio em relação a este valor de 1:02 h, sendo o tempo máximo observado de 16:04 h e o menor de 5:27 h.

A operação neste poço é regular, sendo que na maior parte do período monitorado o tempo sem bombeamento é dividido em dois intervalos, como pode ser observado na figura 54.

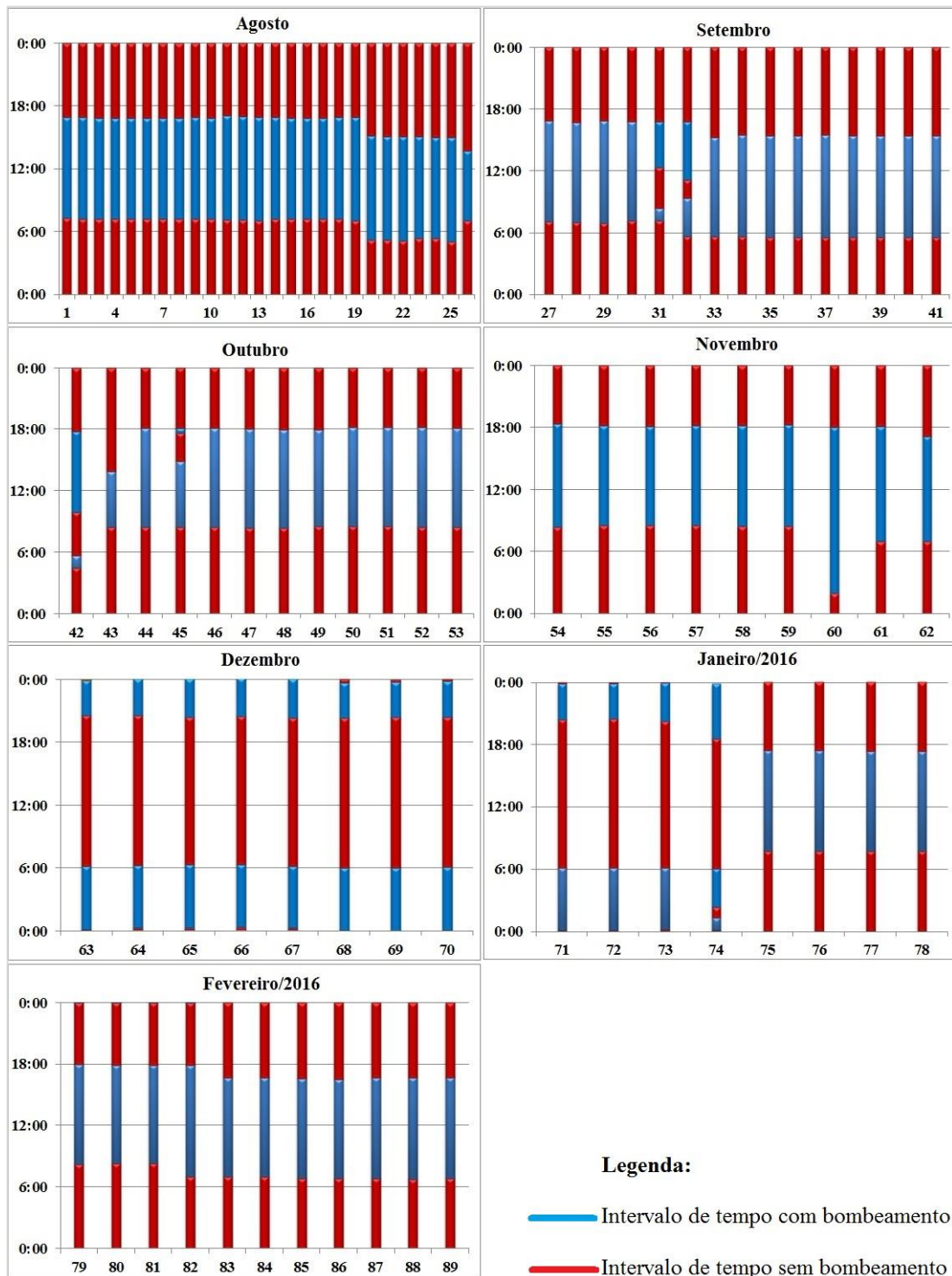


Figura 54: Intervalos de tempo com e sem bombeamento no poço CBA 26. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Na figura 54, apresentada anteriormente, foi observado que no mês de dezembro e em parte do período monitorado em janeiro ocorreu uma mudança na operação do poço, possivelmente em decorrência de alterações na demanda neste período, logo o inverso do que foi observado nos demais meses ocorreu, sendo o período de bombeamento realizado de forma descontínua. Após este intervalo de tempo a operação do mesmo segue seu comportamento habitual. Neste poço é possível observar uma influência menor da demanda, sendo que na maior parte do tempo a bomba parece ser comanda apenas pelo Timer, no entanto, de forma pontual, é possível observar variações no comportamento, causadas possivelmente pelas demandas do reservatório, contudo, estas ocorrem dentro do período permitido pelo Timer.

Ao contrário do que foi observado no tempo de bombeamento, na totalidade do período monitorado, a vazão se manteve acima do projetado, como pode ser observado na figura 55, em média a vazão ultrapassada foi de 2,41 m³/h, com um desvio em relação a este valor de 0,72 m³/h. Desta forma, em média a vazão é de 12,41 m³/h, com um desvio em relação a este valor de 0,72 m³/h, sendo a maior vazão registrada de 14,32 m³/h e o menor de 10,94 m³/h.

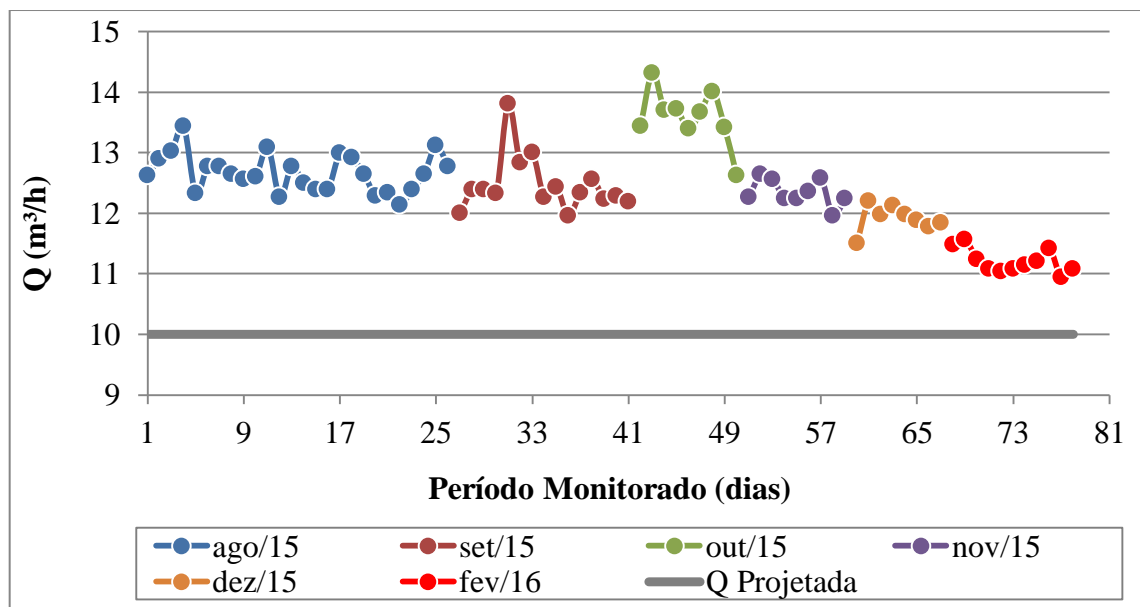


Figura 55: Valores de vazão registradas no poço CBA 26.

Em decorrência de a vazão estar acima do projetado, o volume explotado, na maior parte do período monitorado, foi superior ao estipulado em projeto (Figura 56), em média o volume ultrapassado é de 25,25 m³, com um desvio em relação a este valor de 11,26 m³. Logo, em média o volume explotado é de 124,72 m³, com um desvio de 12,13 m³, sendo o volume máximo observado de 211,44 m³ e o mínimo 84 m³. Há certa regularidade nos valores

de volume explotado, sendo que os picos de reduções e elevação dos valores de volume estão associados às variações nos tempos de bombeamento.

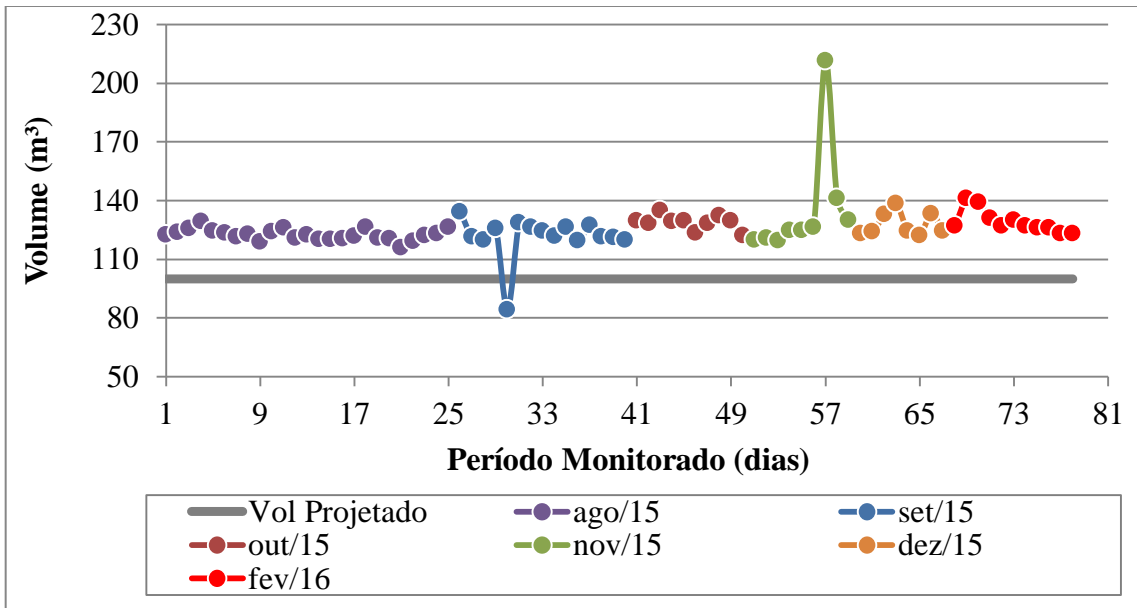


Figura 56: Valores de volume de água registrados no poço CBA 26.

Os níveis máximos monitorados nesse poço estão apresentados na figura 57, e mesmo neste período o poço explotando volumes de água acima do projetado, o nível de água durante o bombeamento ficou acima do ND de projetado. Nos meses de agosto e setembro os níveis máximos observados praticamente não variaram, devido a pouca variação da vazão bombeada.

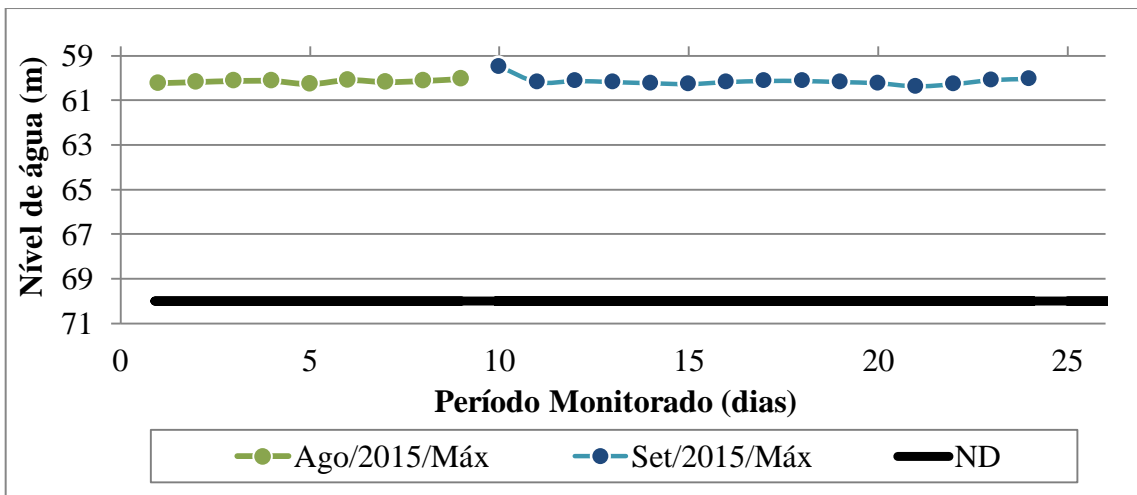


Figura 57: Valores dos níveis máximos de água no poço CBA 26.

6.4.1.5 POÇO CBA 34

O tempo de bombeamento neste poço, em cerca de 96% do período monitorado, se encontra dentro do tempo projetado, como pode ser visualizado na figura 58. Desta forma, em média o tempo de bombeamento é de 10:54 h, com um desvio em relação a este valor de 1:52 h, sendo o máximo observado de 17:18 h e o mínimo de 4:11 h. Já o tempo ultrapassado em média foi de 1:18 h, com um desvio em relação a este valor de 1:07 h.

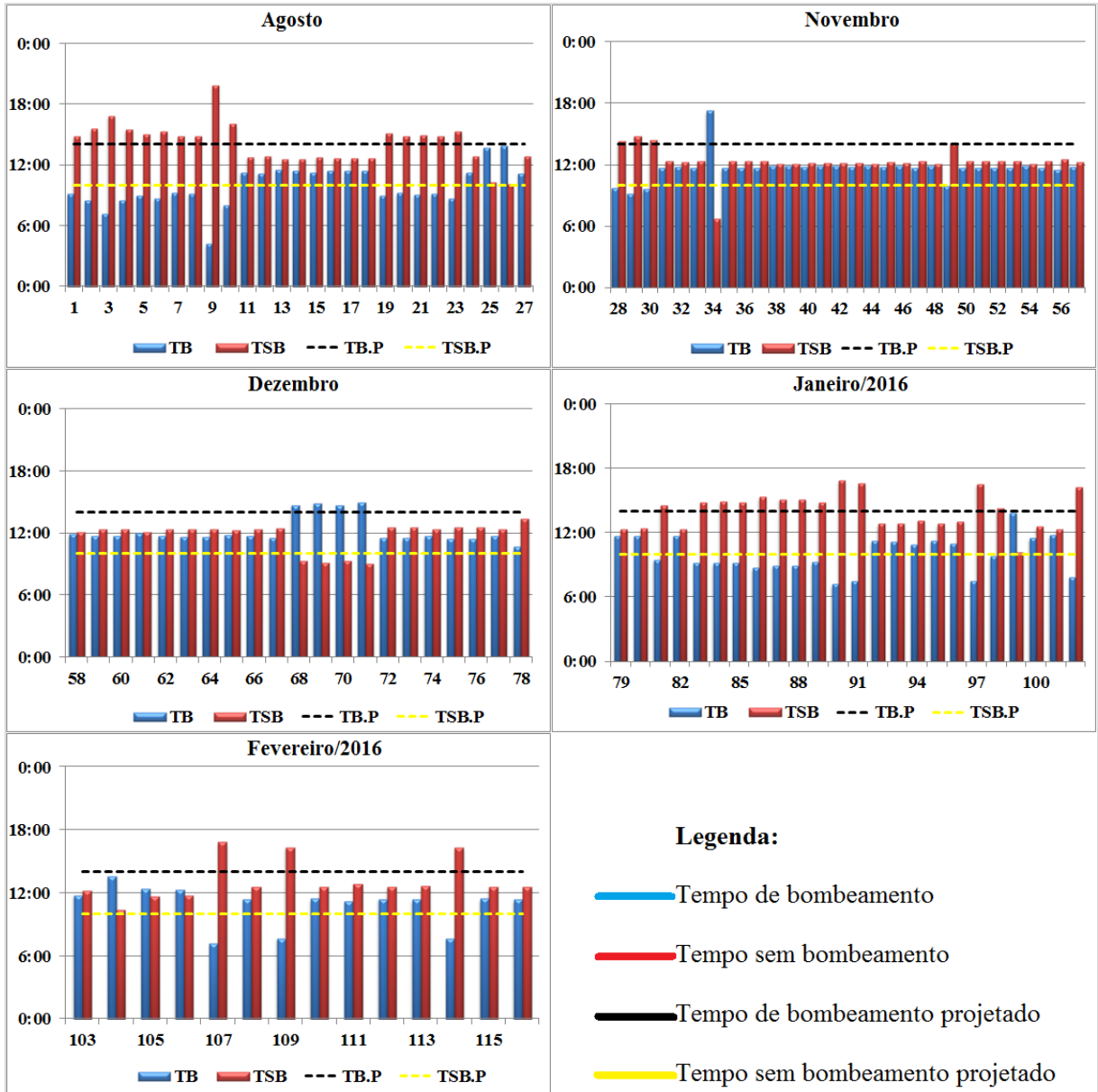


Figura 58: Tempo de bombeamento sem bombeamento no poço CBA 34. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

O tempo sem bombeamento não ocorre de forma contínua, sendo dividido em intervalos, no mínimo dois, conforme pode ser observado na figura 59. Neste poço, possivelmente o Timer não foi desligado, pois na maior parte do tempo o mesmo está

operando dentro do projetado, isso justifica a certa regularidade existente na operação do poço e as variações no comportamento dos tempos de bombeamento e sem bombeamento são originados pelas demandas do reservatório.

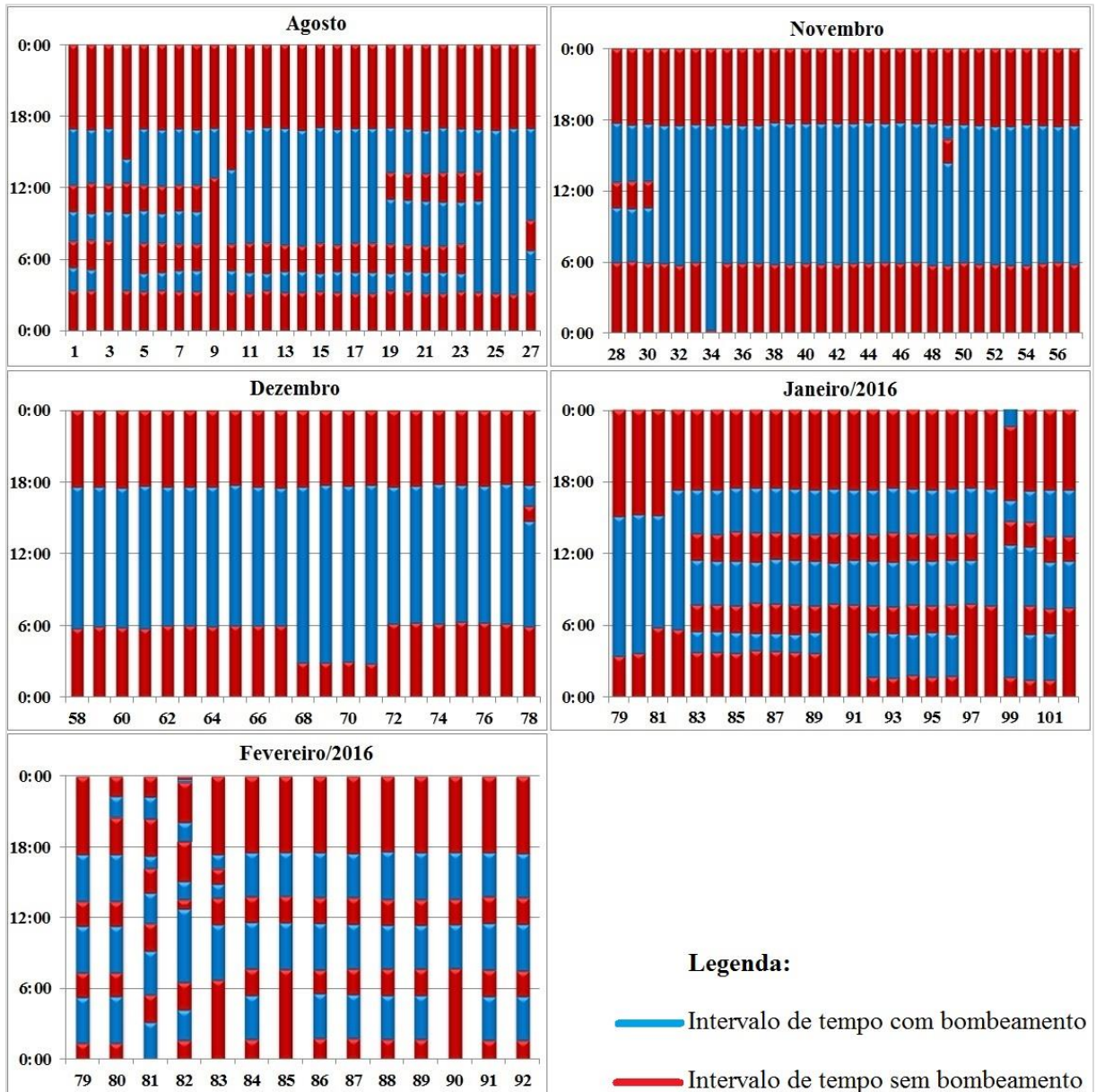


Figura 59: Intervalos de tempo com e sem bombeamento no poço CBA 34. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Em cerca de 73% do período monitorado a vazão se manteve acima do valor de projeto, conforme apresentado na figura 60, onde é possível observar também que os valores de vazão operados estão aumentando com o tempo. Desta forma, em média a vazão bombeada neste poço é de $16,34 \text{ m}^3/\text{h}$, com um desvio em relação a este valor de $1,78 \text{ m}^3/\text{h}$, sendo o maior vazão registrada de $19,6 \text{ m}^3/\text{h}$ e o menor de $12,43 \text{ m}^3/\text{h}$. Os valores de vazão

ultrapassados, em relação ao definido em projeto, foi em média de 2,35 m³/h, com um desvio em relação a este valor de 0,61 m³/h.

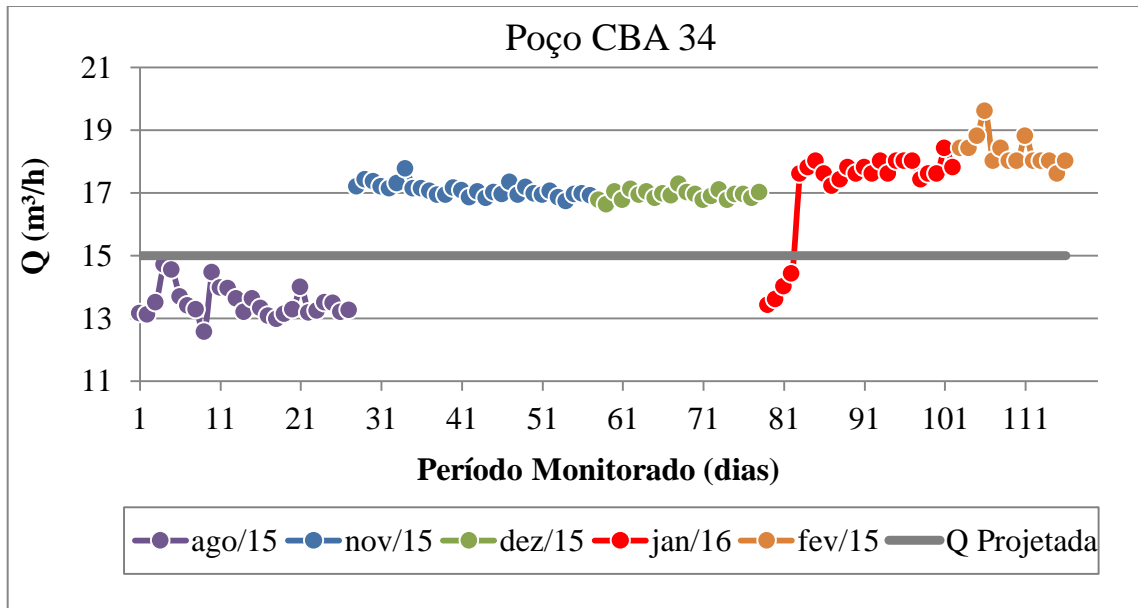


Figura 60: Valores de vazão registradas no poço CBA 34.

Com a vazão bombeada acima do projetado em grande parte do tempo monitorado, o volume explotado ficou, por vezes, acima do previsto em projeto, em cerca de 19% do período monitorado (Figura 61). No entanto, o parâmetro de volume também é influenciado pelo tempo de bombeamento e este se manteve, na maior parte do tempo, dentro dos valores projetados. Logo, em média, o volume explotado foi de 183,22 m³, com um desvio em relação a este valor de 42,22 m³, sendo o máximo valor registrado de 316,7 m³ e o menor de 49,8 m³. Dos valores ultrapassados, estes em média foram de 25,23 m³, com um desvio em relação a este valor de 24,69 m³, evidenciando a grande variação dos mesmos.

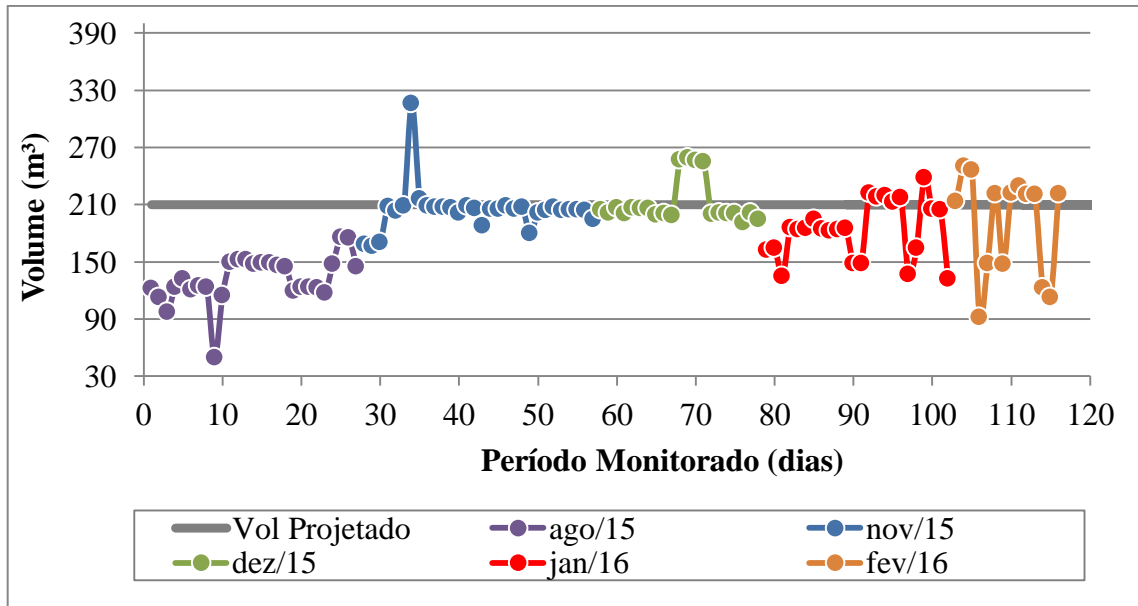


Figura 61: Valores de volume de água registrados no poço CBA 34.

Neste poço há monitoramento dos níveis máximos de água somente para os últimos três meses monitorados nos parâmetros anteriores, conforme pode ser visualizado na figura 62. Mesmo o poço explotando volumes de água acima do projetado, o nível de água durante o bombeamento ficaram acima do ND de projeto. A estabilidade observada no comportamento dos níveis de água, frente à variação dos volumes explotados está relacionada a pouca variação dos valores de vazão, sendo necessária uma significativa variação da mesma para ser possível notar algum reflexo nos valores de níveis de água máximos, conforme pode ser observado no início do mês de janeiro, o qual é coerente com a redução brusca da vazão neste período. O comportamento dos níveis de água verificado no gráfico da figura 62, foram coerentes aos observados em campo, sendo que durante as aferições, os maiores valores de níveis de água no período de bombeamento ficaram situados entre 33,79 e 48,82 metros.

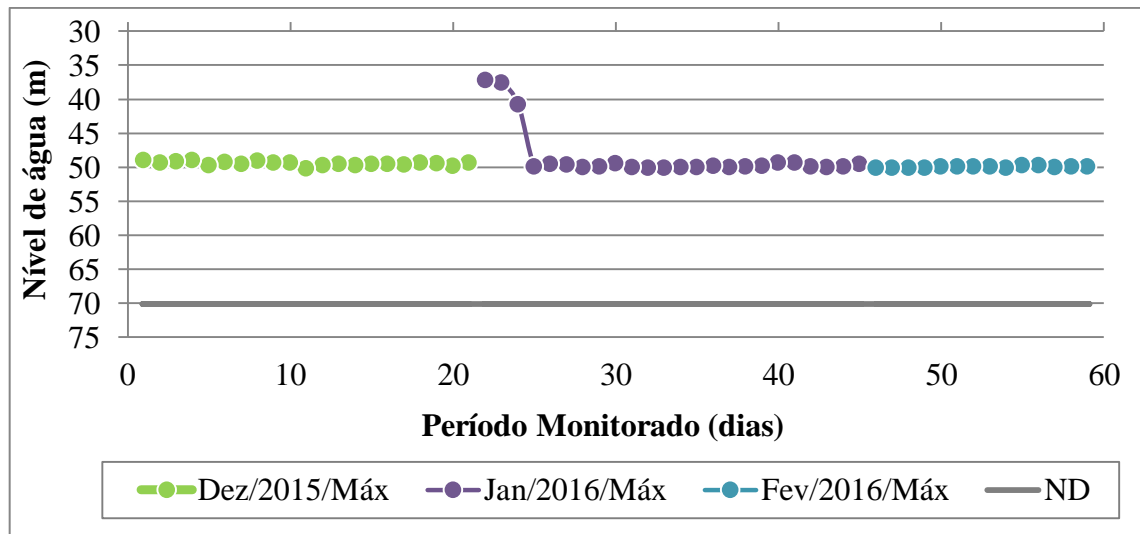


Figura 62: Valores dos níveis máximos de água no poço CBA 34.

Foi observado uma dificuldade de recuperação do nível de água para o NE no poço CBA 3A, que não pode ser considerada como perda da capacidade de produção do mesmo, devido ao pouco tempo sem bombeamento existente para a recuperação, inviabilizando este tipo de análise. No entanto, além do teste realizado no poço CBA 34, novos testes de bombeamento foram realizados em outros dois poços, que fazem parte deste grupo responsável pelo abastecimento do reservatório R1, porém não foram analisados neste trabalho. Um foi realizado em 2014 e outro em 2016, os quais, assim como no poço CBA 34 também demonstraram uma grande perda na recuperação do nível de água, sendo que o NE passou de 0,13 m (em 1990) para 11,55 m (em 2014) em um desses poços. O segundo teste é de um poço que foi perfurado ao lado do poço CBA 4 A, logo a captação de água neste poço é do mesmo sistema de fraturas. O NE no poço CBA 4 A é de 44,84 m (em 2007) e mesmo este poço estando a cerca de um ano e três meses parado o NE do novo poço perfurado foi para 61,68m (em 2016).

Logo, temos um conjunto de cinco poços, dos quais dois, na maior parte do tempo, estão explotando valores de volume acima do projetado, com tempos sem bombeamento operados de forma descontínua, inviabilizando uma análise realista da recuperação do nível de água no mesmo, o qual já foi comprovadamente modificado em 3 dos poços utilizados para abastecimento do reservatório R1. Todos esses fatores foram originados, porque a operação desses poços é comandada pela demanda ao invés de serem geridas levando em consideração as limitações hidrogeológicas dos poços.

6.4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DOS POÇOS QUE ABASTECEM O RESERVATÓRIO R1 ANTES E APÓS A DESATIVAÇÃO DO POÇO CBA 4A

O poço CBA 3 A é o que possui a maior capacidade de produção do conjunto de 9 poços responsáveis pelo abastecimento do reservatório R1, no entanto, o poço CBA 4A, o segundo mais produtivo, foi desativado em setembro de 2014, por causa de problemas estruturais e o reservatório passou a contar com apenas 8 poços para o seu abastecimento. A influência da ausência deste poço na operação dos poços analisados que abastecem o R1, por se tratar de um longo período, só pode ser comprovada analisando o comportamento dos valores de volume explotado antes da desativação do mesmo. Desta forma, na figura 63, é possível observar o comportamento dos valores de volume de água médio mensal dos poços antes e durante a ausência do poço CBA 4A, monitorados pela CORSAN antes e durante o funcionamento do SIGAS.

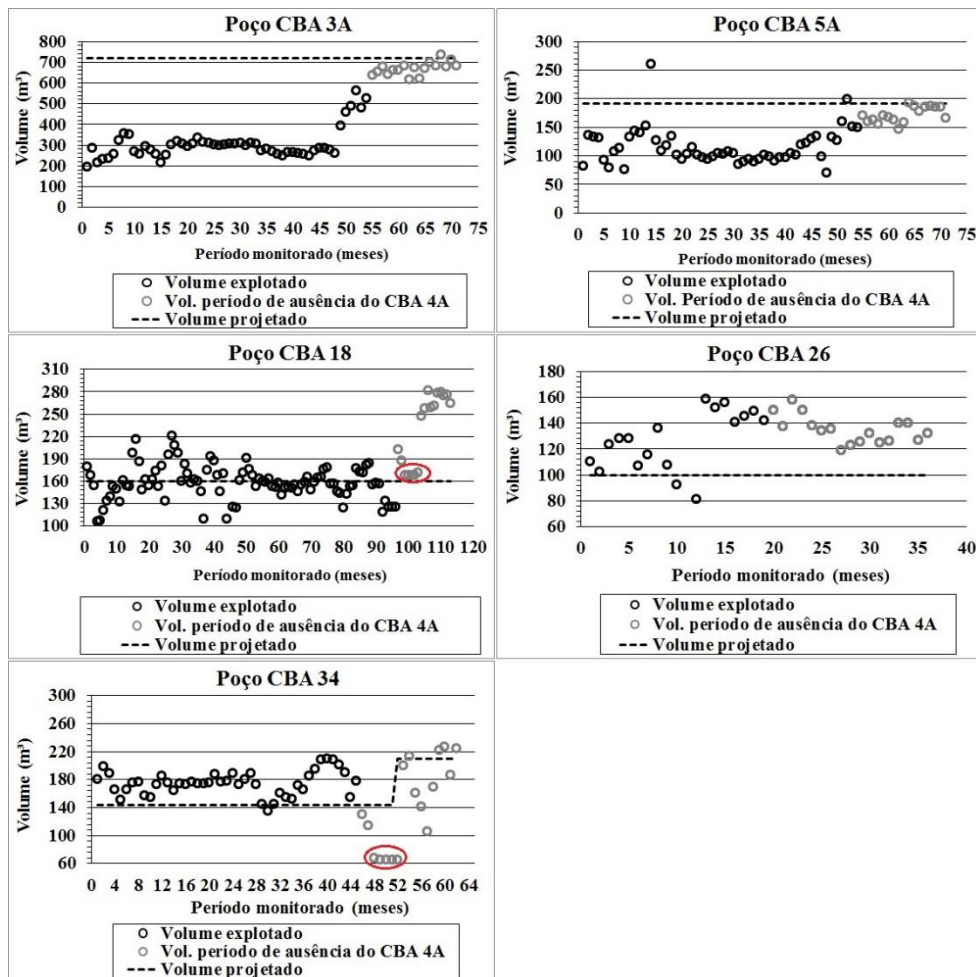


Figura 63: Valores mensais de volume de água nos poços CBA 3 A, 5 A, 18, 26 e 34 coletados pela CORSAN. Obs: a variação do volume projetado no gráfico do poço CBA 34 e devido ao novo projeto realizado em março de 2015.

Constatou-se que nos poços CBA 3 A e 5 A já estavam demonstrando uma tendência de aumento dos valores de volume explotados. Logo, a falta do poço CBA 4 A, influenciou sim

na operação desses dois poços, contudo, a mesma só intensificou uma tendência de aumento que já estava ocorrendo anteriormente. No poço CBA 18, a ausência do poço CBA 4 A foi mais significativa, provocando um aumento expressivo do volume de água explorado em relação ao comumente operado neste poço. Nos poços CBA 26 e 34, o aumento do volume de água explorado, em função da ausência do poço CBA 4 A, foi mais sutil, comparado ao poço CBA 18, sendo que no poço CBA 34 pode está relacionada à alteração dos dados de projeto. Nos poços CBA 18 e 34, no período indicado pelo círculo vermelho, em ambos os poços, a CORSAN utilizou o método volumétrico para o monitoramento da vazão, possivelmente devido ausência do hidrômetro, logo o volume foi calculado a partir desses valores de vazão. Contudo este método não consegue monitorar, de forma satisfatória, a variação deste parâmetro e nos dois poços originou valores inferiores aos comumente monitorados pelo hidrômetro no período de ausência do poço CBA 4 A.

6.4.3 POÇOS ANALISADOS NO RESERVATÓRIO R2

Os poços CBA 9, 11 e 12 abastecem juntamente com outro poço o reservatório R2 que é o segundo principal reservatório do município, possuindo cerca de 20% da capacidade de armazenamento do mesmo, sendo responsável também pelo abastecimento do R4, o qual possui cerca de 3% da capacidade de armazenamento do município.

6.4.3.1 POÇO CBA 9

O tempo de bombeamento no poço CBA 9, em 42,57% do tempo monitorado, se encontra abaixo do projetado, conforme pode ser visualizado na figura 64, sendo que em somente 3 dias o tempo de bombeamento coincidiu com o valor máximo estipulado em projeto.

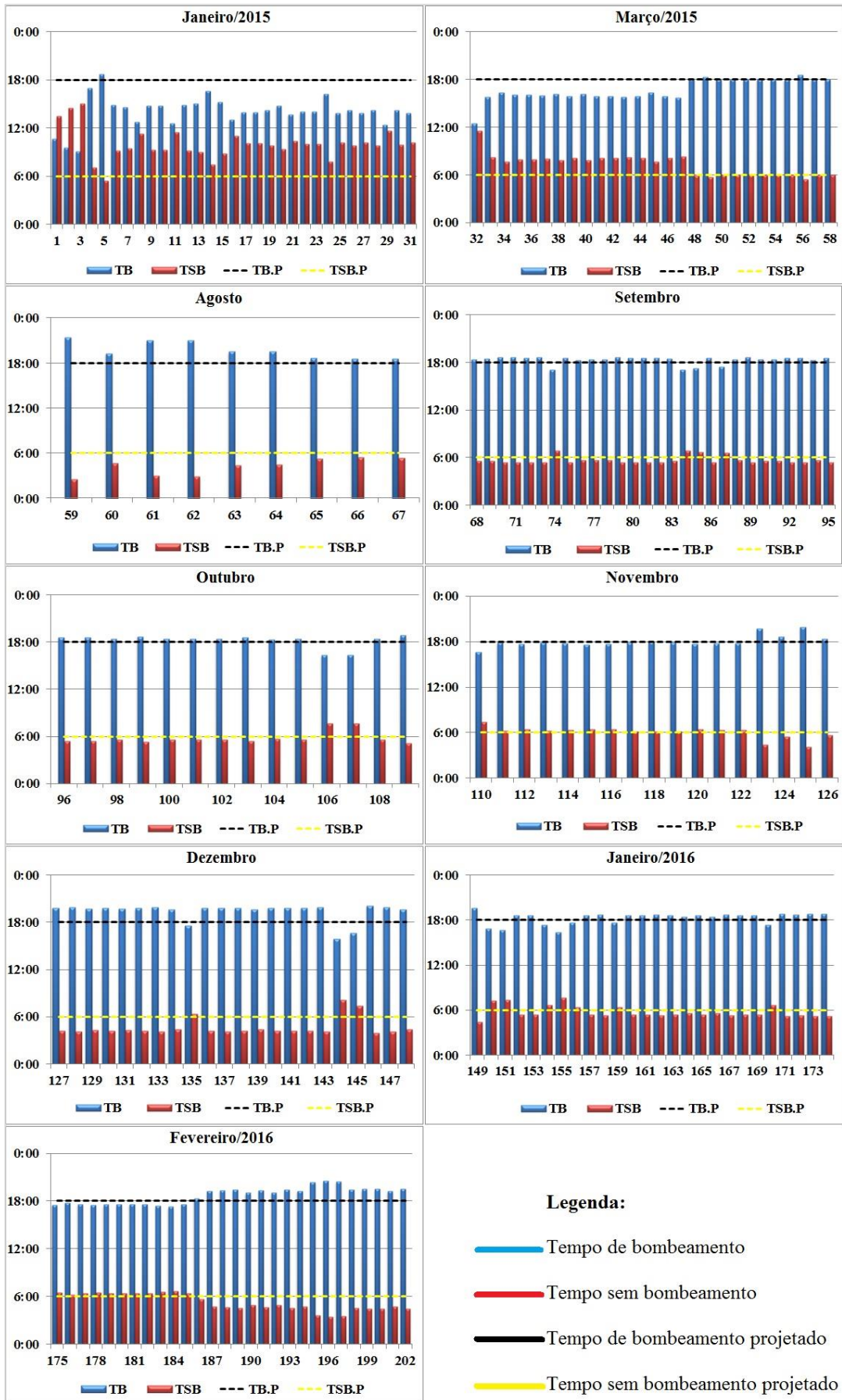


Figura 64: Tempo de bombeamento e sem bombeamento no poço CBA 9. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Do percentual de tempo em que o poço opera acima do valor projetado (55,94%), em média o valor de tempo excedido é de 1:00 h, com um desvio em relação a este valor de 42 minutos. No período monitorado, o tempo de bombeamento em média, foi de 17:38 h, ou seja, abaixo do valor projetado, sendo que o desvio em torno deste valor foi de 2:04 h, os valores de bombeamento máximo e mínimos registrados foram de 21:26h e 9:01 h respectivamente.

O tempo de bombeamento e sem bombeamento operados neste poço, na maior parte do tempo, não ocorre de forma contínua e sim de forma intervalada (Figura 65). Com exceção do mês de janeiro de 2015, nota-se certa regularidade dentro de cada mês. O comportamento dos intervalos de bombeamento e sem bombeamento, de forma geral, é semelhante entre os meses, por vezes, ocorrem mudanças nesse comportamento às quais possivelmente estejam relacionadas a variações nas demandas do reservatório.

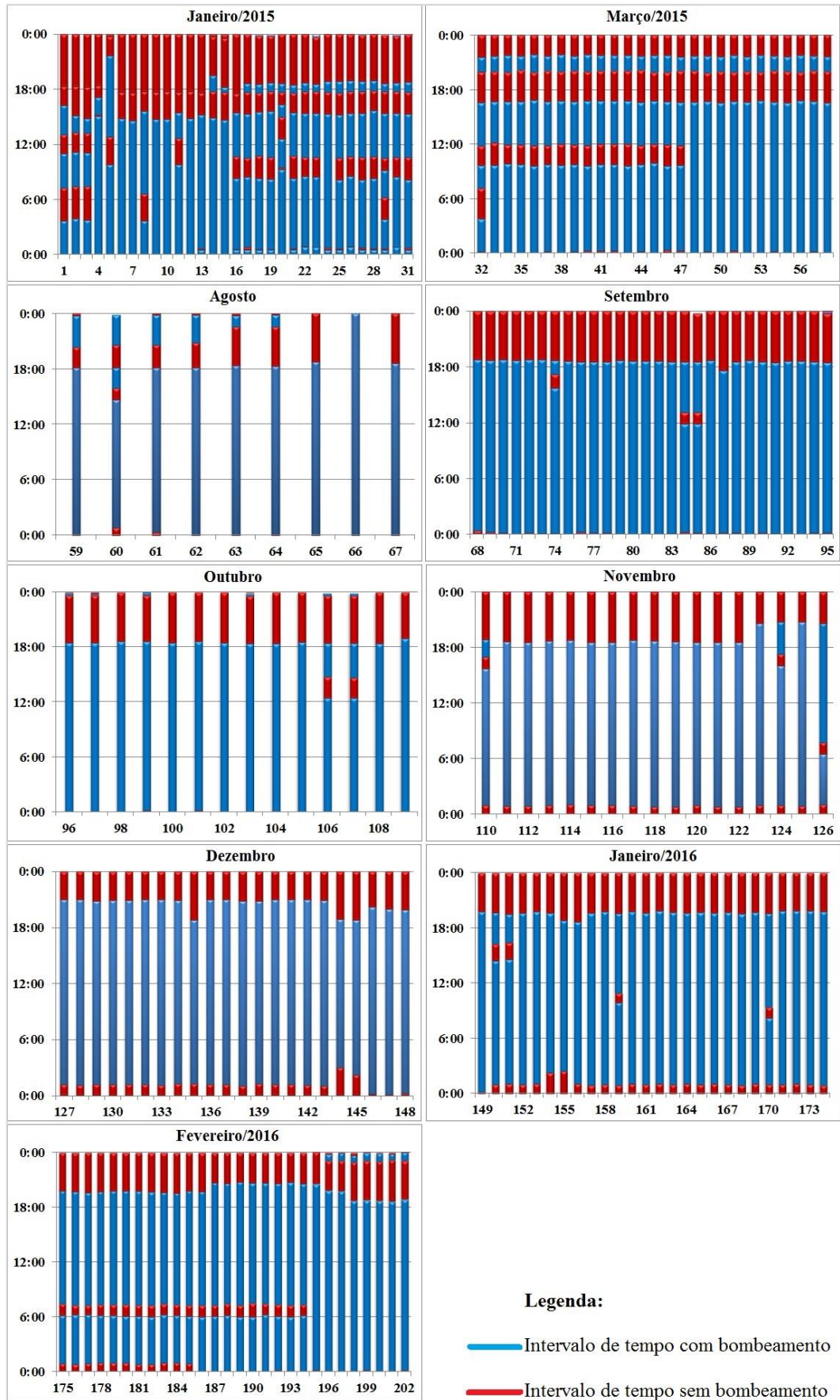


Figura 65: Intervalos de tempo com e sem bombeamento no poço CBA 9. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Os valores de vazão deste poço tiveram um comportamento regular, com pouca variação, conforme pode ser visualizado na figura 66. Em média os valores de mediana registrados foram de 13,4 m³/h, sendo a maior vazão registrada, no período analisado, de 15,6 m³/h e a menor de 12 m³/h, sendo que em todo o período analisado a vazão se manteve abaixo da projetada, atingindo no máximo cerca de 50% da mesma.

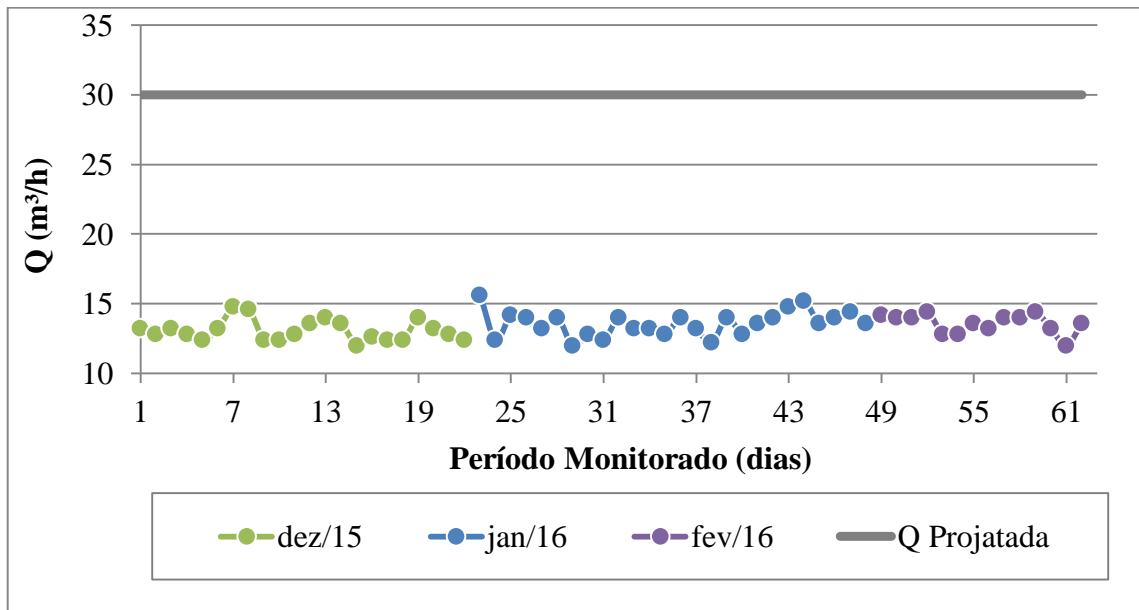


Figura 66: Valores de vazão registradas no poço CBA 9.

Os dados de volume de água estão também abaixo do projetado para o período monitorado, conforme pode ser visualizado na figura 67.

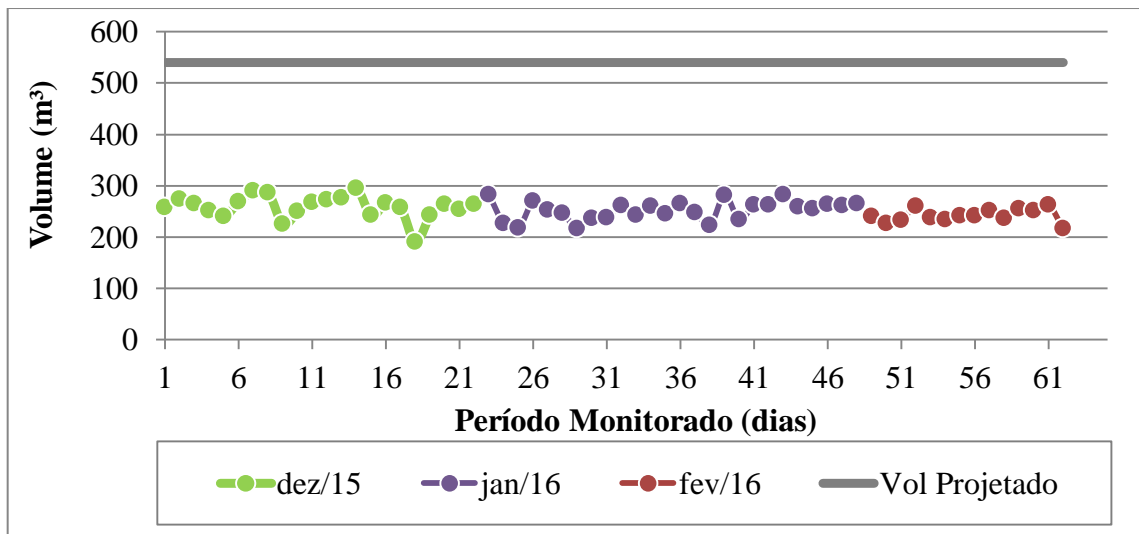


Figura 67: Valores de volume de água registrados no poço CBA 9.

O comportamento do volume apresentado na figura 67 é coerente com os dados de vazão. Em média o volume foi de 252,05 m³, com um desvio em relação a este valor de 20,08

m³, sendo o máximo valor registrado de 294,8 m³ e o mínimo de 189,6 m³ ambos no mês de dezembro.

Os níveis de água máximos e mínimos registrados neste poço não ultrapassaram os valores projetados (Figura 68). Tal comportamento é coerente com o comportamento dos demais parâmetros analisados que se mantiveram abaixo do projetado, com exceção do tempo de bombeamento.

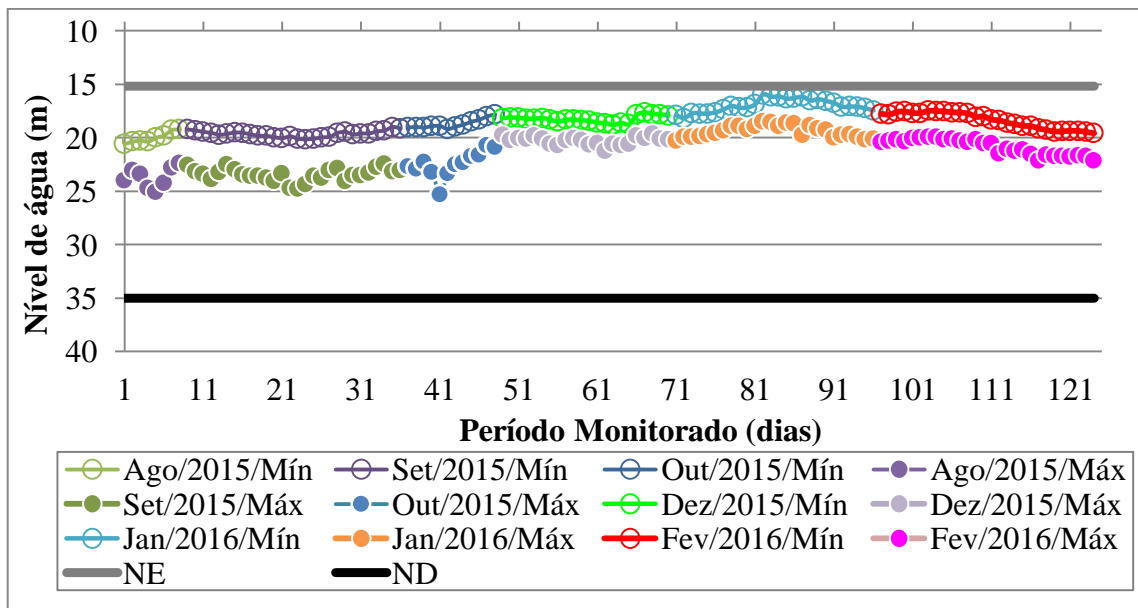


Figura 68: Valores dos níveis máximos e mínimos de água no poço CBA 9.

Os três últimos meses, os quais possuem dados de volume e vazão, é possível analisar melhor o comportamento das variações dos níveis de água. Nesses meses a vazão se manteve abaixo do projetado e com um comportamento pouco variável, logo a dificuldade de retorno do nível de água para o nível estático de projeto, pode estar associado ao tempo de bombeamento, que em cerca de 73% desses 3 meses, se mantiveram acima do projetado, outro fator é o tempo sem bombeamento que ocorre de maneira descontínua. Contudo, nota-se que no mês de janeiro de 2016 o nível de água registrado quase atingiu o nível estático, neste mês, por vezes, o tempo de bombeamento projetado foi ultrapassado, no entanto, em relação a dezembro e fevereiro de 2016 foi o que apresentou os menores valores excedidos.

Como não há informação de vazão e volume para os meses que antecedem o mês de dezembro, não há como discutir de forma mais aprofundada a variação do nível de água neste período. No entanto, é possível notar que neste período os níveis máximos de água não ultrapassaram o ND de projeto assim como os mínimos não retornaram ao NE.

6.4.3.2 POÇO CBA 11

O tempo de bombeamento operado neste poço, em 72% do tempo, se encontra abaixo do projetado, conforme figura 69.

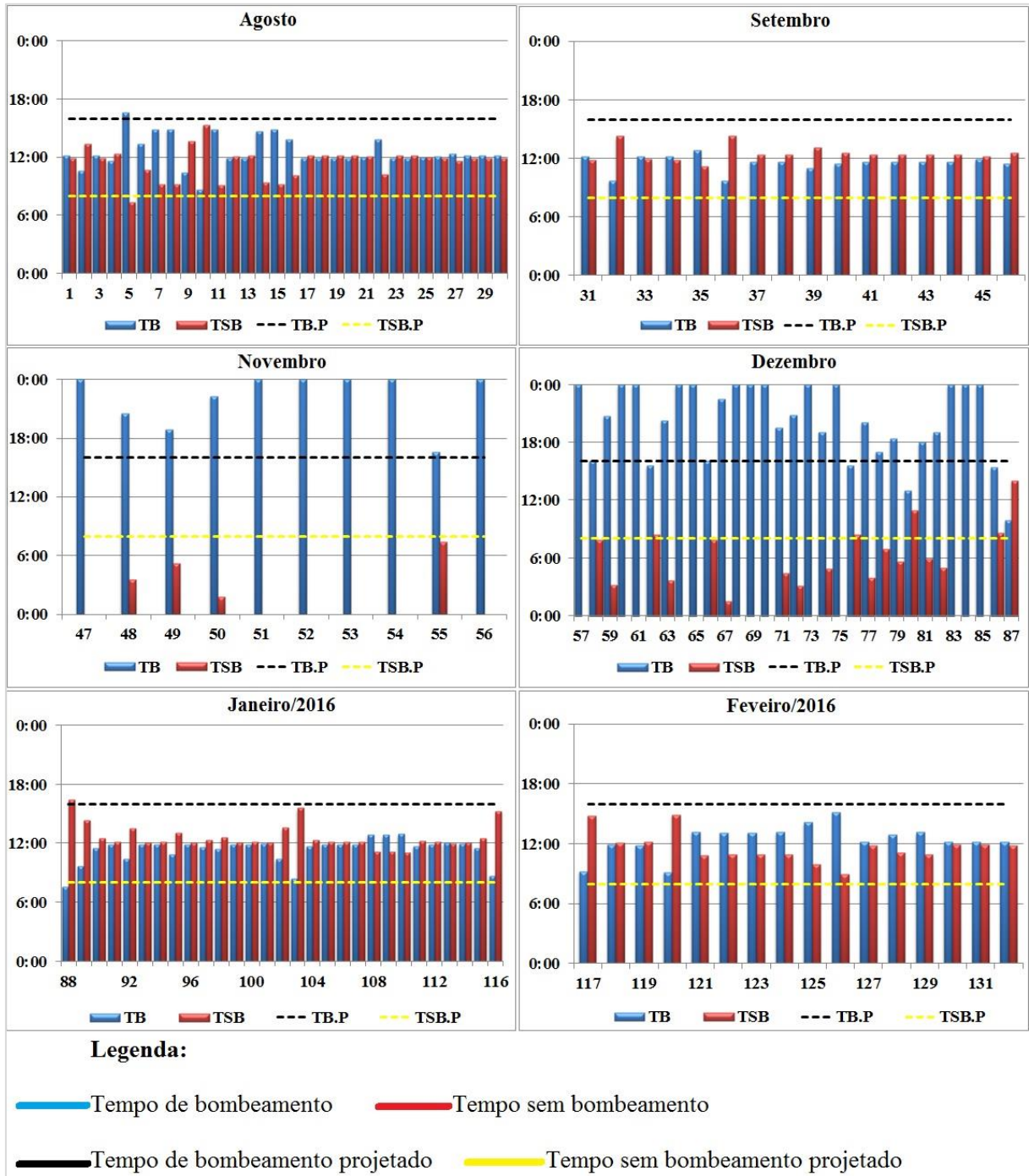


Figura 69: Tempo de bombeamento e sem bombeamento no poço CBA 11. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Em média o tempo de bombeamento ultrapassado é de 5:34 h, com um desvio em relação a este valor de 2:54 h e ocorreram, quase que exclusivamente, nos meses de novembro e dezembro. Desta forma, em média o tempo de bombeamento foi de 14:40 h, ou seja, abaixo

do projetado, no entanto, o desvio em torno deste valor foi alto de 4:44 h, sendo o máximo valor observado de 24:00 h e o menor 7:35 h.

Na figura 70 é possível observar que o tempo sem bombeamento não ocorre de maneira contínua neste poço, no entanto, de forma geral o período de bombeamento sim.

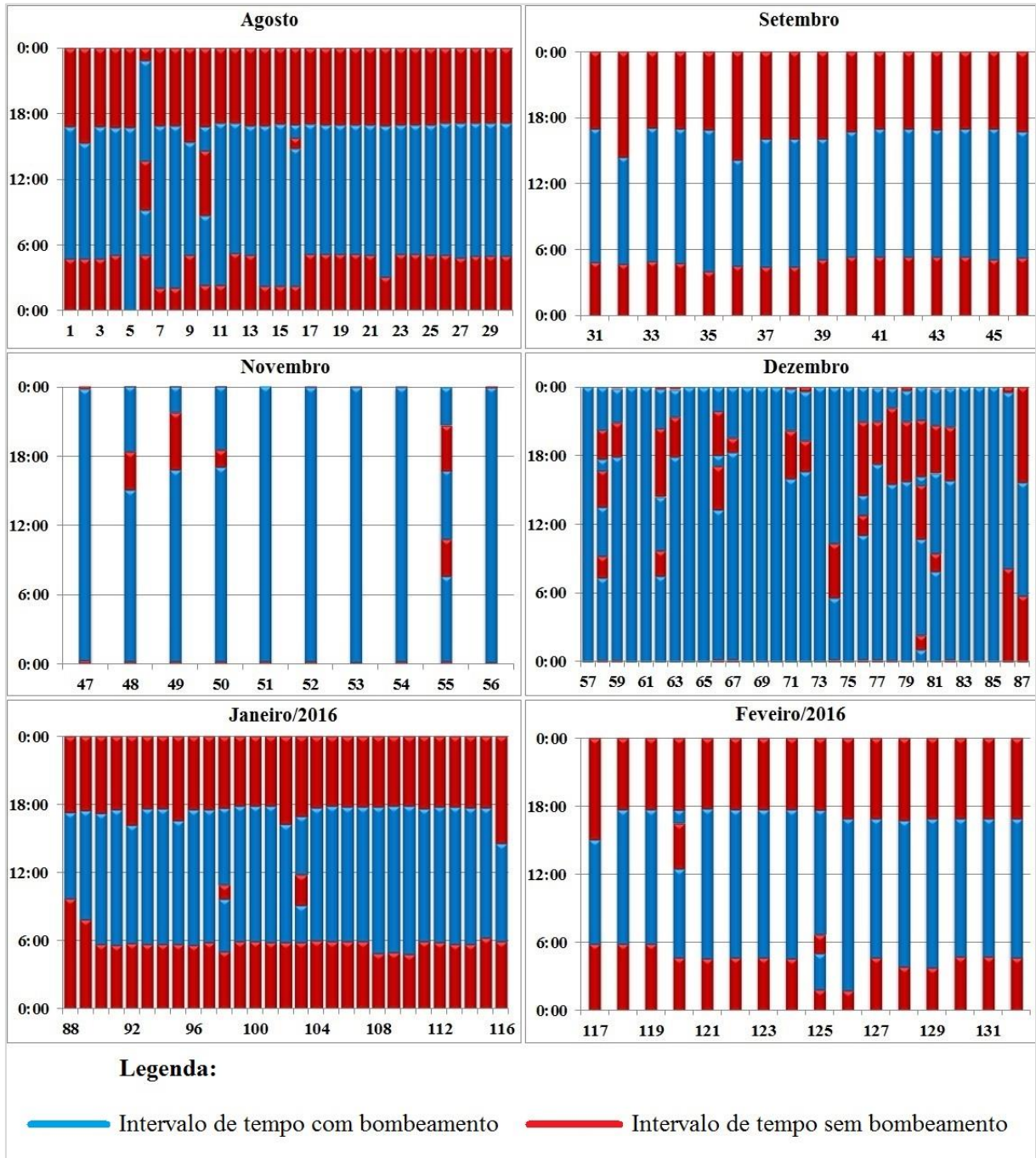


Figura 70: Intervalos de tempo com e sem bombeamento no poço CBA 11. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

O comportamento da operação do poço é semelhante, apresentando uma certa regularidade (Figura 70), o que sugere que na maior parte do tempo o mesmo não opera em função da demanda. Porém, nota-se que nos meses de novembro e dezembro a operação do

poço difere em relação aos demais meses, não apresentando nenhuma regularidade, isso ocorreu devido à ausência do poço CBA 10, que permaneceu parado nesse período. Assim essa alteração verificada nesses meses foi ocasionada pela necessidade de alterar o regime de bombeamento para continuar atendendo a demanda.

Em relação à vazão, no período em que ela foi monitorada, a mesma permaneceu menor que a projetada e com pouca variação (Figura 71). Sendo que em média a mesma foi de 22,13 m³/h, com um desvio em relação a este valor de 0,36 m³/h, atingindo o valor máximo de 23,6 m³/h e o mínimo de 21,2 m³/h.

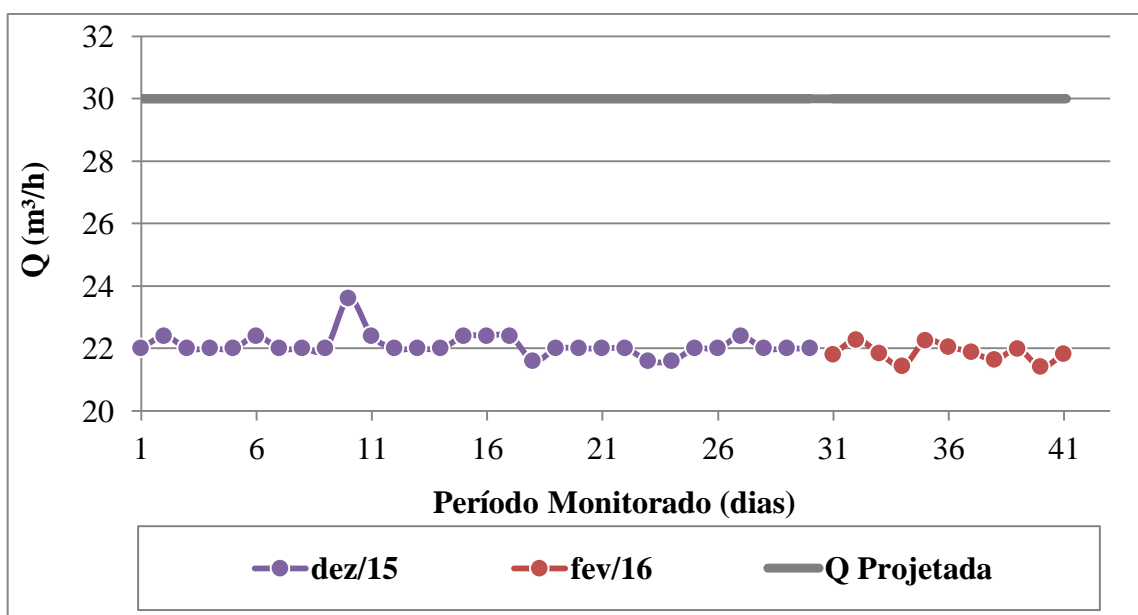


Figura 71: Valores de vazão registradas no poço CBA 11.

Como no mês de dezembro o poço 11 foi bombeado por um período de tempo mais prolongado para suprir a ausência do poço CBA 10, o volume explorado neste mês foi superior ao estipulado em projeto, conforme apresentado na figura 72, sendo que em média o volume ultrapassado foi de 44,33 m³, com um desvio em relação a este valor de 17,26 m³. Contudo, em médio o volume de água explorado ficou abaixo do projetado, sendo de 412,81 m³, com um desvio em torno deste valor de 103,68 m³ devido ao comportamento variável.

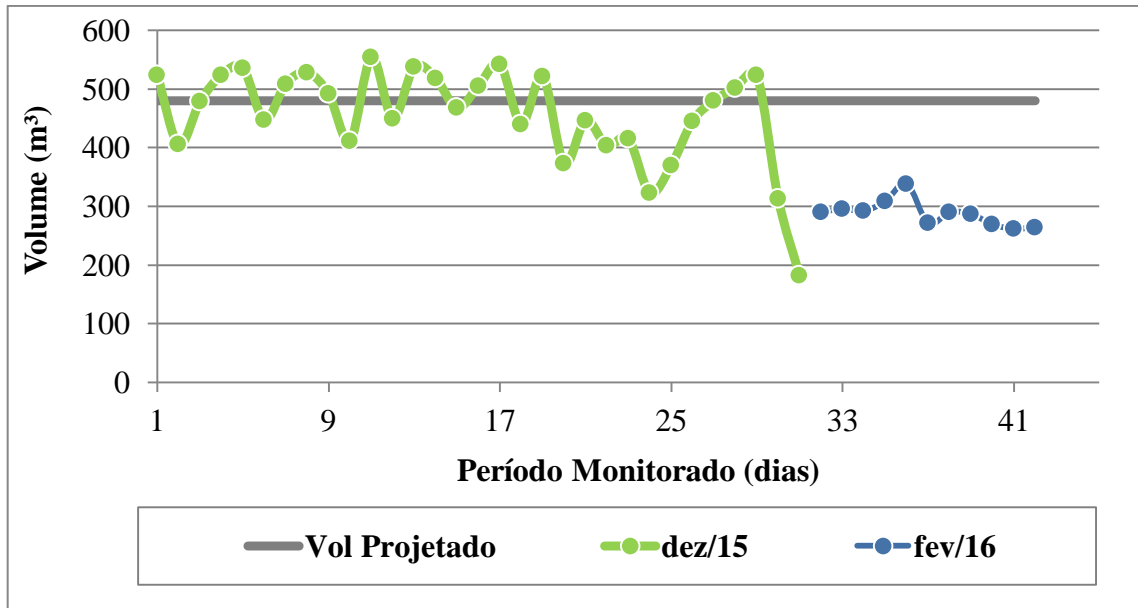


Figura 72: Valores de volume de água registradas no poço CBA 11.

Neste poço só foi possível à análise dos níveis máximos de água, como pode se observar na figura 73, os mesmos não ultrapassaram o nível dinâmico de projeto. O comportamento dos níveis máximos de água no poço CBA 11 é regular e pouco variável, no entanto nos meses de novembro e dezembro foi observado um leve e gradual rebaixamento do mesmo, possivelmente originado pelo aumento no tempo de bombeamento neste período. A estabilidade observada no comportamento dos níveis máximos, possivelmente é em virtude da pouca variação da vazão bombeada neste poço.

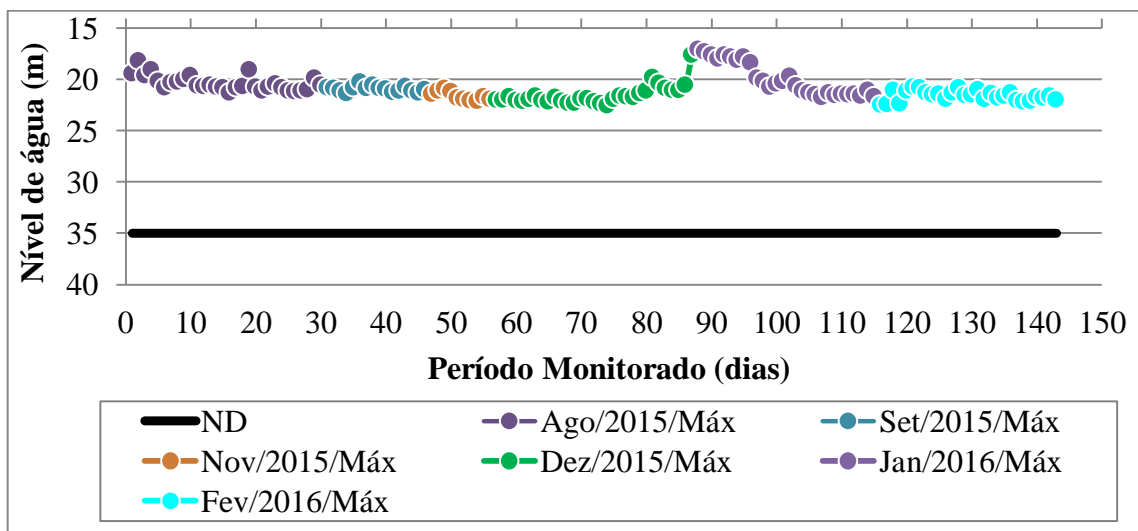


Figura 73: Valores dos níveis máximos de água no poço CBA 11.

6.4.3.3 POÇO CBA 12

O tempo de bombeamento neste poço, em 85% do tempo, se encontra acima do definido em projeto (Figura 74), sendo que em média o valor ultrapassado é de 3:31 h, com

um desvio em relação a este valor de 41 minutos. Desta forma, em média o tempo de bombeamento operado é de 14:27 h, com um desvio em relação a este valor de 2:43 h, sendo o máximo valor registrado de 16:06 h e o mínimo de 5:42 h.

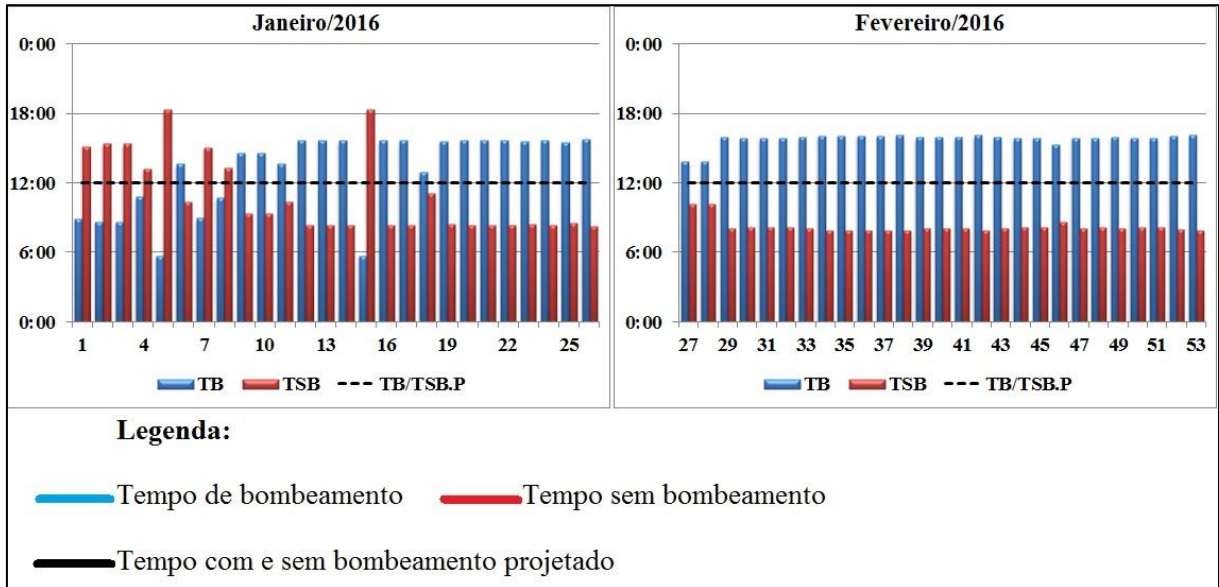


Figura 74: Tempo de bombeamento e sem bombeamento no poço CBA 12. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

Além do tempo sem bombeamento não atingir o valor projetado, o mesmo não ocorre de forma ininterrupta, podendo desta forma, prejudicar a recuperação do nível de água no poço (Figura 75). Nota-se também que há, de forma geral, uma regularidade em relação aos tempos de bombeamento e sem bombeamento operados. As ocasiões em que o comportamento desses tempos foge deste padrão estão relacionadas à influência das demandas dos reservatórios que o poço abastece.

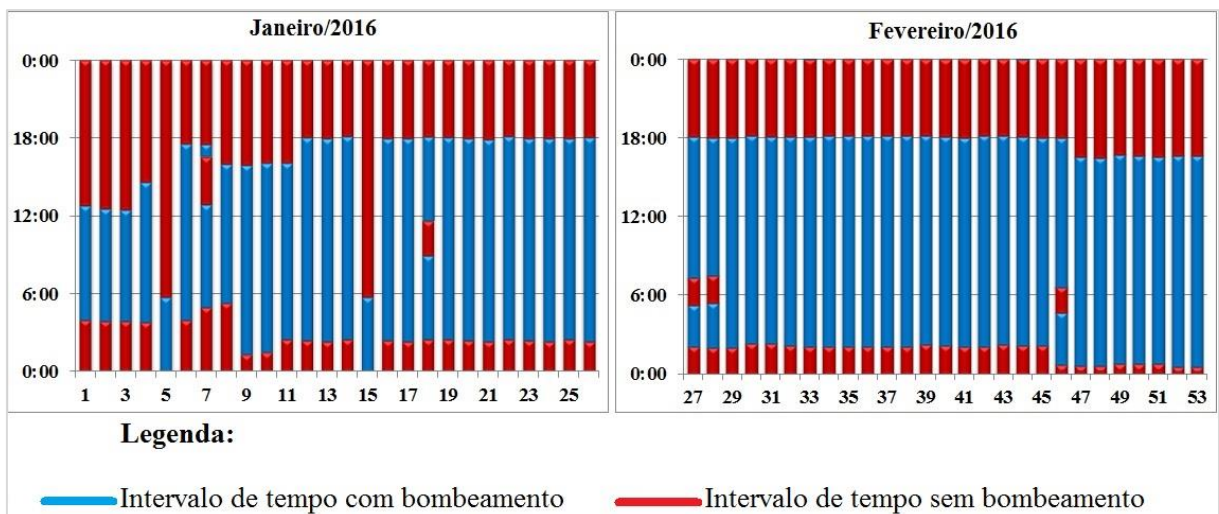


Figura 75: Intervalos de tempo com e sem bombeamento no poço CBA 12. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado

A vazão no período monitorado foi aproximadamente constante, como pode ser visualizado na figura 76, sendo que em todo o período monitorado a mesma se manteve abaixo do valor projetado. Em média a vazão registrada foi de 12,55 m³/h com um desvio em relação a este valor de 0,128 m³/h

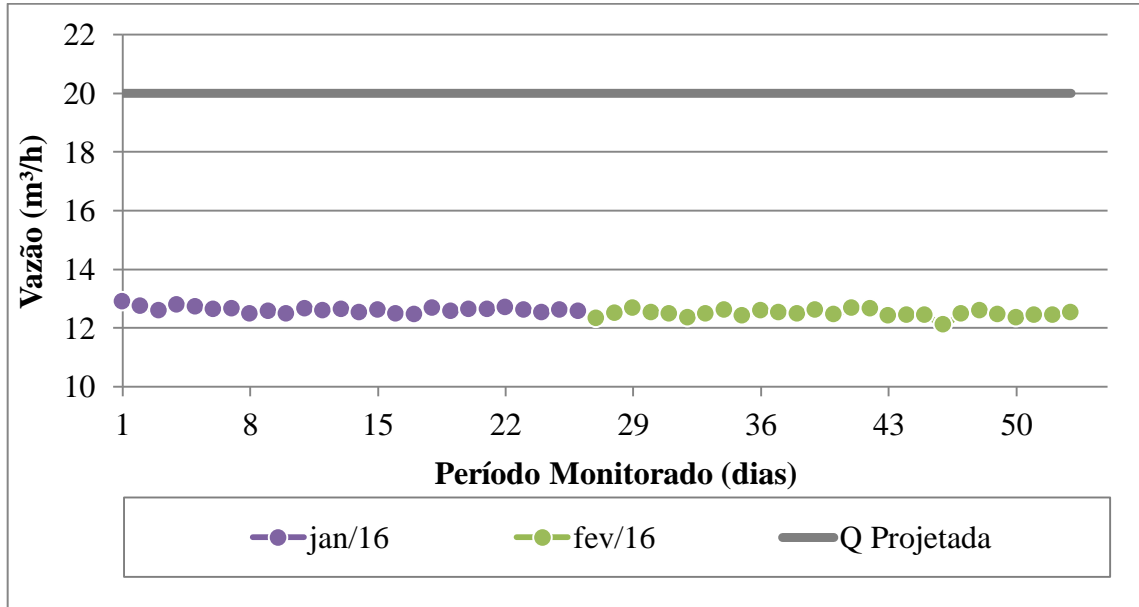


Figura 76: Valores de vazão registradas no poço CBA 12.

Como a vazão bombeada no poço foi menor que a projetada o volume explotado não ultrapassou o valor de projeto, mesmo o poço trabalhando mais tempo que o previsto (Figura 77).

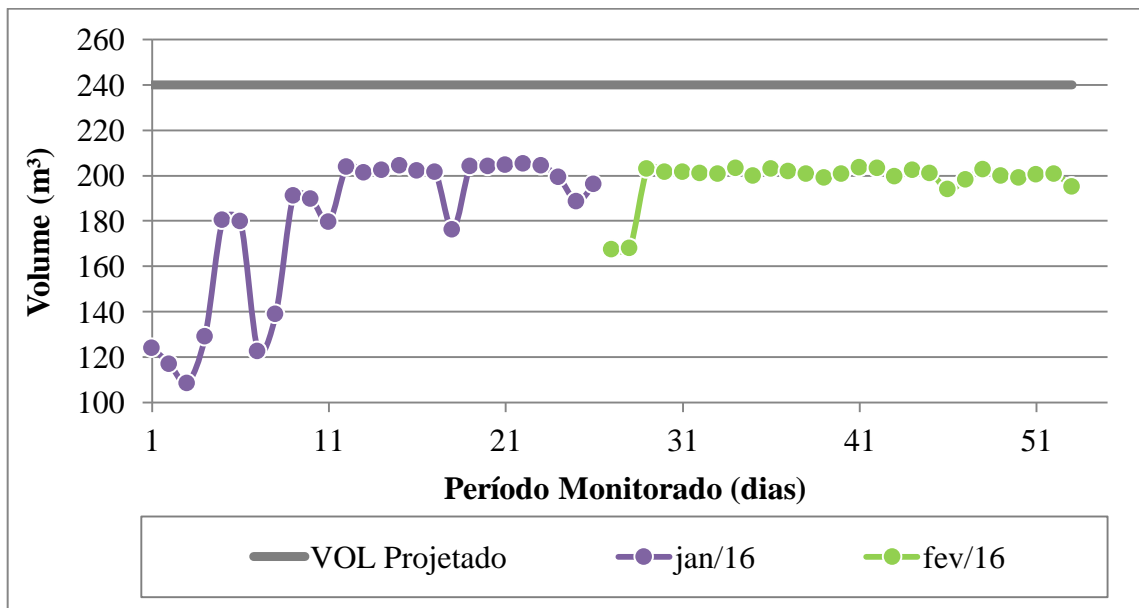


Figura 77: Valores de volume de água registrados no poço CBA 12.

Em média o volume explotado foi de 188,87 m³, com um desvio em relação a este valor de 25,48 m³, sendo o máximo valor registrado de 205,31 m³ e o mínimo 108,49 m³. A vazão

teve um comportamento praticamente estável, logo as variações ocorridas no valor de volume são em função das variações do tempo de bombeamento.

Os reflexos das operações realizadas neste período no nível de água do poço podem ser visualizados na figura 78. Nota-se claramente uma tendência de rebaixamento constante do nível da água, levando em conta que o mesmo não recupera até o nível estático e ultrapassa o nível dinâmico. Logo, mesmo o volume de água explotado neste poço estando abaixo do projetado, o nível de água segue rebaixando. Este comportamento do nível de água, pode estar relacionado ao tempo de bombeamento acima do projetado associado a um período sem bombeamento descontínuo. Outro fator que poderia contribuir para o rebaixamento deste poço é a interferência do bombeamento de outros poços no perímetro do cone de interferência.

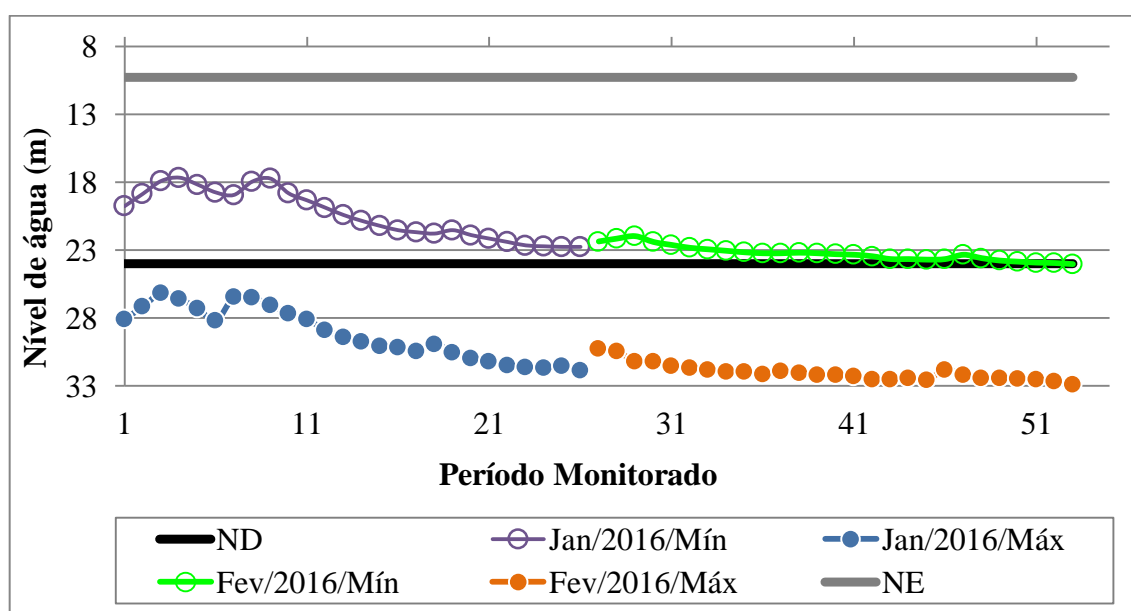


Figura 78: Valores dos níveis máximos e mínimos de água no poço CBA 12.

6.4.4 ANÁLISE COMPARATIVA DOS POÇOS QUE ABASTECEM O RESERVATÓRIO R2 ANTES E APÓS A DESATIVAÇÃO DO POÇO CBA 10

O poço CBA 10 é um dos poços responsáveis pelo abastecimento no R2, o mesmo ficou desativado nos meses de novembro e dezembro de 2015, retornando em janeiro de 2016. Este poço é o segundo mais produtivo, ficando atrás apenas do poço CBA 9, sendo que a interrupção no seu bombeamento refletiu nos demais poços. No entanto, tal constatação não pode ser feita no poço CBA 12, porque o mesmo não foi monitorado neste período de ausência do CBA 10 pelo SIGAS.

Os dados monitorados pelo SIGAS indicaram que no poço CBA 9 esta influência foi identificada no mês de dezembro, o qual apresentou um aumento no tempo de bombeamento. No poço CBA 11 a mesma foi mais expressiva, sendo que este poço foi o único a explotar um

volume acima do permitido em projeto no mês de dezembro, já no mês de novembro não há dados de volume neste poço, porém, possivelmente o mesmo ocorreu, levando em consideração que o tempo de bombeamento, neste mês também ficou acima do projetado. A análise do comportamento dos intervalos sem bombeamento e com bombeamento no poço CBA 11, nos meses de novembro e dezembro, também demonstra a variação no comportamento do mesmo, em decorrência da falta do poço CBA 10, sendo que após este período o poço retornou a sua operação habitual.

Tal constatação também foi observada nos dados de volume mensais monitorados pela CORSAN, apresentados na figura 79, onde fica claro que no período de ausência do poço CBA 10, os valores de volume explorados estão bem superiores aos habituais no poço CBA 11. Mesmo que não haja dados do volume explorado no poço CBA 12, para os meses de novembro e dezembro, os dados da CORSAN indicaram que o mesmo também foi influenciado pela falta do poço CBA 10. No poço CBA 9 a influência da falta do poço CBA 10, foi mais sutil, sendo difícil de ser observada a partir dos dados mensais de volume da CORSAN, levando em consideração também que os valores de volume já estavam apresentando uma tendência de aumento neste período.

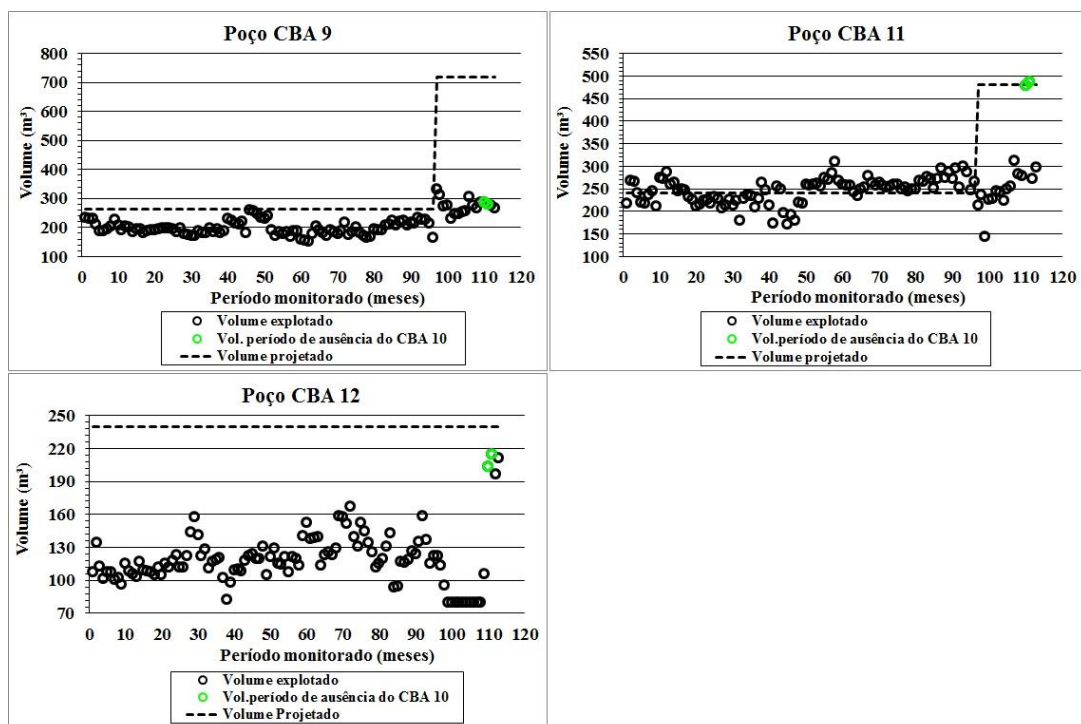


Figura 79: Valores mensais de volume de água nos poços CBA 9, 11 e 12, coletados pela CORSAN. Obs: a variação do volume projetado nos gráficos dos poços CBA 9 e 11 é devido ao novo projeto realizado em setembro de 2014.

Todos os poços que abastecem o R2, com exceção do CBA 12, tiveram um novo teste de bombeamento em 2014 e tiveram os dados de projeto alterados. O poço CBA 9 mesmo

com um histórico de valores de volumes de água explorados inferior ao projetado, conforme apresentado na figura 79, teve os níveis estático e dinâmico rebaixados (tabela 23). O poço CBA 11, também teve os níveis estático e dinâmico deplecionados, conforme tabela 23, no entanto, por vezes, os volumes de água explorado neste poço ultrapassavam o projeto (Figura 79).

Tabela 23: Níveis estativos e dinâmicos dos poços CBA 9 e 11 referentes ao novo e antigo teste de bombeamento

POÇOS	ANO	ND (m)	NE (m)
CBA 09	1978	30	0,79
CBA 09 (Teste novo)	2014	35	15,17
CBA 11	1983	27	1,28
CBA 11 (Teste novo)	2014	35	5,38

O período analisado nos poços CBA 9,11 e 12 nos parâmetros de vazão e volume não são longos, mas conforme figura 79, são coerentes com o histórico de comportamento habitual dos mesmos. Mesmo que a maioria dos poços analisados responsáveis pelo abastecimento deste reservatório estarem explorando volumes abaixo do projetado, a influência da demanda torna os períodos sem bombeamento descontínuos e dificulta o retorno do nível de água para o NE e o fato de todos os poços deste reservatório estarem com valores de vazão bem abaixo do projetado, estimula um tempo de bombeamento maior, reduzindo o período sem bombeamento.

6.4.5 CONDIÇÕES DE EXPLOTAÇÃO DOS POÇOS QUE ABASTECEM OS RESERVATÓRIOS R1 E R2

Os poços CBA 18 e 26 estão sendo explorados acima do projetado em praticamente todo o período monitorado, sendo que, no poço CBA 26 isto é devido aos valores mais elevados de vazão. No poço CBA 18 a super exploração se associa tanto a vazão quanto ao tempo de bombeamento, ambos acima do projetado. Nos poços CBA 3 A, 11 e 34 o volume explorado também está acima do projetado, mas não na totalidade do tempo monitorado, sendo devido ao tempo de bombeamento elevado nos dois primeiros poços e devido à vazão elevada no último poço. Apenas nos poços CBA 9 e 12 os volumes explorados estão dentro do permitido em projeto na totalidade do período monitorado. No poço CBA 5 A o mesmo ocorreu em cerca de 95% do tempo. Mesmo que o período de tempo analisado nos poços não seja contínuo, o que foi observado nos valores de volume explorado, demonstra que há uma falha na operação dos mesmos, já que há poços explorando quantidade de água acima da

projetada e outros quantidade menor, logo o atendimento da demanda está distribuído de forma heterogênea.

Esta constatação pode ser observada, em números, na tabela 24, que compara a soma dos valores de volumes explorados em todo o período de tempo analisado, registrado pelo SIGAS, com o que poderia ser explorado, neste mesmo período, segundo os valores de projeto.

Tabela 24: Balando do volume total projetado e do volume total explorado no período monitorado nos poços analisados.

	Poços	Projetado (m ³)	Explorado (m ³)	Exp – Proj
R1	CBA 3 A	112.320	108.914	-3.406
	CBA 5 A	20.544	16.814,6	-3.729,40
	CBA 18	20.444,16	32.110,3	+11.666,14
	CBA 26	7.800	9.728,17	+1.928,17
	CBA 34	21.253,7	24.360	-3.106,30
R2	CBA 9	33.480	15.626,9	-17.853,10
	CBA 11	20.160	17.337,9	-2.822,10
	CBA 12	12.720	10.010,21	-2.709,79

Proj: Projetado/ Exp: Explorado

Os valores apresentados na tabela 24 evidenciaram que no grupo de poços analisados responsáveis pelo abastecimento do reservatório R1, há os maiores problemas de gestão, os quais estão associados a dois fatores. O Primeiro é a distribuição desigual da demanda entre os poços, ou seja, há poços com quantidades de volumes excedentes ao projetado e outros com volume disponível e não utilizado. O segundo é a distribuição da demanda na operação do próprio poço, que é o caso dos poços CBA 3 A e 34, ambos com balanço positivo, no entanto, em 35% e 19% do período monitorado respectivamente, esses poços trabalharam com volume acima do projetado. No reservatório R2 a situação é inversa, todos os poços estão operando com volumes de águas explorados inferiores ao definido em projeto, contudo, no poço CBA 11 ocorreu à mesma situação descrita nos poços CBA 3 A e 34 em 36 % do período monitorado, onde o volume extraído é maior que o projetado .

No entanto, em ambos os reservatórios, há outros poços utilizados para o abastecimento, desta forma, através dos dados diários da CORSAN, foi feita a mesma análise apresentada na tabela 24, só que mensal, apresentada na tabela 25. Esta análise foi feita para verificar se esses poços poderiam auxiliar na redução dos volumes explorados nos poços CBA 18 e 26. Logo, constatou-se que o poço CBA 2 se encontra na mesma situação dos poços CBA 18 e 26, a situação do poço CBA 6 é semelhante ao dos poços CBA 3 A, 11 e 34 e o

poço CBA 20 só ficou acima do projetado em dois meses. Avaliando somente esses 3 poços do R1 apresentado na tabela 25, é possível notar que em todos os meses em que ocorreram valores de volume acima do permitido (indicados em negrito na tabela), também ocorreram volumes de água disponíveis em outros poços que atenderiam esse déficit. Já o poço CBA 10, pertencente ao reservatório R2, está explotando volumes abaixo do projetado, conforme já observado nos demais poços desse grupo.

Tabela 25: Dados mensais de produção dos demais poços dos reservatórios R1 e R2.

Data	Reservatório R1									Reservatório R2		
	CBA 2			CBA 6			CBA 20			CBA 10		
	Vol. Exp	Vol. Proj	Proj - Exp	Vol. Exp	Vol. Proj	Proj - Exp	Vol. Exp	Vol. Proj	Proj - Exp	Vol. Exp	Vol. Proj	Proj - Exp
Jan/15	5401	5080	+321	3539	5952	-2413	7440	8928	-1488	5508	12400	-6892
Fev/15	4890	4588	+302	3114	5376	-2262	6720	8064	-1344	5382	11200	-5818
Mar/15	5431	5080	+351	3172	5952	-2780	8835	8928	-93	5992	12000	-6008
Abr/15	5264	4916	+348	3175	5376	-2201	9000	8640	+360	5632	12000	-6368
Mai/15	5462	5080	+382	3959	5760	-1801	7577	8064	-487	5885	12400	-6515
Jun/15	5284	4916	+368	3871	5760	-1889	6373	8640	-2267	6074	12000	-5926
Jul/15	5444	5080	+364	3988	5952	-1964	6503	8928	-2425	5457	12400	-6943
Ago/15	5597	5080	+517	6554	5952	+602	6671	8928	-2257	5671	12400	-6729
Set/15	5333	4916	+417	4719	5760	-1041	5944	8640	-2696	5461	12000	-6539
Out/15	5518	5080	+438	6281	5952	+329	5449	8928	-3479	6060	12000	-5940
Nov/15	5359	4916	+443	6086	5760	+326	6840	7776	-936	.....	.....	.....
Dez/15	.....	.....	.....	6642	5952	+690	9866	8928	+938	.....	.....	.....
Jan/16	5613	5080	+533	6365	5952	+413	8708	8928	-220	8211	12400	-4189
Fev/16	5155	4752	+403	5913	5568	+345	8188	8352	-164	9166	11600	-2434
BALANÇO	+5.187			-13.646			-16.558			-70.301		

Proj: Projetado/ Exp: Explotado

O quadro atual de operação dos poços de Carlos Barbosa apresentado é determinado pelas influências da demanda, mesmo nos poços que estão operando dentro dos valores projetados, a mesma origina tempos sem bombeamento descontínuo. Sendo o mesmo agravado pelos valores de vazão operados, que na maioria dos poços analisados, se encontra abaixo do projetado sendo necessário um maior tempo de bombeamento para atender as demandas.

No entanto, as operações atualmente realizadas nos poços que estão trabalhando com a exploração de volumes de água acima do projetado, não refletiram de forma significativa nos níveis de água máximos observados nos poços, os quais em sua grande maioria apresentaram

um comportamento pouco variável e não ultrapassaram o ND de projeto, sendo necessária uma grande alteração na vazão bombeada para originar alguma variação significativa nos mesmos. No poço CBA 9, que está operando dentro dos valores projetados, o mesmo ocorreu, ou seja, os níveis máximos se mantiveram acima do ND de projeto, no entanto, no poço CBA 12 o oposto ocorreu, sendo que apenas nesse poço foi observado valores máximos abaixo do ND de projeto.

Logo, mesmo os poços operando dentro do projetado, estão perdendo a capacidade de recuperação, levando em consideração que o poço CBA 9 mesmo com o seu histórico de valores operados abaixo do permitido em projeto teve o NE e ND rebaixados no novo teste de 2014.

Os novos testes de bombeamento, apresentados na tabela 20 e mencionados no item 6.4.1.5, indicaram que pode estar havendo uma depleção regional do nível de água em Carlos Barbosa, levando em consideração que os mesmos foram aplicados em poços situados em diferentes áreas de contribuição (Sub-bacias). Logo, os reflexos dessa depleção nos poços que estão trabalhando fora dos valores projetados, os quais ainda não possuem dados de níveis mínimos, podem ser mais significativos. No entanto, tal constatação só seria possível com uma análise mais detalhada do nível de água, levando em consideração que a variação deste parâmetro pode estar relacionada com diversos fatores, tais como: a anisotropia do sistema aquífero fraturado, influência de outros poços na operação dos mesmos, mudanças na recarga em virtudes das variações da precipitação, abertura de novos poços e impermeabilização do solo, levando em consideração que todos os poços da CORSAN estão situados no perímetro urbano.

Futuramente, com o ajuste dos sensores de nível de água dos poços, o SIGAS será capaz de realizar um monitoramento deste parâmetro com o detalhamento necessário para indicar os reais fatores das mudanças observadas no nível de água, sejam elas oriundas da operação inadequada, da interferência de outros poços, de alterações naturais do aquífero ou até mesmo ocasionadas pela precipitação, considerando que já estão instalados dois pluviógrafos. Porém o SIGAS é um sistema em fase de implantação e precisa ser avaliado, logo é necessário que o sistema da CORSAN permaneça em funcionamento para detecção de eventuais falhas no SIGAS, as quais normalmente podem e irão ocorrer, por ser um sistema automatizado e o envio dos seus dados dependerem da eficiência do serviço de uma companhia telefônica, sendo esta avaliação realizada no item a seguir.

6.5 AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO EXECUTADO PELO SIGAS

Como pode ser analisado na tabela 26, há diferenças entre os monitoramentos realizados pelo SIGAS e a CORSAN, tanto em relação à leitura como em relação aos cálculos de alguns parâmetros. Em relação ao hidrômetro é utilizado o mesmo equipamento para ambos os monitoramentos. No monitoramento da CORSAN os dados de volume e tempo são coletados de forma manual, por um técnico da companhia, sendo que os horários de coletas são aleatórios e realizados conforme a disponibilidade do técnico. Tais diferenças resultam em valores diferentes que são monitorados pelos sistemas, como será discutido a seguir.

Tabela 26: Diferenças entre os monitoramentos da CORSAN e do SIGAS

		TEMPO DE BOMBEAMENTO (h)	VOLUME (m³)	VAZÃO (m³/h)
CORSAN	Leitura	Manual, feita através do Horimetro	Manual, feita através do Hidrômetro	.....
SIGAS		Automática, feita através da detecção de corrente da bomba	Automática, feita através do Hidrômetro	.....
CORSAN	Cálculo	.....	Subtração entre os valores registrados no hidrômetro em um intervalo diário	Divisão do vol diário total pelo tempo de bombeamento diário
SIGAS		.....	Soma dos valores registrados nos intervalos de 15 min para um período de um dia	Vol dividido por ¼ de hora, referente ao intervalo de envio de 15 minutos

Além das diferenças observadas entre os dois sistemas, assim como o SIGAS o monitoramento da CORSAN também possui limitações, as quais serão descritas a seguir.

6.5.1 LIMITAÇÕES DO MONITORAMENTO REALIZADO PELA CORSAN

O monitoramento do tempo de bombeamento realizado pela CORSAN, só permite analisar o tempo de bombeamento diário total, no entanto, todos os poços analisados nesse trabalho, assim como os demais poços utilizados pela companhia para o abastecimento de água na cidade, possuem dois sistemas de acionamento da bomba e por esse motivo a operação do poço pode ser influenciada pela demanda dos reservatórios, dentro do período permitido pelo Timer, com o monitoramento atual é difícil analisar esta influência.

O fato da coleta dos dados serem realizadas por um técnico da companhia inviabiliza a coleta dos dados de tempo de bombeamento e volume de água sempre no mesmo horário, considerando que há apenas um funcionário para a realização desta atividade. Essa limitação

pode viabilizar registros de valores inferiores e/ou superiores aos reais, isso vai depender das variações nos horários de coleta.

O monitoramento do nível de água nos poços é prejudicado pela falta de funcionários, no entanto, mesmo que tivessem mais funcionários para a realização do monitoramento, o mesmo ainda não seria possível, porque os níveis máximos e mínimos lidos no poço ocorrem possivelmente no final do maior período de bombeamento e sem bombeamento respectivamente, os quais, não necessariamente ocorrem no período de expediente dos funcionários.

Mesmo com suas limitações os dados da CORSAN são muito importantes para essa fase de implantação do SIGAS, por serem coletados em campo. Desta forma, a seguir será apresentada uma comparação para os dados de tempo de bombeamento, volume e vazão coletados por ambos os monitoramentos.

6.5.2 AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DO PARÂMETRO DE TEMPO DE BOMBEAMENTO

Para fazer a avaliação do SIGAS, comparamos os dados coletados por ele com os monitorados pela CORSAN. Logo, considerando as diferenças existentes nos métodos utilizados em ambos os monitoramentos e as limitações dos mesmos, foi considerada 2:00 h uma diferença aceitável entre os dados de tempo de bombeamento registrados. Como as leituras da CORSAN são feitas manualmente e não há uma padronização nos horários de leituras esse é apenas um valor limite. Eventualmente, por motivos adversos, a coleta desses dados pelo técnico responsável pode ser realizada em horários muito distintos, ocasionando desta forma uma maior diferença observada, que não necessariamente esteja relacionada a falhas no SIGAS. No entanto, o SIGAS possui limitações, e por vezes, pode ocorrer falhas no envio dos dados e valores bem inferiores aos reais serem registrados.

As diferenças observadas entre os valores registrados de tempo de bombeamento entre os sistemas influenciam de forma direta as diferenças entre os valores de volume de água. Na totalidade dos poços os dados de tempo de bombeamento monitorados pela CORSAN são superiores aos monitorados pelo SIGAS, conforme pode ser observado na tabela 27. Isso está relacionado ao fato da leitura do dado ocorrer no dia seguinte e depender da visita do técnico, viabilizando leituras de valores mais elevados que os registrados pelo SIGAS. Em média as diferenças observadas são inferiores a 2:00 h, no entanto, os dados apresentam um desvio padrão em relação a este valor muito elevado e superior à média, o que indica uma grande variação dos valores de diferenças observados, tal variação dos valores se justificam ao

observar os dados máximos e mínimos ocorridos. Sendo assim, as medianas representam melhor o comportamento dos valores de diferenças observados que, com exceção do poço CBA 3 A, são inferiores a 1:00 h. Os valores máximos, em sua maioria, estão associados a valores da CORSAN maiores que o do SIGAS, como são valores bem expressivos, os mesmos possivelmente estão relacionados a falhas no envio dos dados por parte do SIGAS, registrando valores inferiores aos reais.

Em 5 dos 8 poços analisados, por vezes, o mesmo valor é coletado por ambos os sistemas. No caso dos poços CBA 3 A e 11, esses valores iguais ocorrem nos dias em que o tempo de bombeamento é de 24:00 h e nos poços CBA 12, 26 e 34, os quais não trabalham 24:00h, esses dados coincidem nos dias em que o tempo de bombeamento é mais elevado.

Tabela 27: Análise estatística das diferenças observadas entre os dados de TB coletados pela CORSAN e o SIGAS.

POÇOS	CORSAN >SIGAS	CORSAN <SIGAS	CORSAN =SIGAS	x (h)	σ (h)	Md (h)	Máx (h)	Mín (h)
CBA 3 A	41,03	35,62	24,36	1:58	2:00	1:37	09:43	00:02
CBA 5 A	71	29	....	1:29	1:56	0:43	14:31	00:01
CBA 9	86	14	....	1:16	1:37	0:39	10:42	00:05
CBA 11	58	29	13	1:08	1:26	0:36	07:24	00:01
CBA 12	72	....	28	0:46	1:46	0:20	10:18	00:01
CBA 18	84	16	....	0:58	1:15	0:33	08:20	00:06
CBA 26	70,51	6,41	23,08	0:41	0:56	0:19	04:25	00:02
CBA 34	80,17	11,21	8,62	0:57	1:24	0:35	12:20	00:02

x: Média aritmética/ σ : Desvio padrão/ Md: Mediana/ Máx: Máximo/ Mín: Mínimo

Como pode ser visualizado na tabela 28, as diferenças observadas em sua maioria, são inferiores a 2:00 h, o que já era esperado, levando em consideração os valores de mediana. Em sua maioria os valores de diferenças registrados acima de 2:00 h, com exceção dos poços CBA 5 A e 11, são devido a valores da CORSAN superiores ao do SIGAS.

Tabela 28: Origem dos valores de diferenças mais elevados observados entre os dados de TB.

POÇOS	TB ≤ 2:00 h (%)	CORSAN > SIGAS (%)	CORSAN < SIGAS (%)
CBA 3 A	58,34	54,93	45,07
CBA 5 A	80,84	34,38	65,62
CBA 9	85	57	43
CBA 11	81	44	56
CBA 12	96	100	....
CBA 18	87,5	60	40
CBA 26	85,9	91	9
CBA 34	89,7	75	25

Nos poços CBA 5 A, 9 e 11, as diferenças registradas acima de 2:00 h, ocorreram de forma mais frequente nos meses de novembro de 2015 e janeiro de 2016 no poço CBA 5 A, em novembro e janeiro de 2015 no poço CBA 9 e no mês de dezembro no poço CBA 11. Na figura 80 é possível observar os valores monitorados por ambos os sistemas nos meses citados. No poço CBA 5 A, no mês de novembro (Figura 80.A), os valores coletados pela CORSAN foram inferiores ao do SIGAS, no entanto, considerando a regularidade dos valores monitorados, tais diferenças podem estar relacionadas a falhas no monitoramento da CORSAN, o mesmo foi observado no poço CBA 9 no mesmo mês (Figura 80.D). Já no mês de janeiro de 2016 (Figura 80.B), notamos que por vezes o SIGAS coletou valores expressivamente inferiores ao da CORSAN, possivelmente por falhas no envio de dados pelo sistema, sendo que comportamento semelhante ocorreu no poço CBA 9 no mês de janeiro de 2015 (Figura 80.C). No poço CBA 11, no mês de dezembro (Figura 80.E), foi registrado, por ambos os sistemas, uma grande variação do tempo de bombeamento registrado, sendo os valores de diferenças mais acentuados por vezes causados por valores mais elevados monitorados por parte da CORSAN e por vezes por parte do SIGAS, o comportamento variável do tempo de bombeamento neste mês dificulta a análise da possível fonte das diferenças observadas.

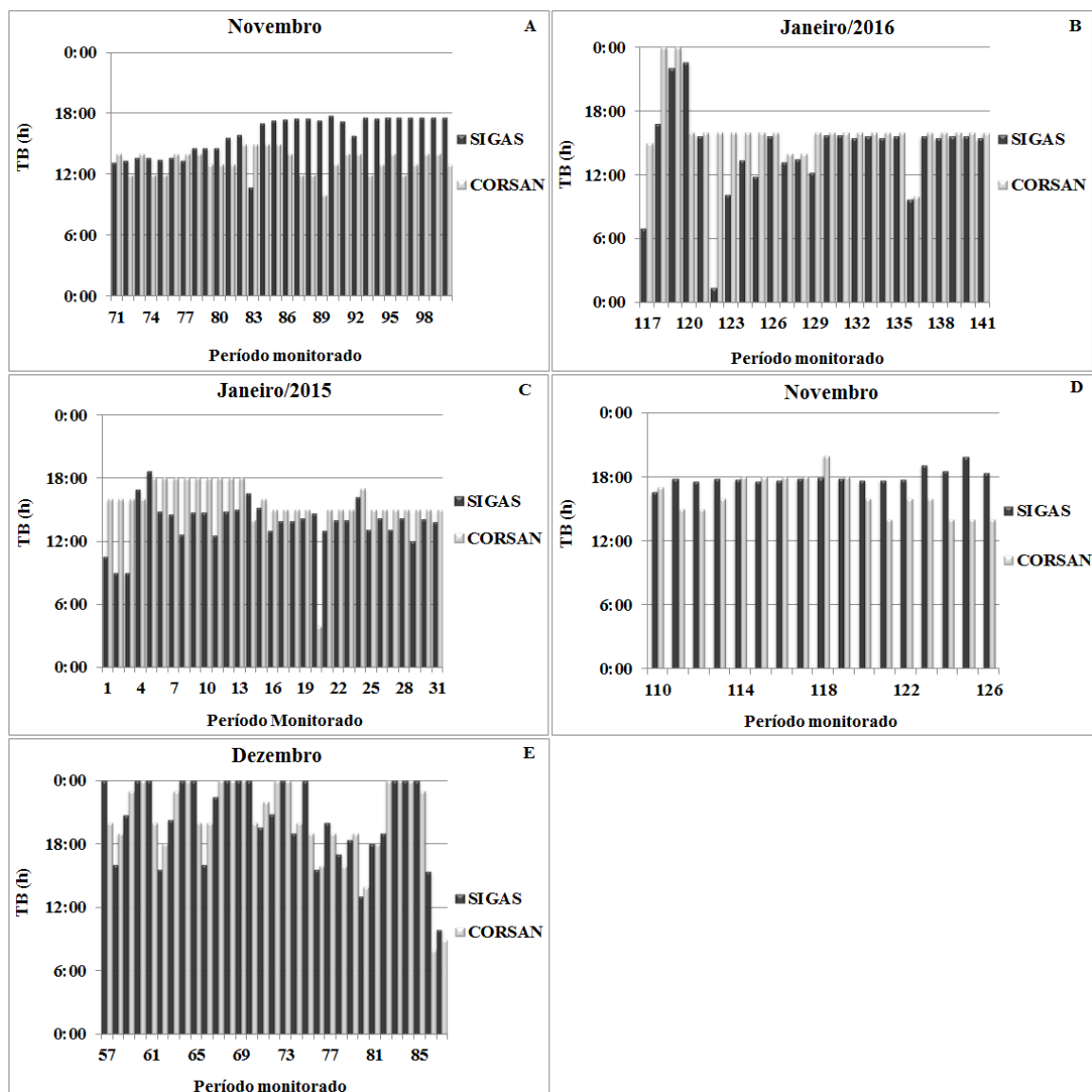


Figura 80: Comparação entre os valores de tempo de bombeamento monitorados pela CORSAN e o SIGAS no: (A) Mês de novembro poço CBA 5 A, (B) Mês de Janeiro de 2016 no poço CBA 5 A, (C) Mês de janeiro de 2015 no poço CBA 9, (D) Mês de novembro no poço CBA 9 e (E) Mês de dezembro no poço CBA 11.

Nos demais poços, os valores de diferenças superiores a 2:00 h, ocorrem de forma aleatória, sem periodicidade definida, sendo que os gráficos de comparação dos dados monitorados pelos dois sistemas nesses poços estão apresentados no apêndice A.

6.5.3 AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DO PARÂMETRO DE VOLUME

Em todos os poços analisados os dados de volume coletados pela CORSAN são superiores ao do SIGAS (Tabela 29), sendo este comportamento coerente com as diferenças observadas no parâmetro de tempo de bombeamento.

Tabela 29: Análise estatística das diferenças observadas entre os dados de volume de água coletados pela CORSAN e o SIGAS.

POÇOS	CORSAN>SIGAS (%)	CORSAN<SIGAS (%)	x (m ³)	σ (m ³)	Md (m ³)	Máx (m ³)	Mín (m ³)
CBA 3 A	74	26	82,13	67,16	60,80	392,80	1,40
CBA 5 A	97	3	21,50	12,97	18,90	101,90	4,60
CBA 9	98,39	1,61	24,15	14,09	21,85	79,90	0,60
CBA 11	83	17	48,00	33,00	40,85	135,70	1,10
CBA 12	96	4	16,03	5,75	14,51	36,05	6,91
CBA 18	90,63	9,37	26,45	19,29	21,15	161,70	2,30
CBA 26	83,95	16,05	11,85	10,63	9,50	70,62	0,77
CBA 34	83,33	16,67	20,32	20,66	15,35	187,80	0,90

x: Média aritmética/ σ: Desvio padrão/ Md: Mediana/ Máx: Máximo/ Mín: Mínimo

Na maioria dos poços, em média as diferenças são inferiores a 27 m³, com exceção dos poços CBA 3 A e 11, contudo, o desvio padrão em torno deste valor é elevado na maioria dos poços, indicando a grande variação dos valores de diferenças observados. Tal variação se justifica ao observarmos os valores de diferenças máximos e mínimos registrados, sendo que a totalidade dos valores máximos estão relacionados à dados da CORSAN superiores ao do SIGAS, sendo os mesmos, possivelmente relacionados a falhas no envio de dados por parte do SIGAS. Com exceção do poço CBA 26, que o valor máximo está relacionado com uma leitura do SIGAS superior a da CORSAN e pode estar relacionado a falhas na coleta e/ou registro do dado, por parte da CORSAN.

A quantidade de volume explotado em cada poço é variável, sendo mais elevada nos poços CBA 3 A e 11, os quais demonstraram uma diferença registrada maior, sendo que os demais poços, de forma geral, estão explotando um volume abaixo dos 300 m³. Logo, se observarmos os valores médios e medianos dos dados de diferença registrados veremos que, de forma geral, a mesma é menor que 10% do volume em média explotado. Os poucos valores registrados acima dos 50 m³, na maioria dos poços está relacionada a valores da CORSAN superiores ao do SIGAS. No entanto, nos poços CBA 11 e 26 por vezes os valores da CORSAN são superiores e por vezes o oposto ocorre (Tabela 30).

Tabela 30: Origem dos valores de diferenças mais elevados observados entre os dados de volume de água.

POÇOS	VOL\leq50 m³ (%)	CORSAN >SIGAS (%)	CORSAN <SIGAS (%)
CBA 3 A	37,82	82,47	17,53
CBA 5 A	97,17	60	40
CBA 9	97	100	....
CBA 11	60	40	60
CBA 12	100	....	....
CBA 18	92	100	....
CBA 26	97,44	50	50
CBA 34	93,97	85,71	14,29

As diferenças observadas podem ser visualizadas graficamente na figura 81, onde é possível visualizar que ambos os sistemas apresentam o mesmo comportamento de variação do volume, com alguns pontos discrepantes, os quais foram os responsáveis pelos maiores valores de diferenças observadas. Levando em consideração as diferenças observadas nos dados de tempo de bombeamento e das diferenças existentes entre os monitoramentos, na maior parte do tempo, os valores de diferenças observados são aceitáveis e como é possível observar na figura 81, as maiores diferenças ocorrem de forma aleatória.

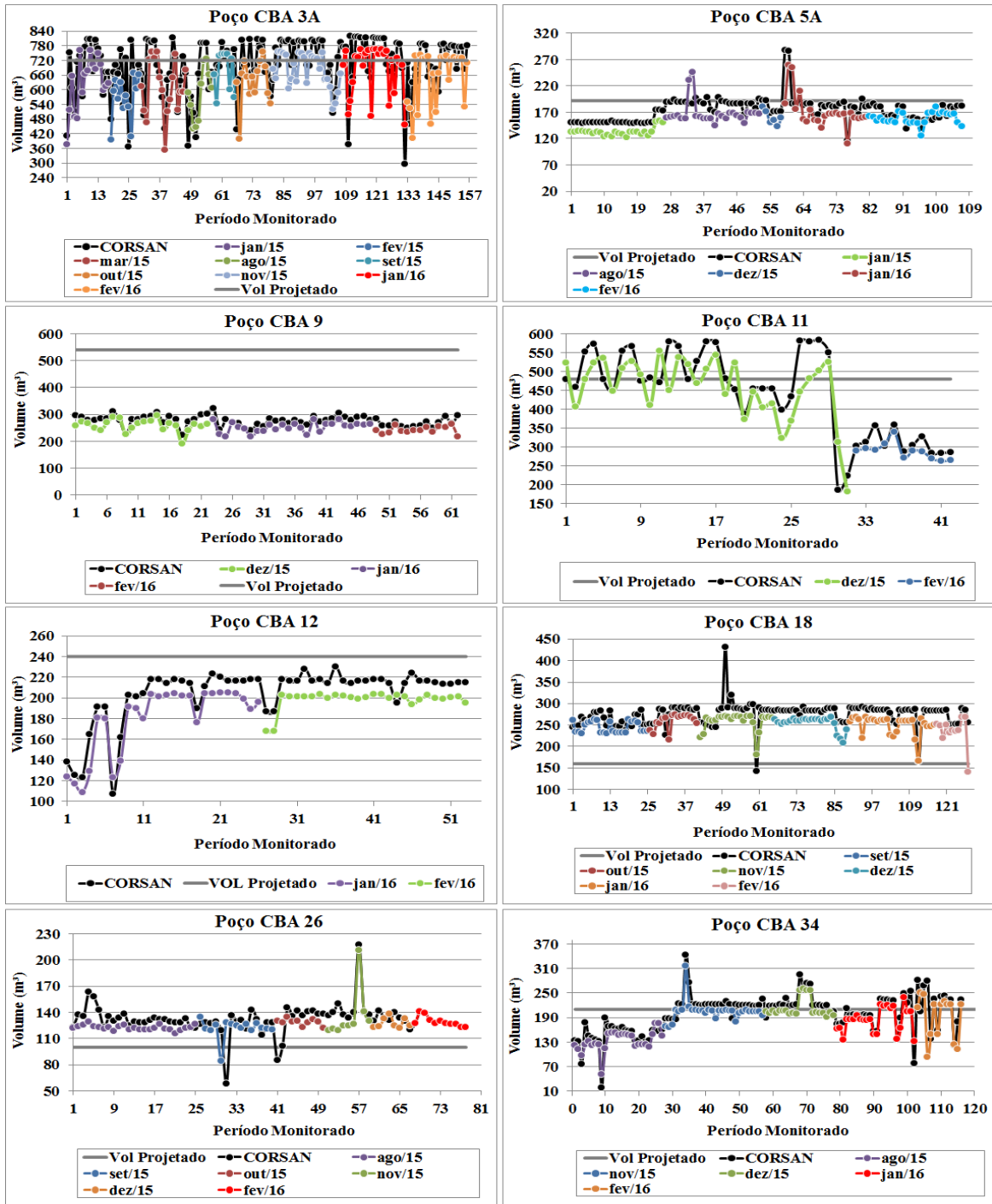


Figura 81: Comparação entre os valores de volume de água monitorados pela CORSAN e o SIGAS.

6.5.4 AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO DO PARÂMETRO DE VAZÃO

Em todos os poços os dados de vazão coletados pela CORSAN, na maior parte do tempo, são superiores aos registrados pelo SIGAS (Tabela 31). Em média as diferenças entre os sistemas em todos os poços é inferior a 2 m³/h, o desvio padrão na análise deste parâmetro não ultrapassou a média, no entanto, com exceção do poço 12, ainda foram significativos. Logo os valores de mediana representam melhor a tendência central dos dados, sendo que a

mesma também foi inferior a 2 m³/h em todos os poços. Os valores máximos de diferenças observadas nos poços CBA 5A, 12 e 18 foram baixos, inferiores a 2 m³/h. A diferença máxima observada nos poços CBA 11 e 34 estão associados a dados do SIGAS superiores ao da CORSAN, sendo que os mesmos podem estar associados a falhas na coleta ou registro do dado por parte da CORSAN, já a máxima diferença observada nos poços CBA 3A, 9 e 26 pode estar relacionada a dificuldade de envio dos dados por parte do SIGAS.

Tabela 31: Análise estatística das diferenças observadas entre os dados de vazão coletados pela CORSAN e o SIGAS.

POÇOS	CORSAN >SIGAS (%)	CORSAN <SIGAS (%)	CORSAN =SIGAS	x (m ³ /h)	σ (m ³)	Md (m ³ /h)	Máx (m ³ /h)	Mín (m ³ /h)
CBA 3A	88,46	3,85	7,69	1,31	1,12	0,80	3,90	0,01
CBA 5A	80,37	19,63	....	0,51	0,37	0,53	1,71	0,01
CBA 9	97	3	....	1,18	0,51	1,15	2,70	0,01
CBA 11	95	5	....	1,85	0,55	1,80	4,00	0,80
CBA 12	98,11	1,89	....	0,94	0,14	0,96	1,35	0,25
CBA 18	91	9	....	0,92	0,55	1,23	1,85	0,01
CBA 26	91,36	8,64	....	0,90	0,60	0,69	2,54	0,13
CBA 34	87,07	12,93	....	1,37	1,26	1,36	10,76	0,01

x: Média aritmética/ σ: Desvio padrão/ Md: Mediana/ Máx: Máximo/ Mín: Mínimo

Na maioria dos poços, o maior valor de diferença observada entre os monitoramentos é inferior ou igual a 2 m³/h, sendo que os valores de diferença superiores a este, em sua maioria são devidos a dados da CORSAN superiores ao do SIGAS, conforme tabela 32.

Tabela 32: Origem dos valores de diferenças mais elevados observados entre os dados de vazão.

POÇOS	Q ≤ 2 m ³ /h (%)	CORSAN >SIGAS (%)	CORSAN <SIGAS (%)
CBA 3 A	57,05	100	....
CBA 5 A	100	....	....
CBA 9	94	100	....
CBA 11	78	88,89	11,11
CBA 12	100	....	....
CBA 18	100	....	....
CBA 26	96,15	83,33	16,67
CBA 34	92,24	70	30

Essas diferenças mais elevadas estão situadas nos meses de novembro de 2015 a fevereiro de 2016, conforme pode ser visualizado na figura 82.

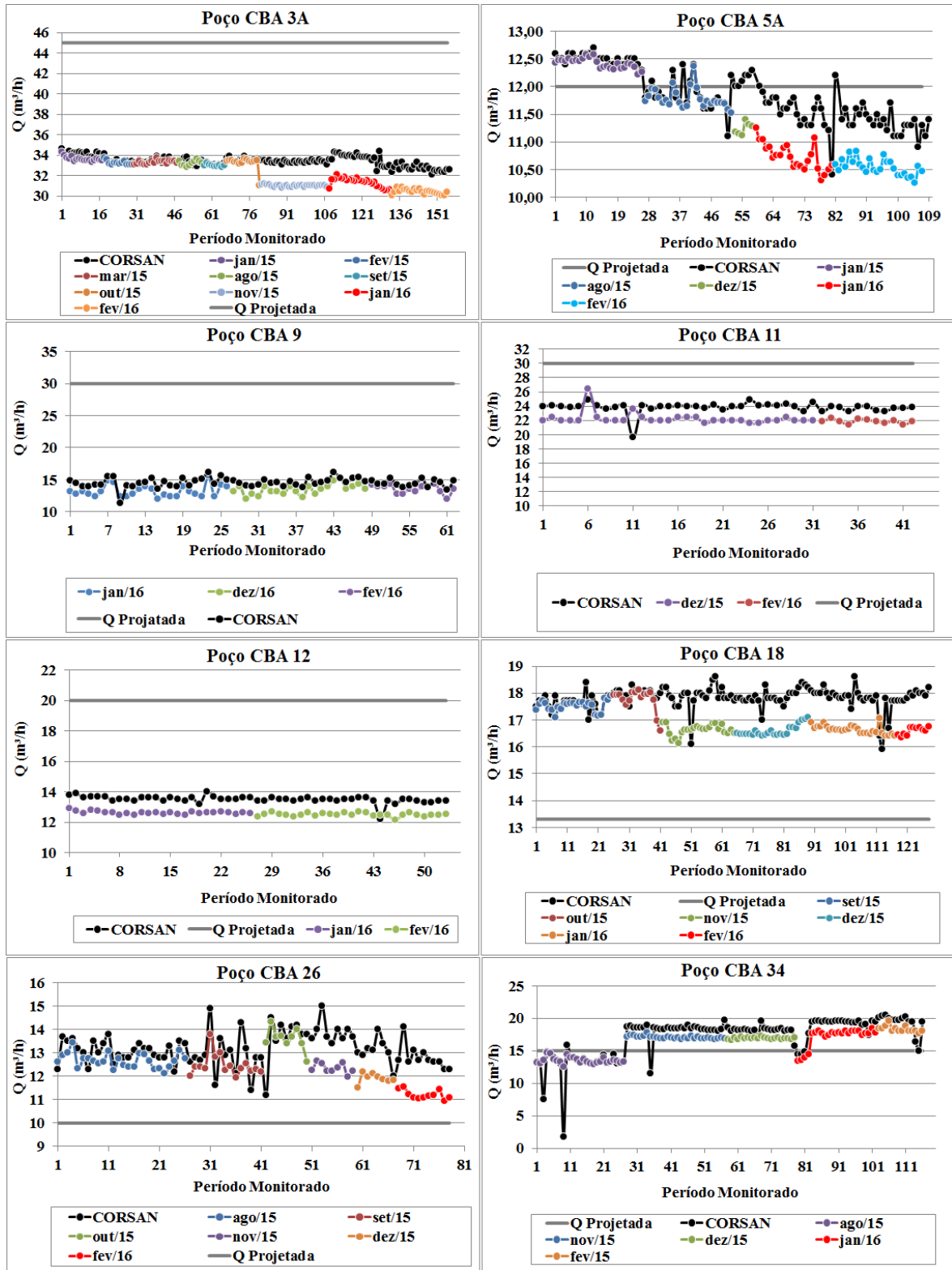


Figura 82: Comparação entre os valores de vazão monitorados pela CORSAN e o SIGAS

Na maior parte do tempo, ambos os monitoramentos registram os mesmos comportamentos de redução e aumento da vazão (Figura 82).

Os parâmetros de tempo de bombeamento, volume e vazão monitorados pelo SIGAS, demonstraram serem confiáveis e coerentes com os valores operados nos poços. Sendo assim,

esta avaliação demonstrou que o SIGAS é um sistema capaz de realizar o monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos nos poços situados no Sistema Aquífero Serra Geral e utilizados para o abastecimento de água na cidade. No entanto, o mesmo ainda possui falhas, que na maioria das vezes, ocorrem de forma pontual, aleatória e estão relacionadas a falhas no envio dos dados por parte da companhia telefônica, problema de funcionamento dos sensores ou até mesmo queima dos mesmos.

7. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados nesse trabalho demonstraram que há falhas na gestão da operação dos poços, levando em consideração que os poços CBA 3A, 11, 18, 26 e 34, na totalidade do tempo ou em parte dele, estão explotando volume de água acima do previsto em projeto, ou seja, além da sua capacidade de produção, enquanto os poços CBA 5A, 9 e 12 estão operando com volumes de água menores que a capacidade de produção prevista em projeto. Logo o atendimento da demanda está distribuído de forma desigual entre os poços, favorecendo o rebaixamento nos poços mais explotados.

Foi identificado neste estudo que há influência da demanda na operação dos poços, a qual faz com que o tempo sem bombeamento do poço não ocorra de forma contínua, isso dificulta o retorno do nível de água para o nível estático de projeto, além disso, dificulta a análise da capacidade de produção dos poços e a avaliação de alterações hidrogeológicas que possam ocorrer no aquífero, como por exemplo, a avaliação do rebaixamento dos níveis de água. Além disso, mais da metade dos poços analisados, na totalidade do tempo ou em boa parte do mesmo, opera com vazões inferiores a de projeto, sendo que este fato possivelmente está atrelado à capacidade de vazão da bomba instalada. Esta condição induz os poços a bombearem acima do tempo de bombeamento projetado e conseqüentemente reduzirem o período sem bombeamento, conforme já foi observado nos poços CBA 3A, 9 e 12. O ideal seria a operação dos poços serem replanejadas para que cada poço explore o volume de água projetado e não valores superiores ou inferiores e que os tempos sem bombeamento, sejam operados de forma contínua.

No entanto, os poços estão inseridos em um sistema aquífero fraturado o qual pode mudar suas condições hidrogeológicas e hidrodinâmicas no tempo e espaço, logo o “ideal” nem sempre se aplica. O comportamento dos níveis máximos e mínimos no poço CBA 12 é uma prova disso e demonstrou que só manter o bombeamento dentro do projetado não é suficiente, porque além das características anisotrópicas do sistema aquífero fraturado, que pode mudar as características hidrodinâmicas do aquífero, ainda há a possibilidade de interferência de outros poços na operação dos mesmos, assim como a ocorrência de uma depleção regional dos níveis de água que pode ser originado por bombeamentos elevados provocado por outros poços existentes no município e também alterações resultantes das variações na recarga.

Sendo assim, o planejamento da operação dos poços só pode ser realizado de forma coerente com as reais condições hidrogeológicas dos mesmos, se este for embasado por um banco de dados de tempo de bombeamento, volume de água, vazão e nível de água detalhado.

Conforme exposto, o monitoramento atualmente exercido pela CORSAN possui limitações, as quais inviabilizam que o mesmo ocorra com o nível de detalhamento necessário. No entanto, o SIGAS se demonstrou capaz de proporcionar este monitoramento e auxiliar de forma ímpar na gestão da operação dos poços, para tornar as condições de exploração dos mesmos mais coerentes com as condições hidrodinâmicas. Contudo o SIGAS ainda está em fase de ajuste e apresenta algumas falhas, as quais em sua maioria ocorrem de forma aleatória e pontual.

Este trabalho foi desenvolvido durante a fase de implantação do SIGAS, desta forma, foi muito importante para identificar as falhas do sistema, para desta forma a equipe do projeto do PRODESAS realizar os ajustes finais necessários, sendo o mais importante deles a troca dos sensores de nível em alguns dos poços.

Além disso, este trabalho indicou que na escolha e instalação dos sensores para monitoramento do nível de água, em poços de uso contínuo localizados em sistemas aquíferos fraturados, no mínimo deve ser levado em conta os valores de nível estático e dinâmico previstos em projeto. Como foi observado no poço CBA 12, o comportamento do nível pode ultrapassar os previstos em projeto, logo as campanhas de monitoramento em campo são necessárias para verificar se houve variação do comportamento observado no período de projeto ou se há interferências de outros poços na operação do mesmo.

Em seu funcionamento pleno, será possível aprofundar mais este estudo e realizar análises que não foram possíveis neste trabalho devido aos imprevistos ocorridos na fase de implantação, que impossibilitaram a análise de um período de tempo maior e ininterrupto, desta forma a seguir são feitas sugestões para trabalhos futuros.

8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após os ajustes dos sensores de nível e com um maior período de monitoramento trabalhos futuros poderão:

- Avaliar se há alterações hidrogeológicas no aquífero em decorrência da operação dos poços no município;
- Estudar diferentes formas de cálculo para o parâmetro de capacidade específica, verificando qual é a melhor maneira do SIGAS realizar o monitoramento deste parâmetro.
- Analisar curvas de rebaixamento e recuperação dos ensaios de bombeamento, procurando identificar alterações dessas curvas em função do bombeamento, bem como, avaliar a possibilidade de realizar o cálculo do parâmetro de transmissividade com o uso dessas curvas.

Atualmente estão instalados dois pluviógrafos nos poços CBA 5A e 12, sendo que os dados não estão sendo coletados ainda, mas futuramente possibilitarão a análise da relação entre a recarga e a precipitação.

APÊNDICE

Apêndice A – Gráficos da comparação entre os monitoramentos de tempo de bombeamento da CORSAN e do SIGAS.

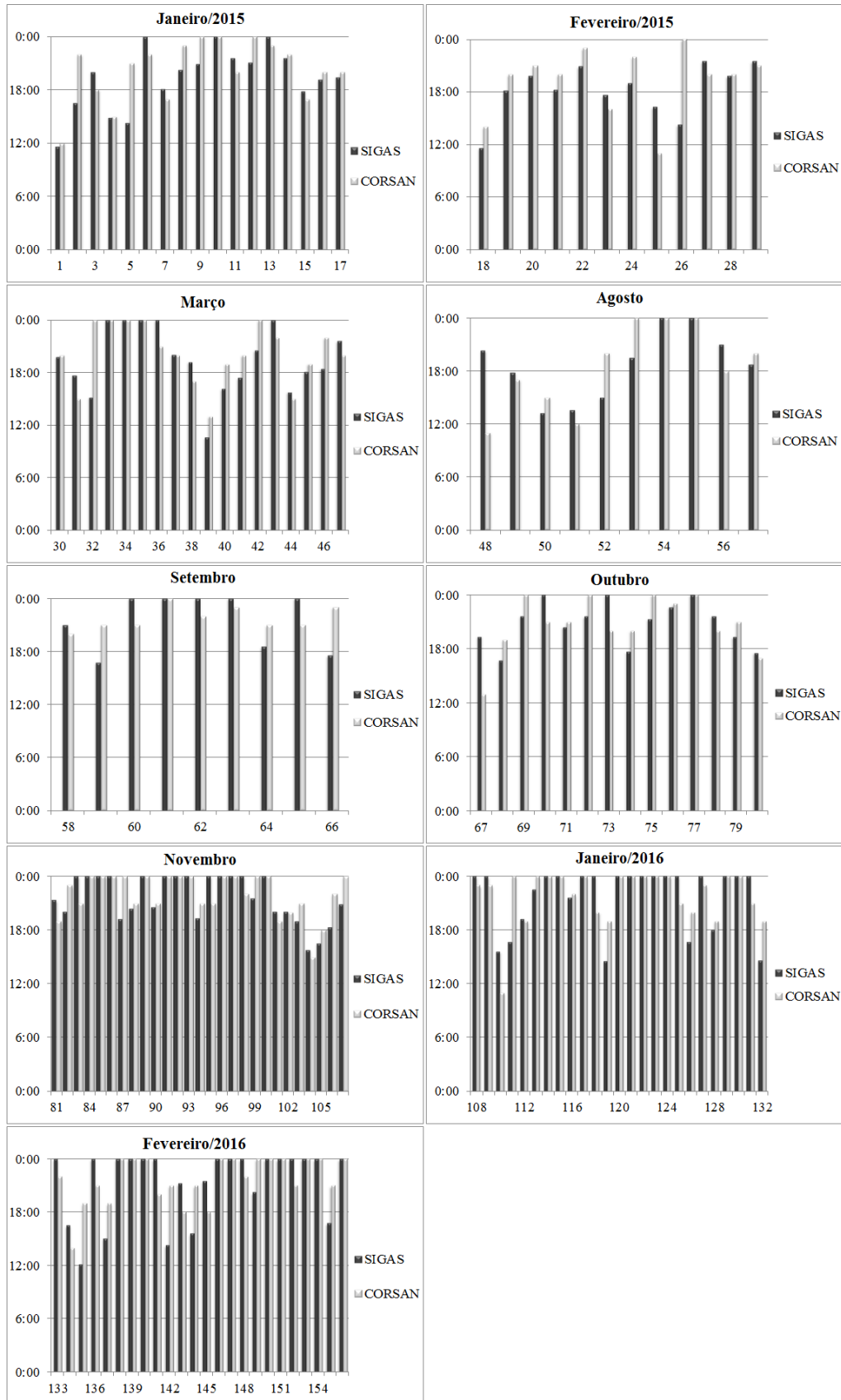


Figura 83: monitoramento do tempo de bombeamento no poço CBA 3A. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

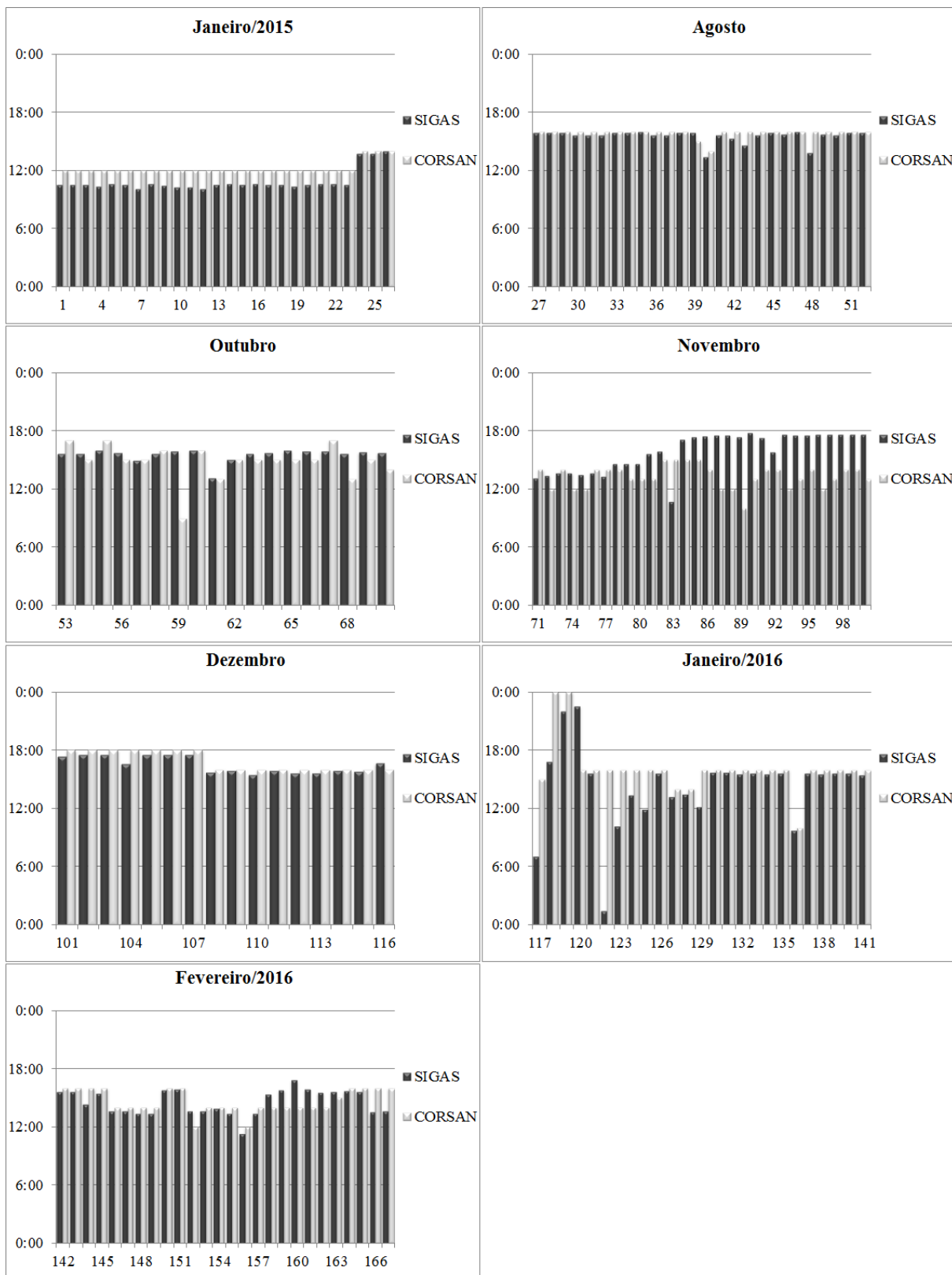


Figura 84: monitoramento do tempo de bombeamento no poço CBA 5A. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

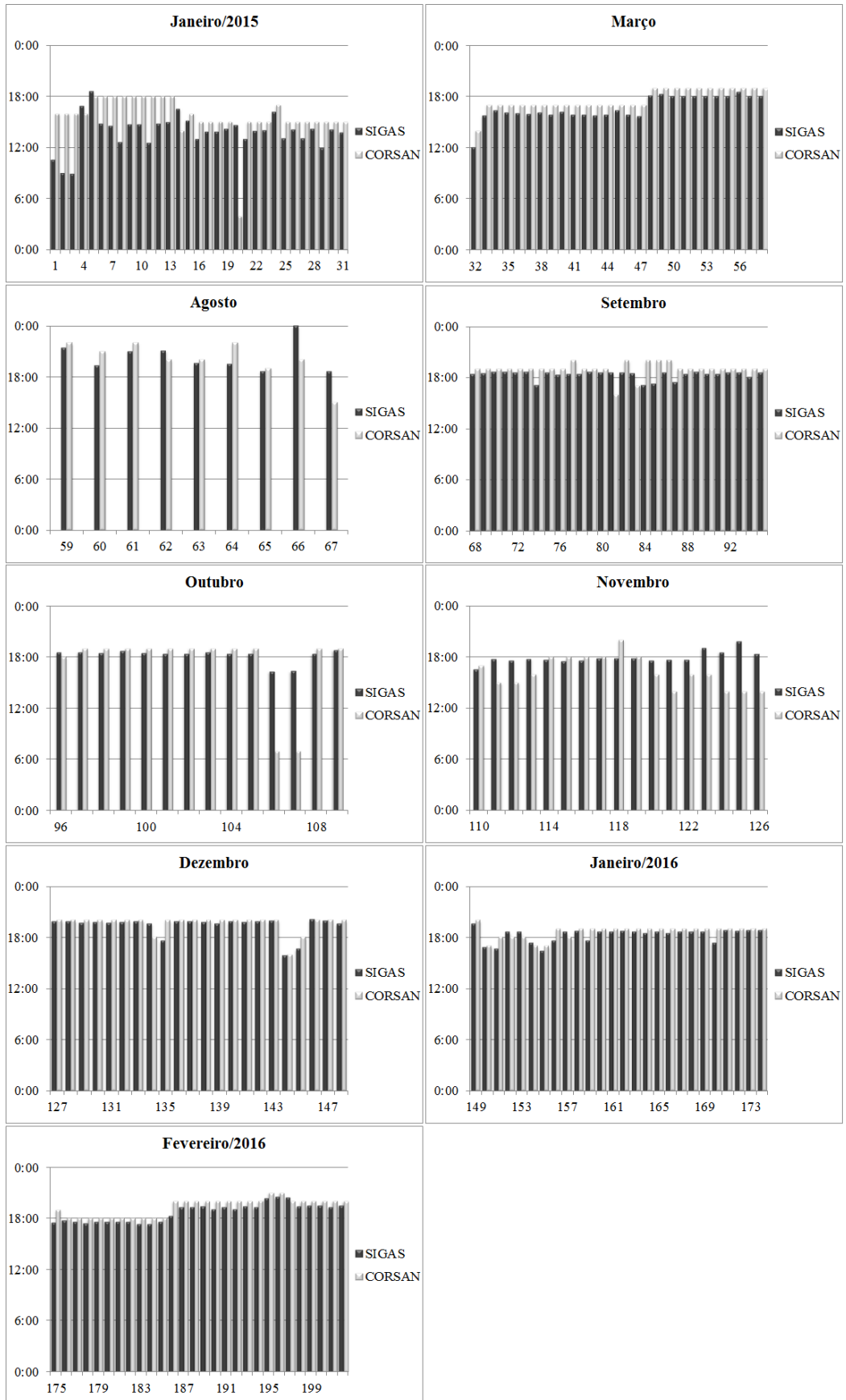


Figura 85: monitoramento do tempo de bombeamento no poço CBA 9. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

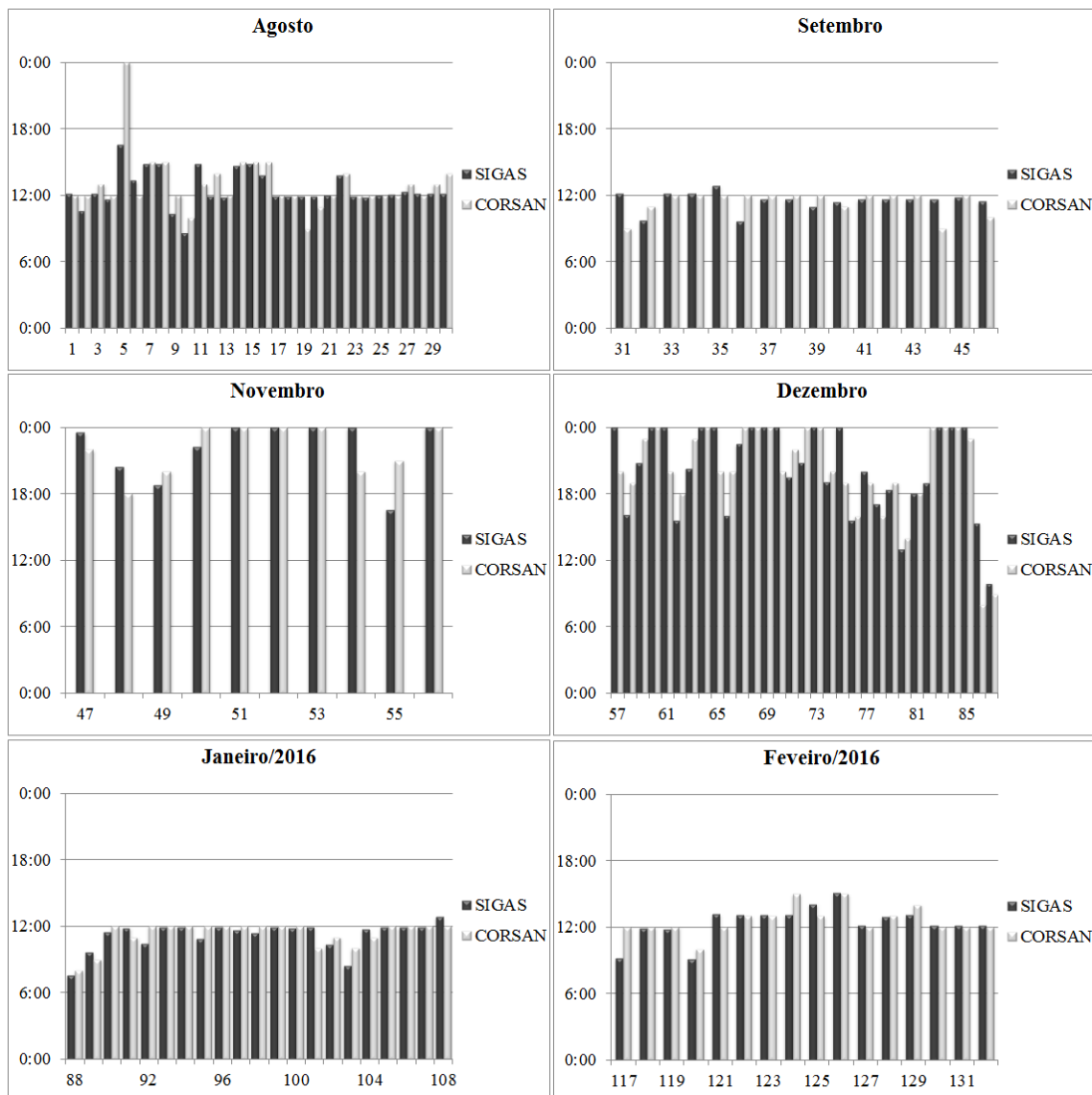


Figura 86: monitoramento do tempo de bombeamento poço CBA 11. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

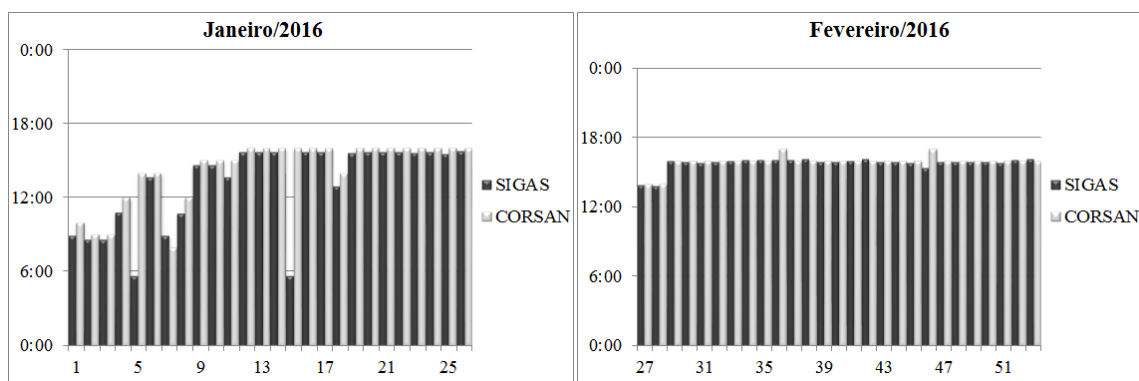


Figura 87: monitoramento do tempo de bombeamento poço CBA 12. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

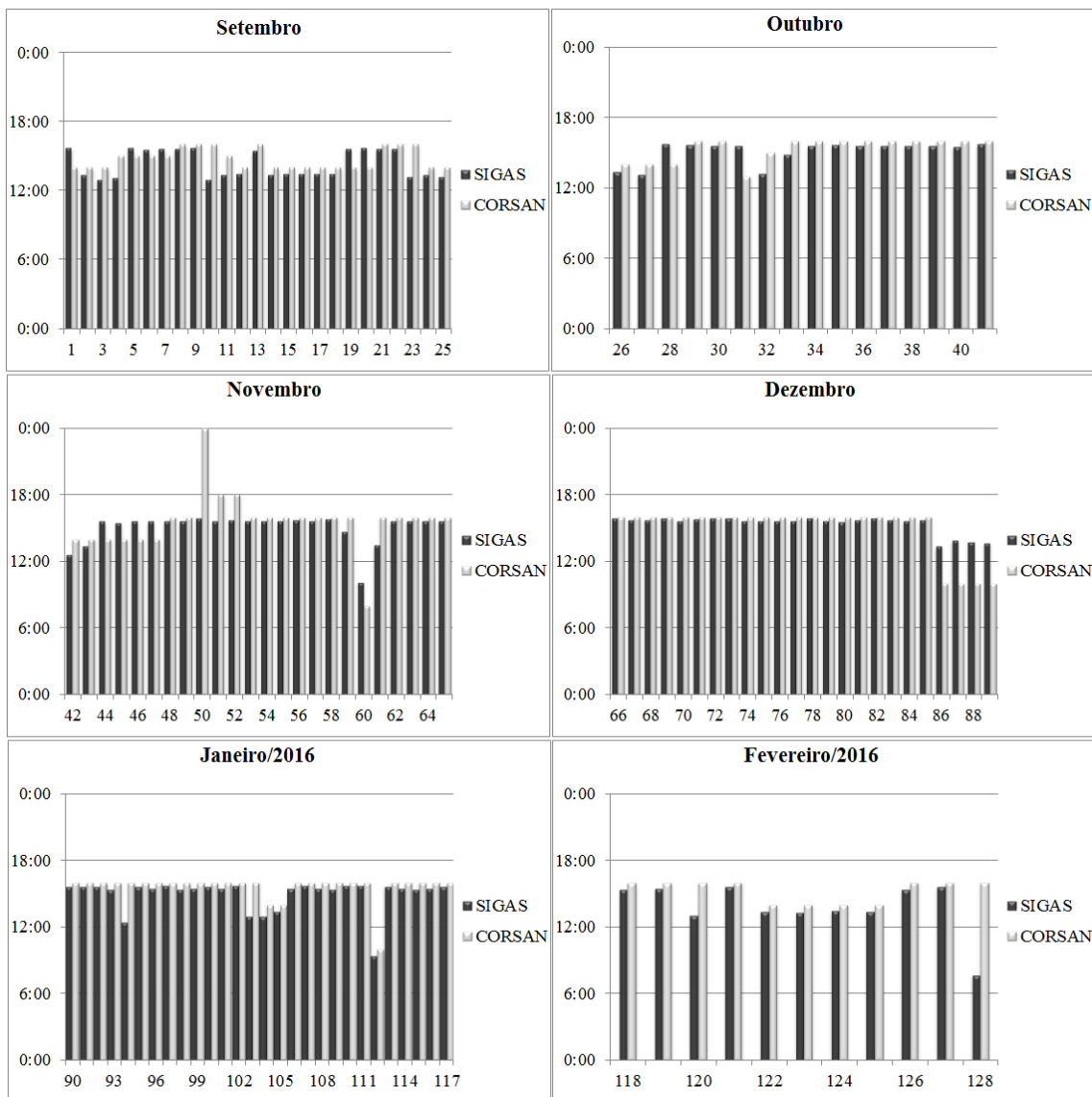


Figura 88: monitoramento do tempo de bombeamento poço CBA 18. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

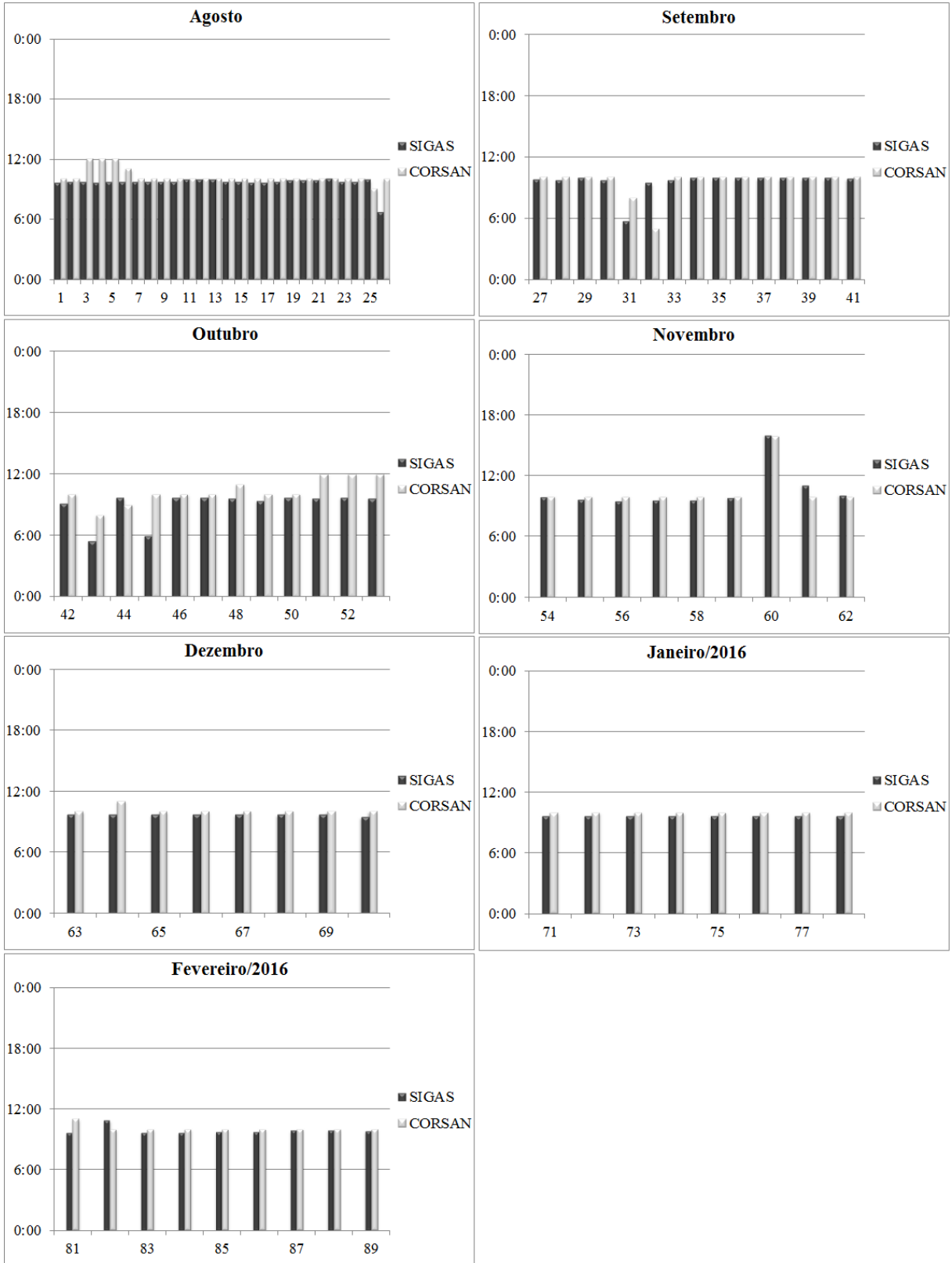


Figura 89: monitoramento do tempo de bombeamento poço CBA 26. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

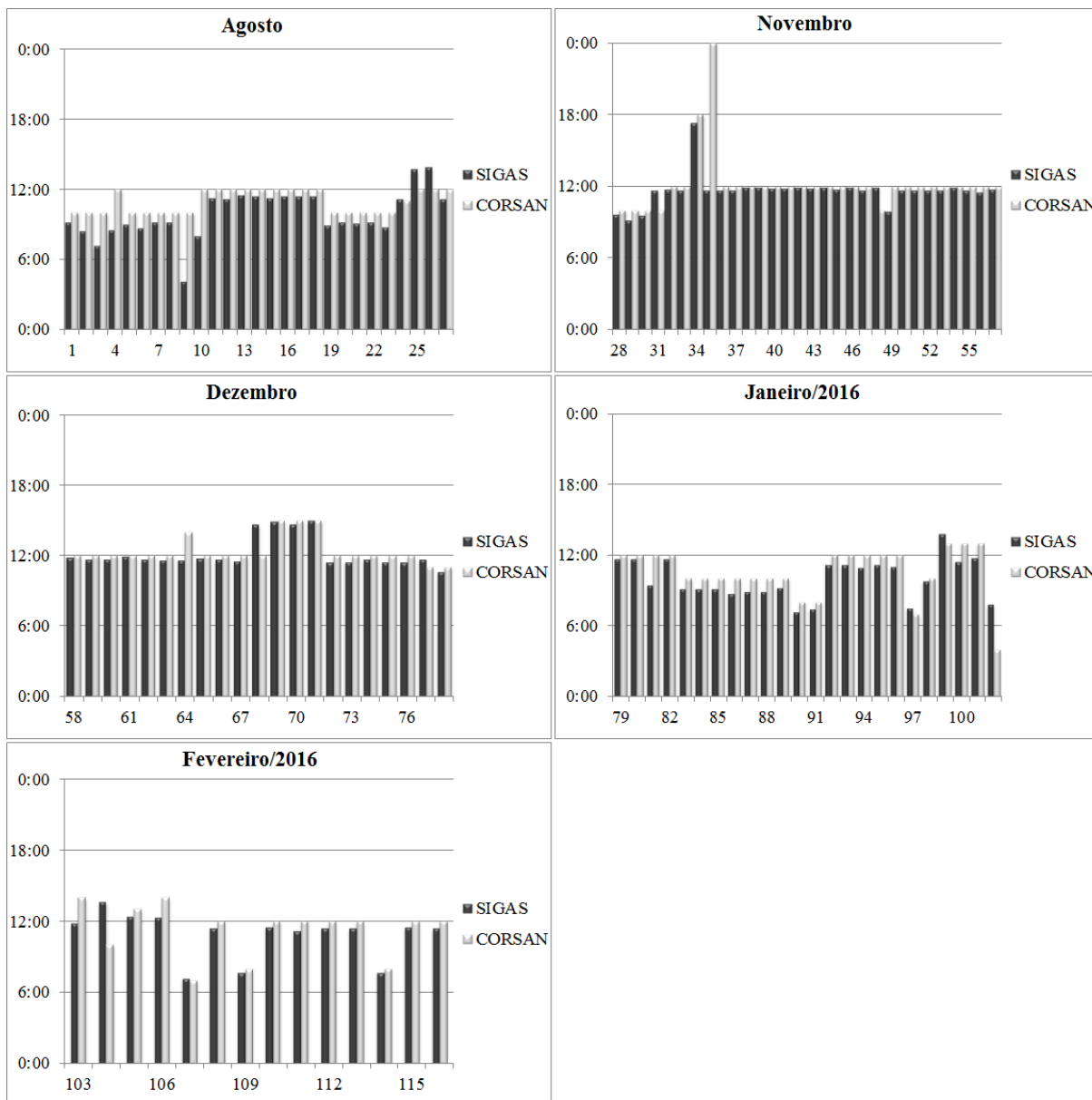


Figura 90: monitoramento do tempo de bombeamento poço CBA 34. Obs: no eixo y está o tempo de bombeamento e no x o período monitorado.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013 / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2013.432 p.
- AGUIAR, A.T.; ANDRADE, E.P.; HIRATA, R.C.A.; SILVA, R.B.G. 1984. DAEE – 10 anos de Experiências Acumulada na Exploração dos Recursos Hídricos Subterrâneos. In: *Anais do III Congresso de Águas Subterrâneas*. Fortaleza – Ceará.
- ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; 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. Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Petróleo Brasileiro S.A. (Petrobrás), 16p. e anexos.
- ATHAYDE, G.B.; ATHAYDE, C.V.M.; FILHO, E.F.R. Compartimentação Hidroestrutural e aptidões químicas do Sistema Aquífero Serra Geral no Estado do Paraná. *Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*. V.42, n. 1, p. 167-185, 2012.
- BELITZ, K.; DUBROVSKY, N.; JOHSON, T.; MILBYDAWSON, B.J. California Groundwater Quality Monitoring: Framework for a Comprehensive, Statewide Program. Denver Annual Meeting. Geological Society of America. Abstracts with programns. Denver, v. 36, n. 5, 2004.
- BERTACHINI, A.C. 1987. *Estudo das características hidrogeológicas dos terrenos cristalinos sob clima úmido, na região de Jundiá*. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 180 p.
- BETIOLLO, L. M. 2006. *Caracterização estrutural, hidrogeológica e hidroquímica dos sistemas aquíferos Guarani e Serra Geral no nordeste do Rio Grande do Sul, Brasil*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 117 p.
- BORTOLIN, T.A. 2014. *Padrões Hidroquímicos e Isotópicos do Sistema Aquífero Serra Geral no município de Carlos Barbosa, Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 119 p.
- CARDOSO, F. B.F.; OLIVEIRA, F. R.; NASCIMENTO, F.S.; NETO, P.V.; FLORES, P.M. 2008. Poços Tubulares construídos no Brasil. In: *Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVI Encontro Nacional de Perfuradores de Poços*. Natal, Rio Grande do Norte.
- CPRM. (2010) Mapeamento geológico integrado da bacia hidrográfica do Guaíba: carta geológica: FolhaSH.22-V-D – Caxias do Sul. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Porto Alegre (Brasil). 1 mapa color. Escala 1:250.000. Material cartográfico.
- DIAS, C.L. ; BARBOUR, E.D.A. ; MODESTO, R.P. ; CASARINI, D.C.P. 2008. A Importância do Monitoramento Das Águas Subterrâneas na Gestão dos Recursos Hídricos. In: *Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Natal - Rio Grande do Norte.

DIAS, F.A. 2013. Caracterização Estrutural e Hidrogeológica do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) na região de Carlos Barbosa (RS). Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 58 p.

DNR – Iowa Department of Natural Resources . About groundwater monitoring. Disponível em: <<http://wqm.igsb.uiowa.edu/activities/groundwater/AboutGWmonitoring.htm>>.

EUROPEAN COMMUNITIES. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance Document No15. Guidance on GROUNDWATER Monitoring. Technical Report – 002 – 2007. Luxemburgo: European Communities, 52p.

FERNANDES, A.J. Aquíferos Fraturados: Uma Revisão dos Condicionantes Geológicos e dos Métodos de Investigação. *Revista do Instituto Geológico*, v. 29, n. 1/2, p. 49-72, 2006.

FREITAS, M.A.; BINOTTO, R.B.; NANNI, A.S.; RODRIGUES, A.L.M.; BORTOLI. Avaliação do Potencial Hidrogeológico, Vulnerabilidade Intrínseca e Hidroquímica do Sistema Aquífero Serra Geral no Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 2, p. 31-41, 2012.

GOFFERMANN, M. ; TROIAN, G.C. ; FREITAS, M.A. 2013. Rede Básica Nacional de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas (RIMAS) nos Estados do RS e SC. In: *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves - Rio Grande do Sul*.

HAUSMAN, A. Avaliação Qualitativa de Aquíferos Fissurados. In: I Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Recife - Pernambuco. Anais p.537-544, 1980

HAUSMAN, A. Comportamento do Freático nas Áreas Basálticas do Rio Grande do Sul. Curitiba, Bol. Paranaense de Geografia, n. 18, p. 20, 1966.

HAUSMAN, A. Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS. Estudos Tecnológicos: Acta Geológica Leopoldensia, Série Mapas. n 2, p.1-127, 1995.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2000. Rio de Janeiro, 2002.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008. Rio de Janeiro, 2010.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa geomorfológico do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, 1995.

KOREIMANN C.; GRATH, J; WINKER, G.; NAGY, W.; VOGEL, W.R. Groundwater Monitoring in Europe. Topic Report n° 10/96. European Environmental Agency. Copenhagen: 1996. Disponível em: <http://reports.eea.eu.int/92-9167-023-5/en/tab_abstract_RLR>.

LASTORIA, G.; SINELLI, O.; KIANG, C.H.; HUTCHEON, I.; PARANHOS FILHO, A.C.; GASTMANS, D. Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 20, n. 1, p. 139-150, 2006.

LEAL, A.S. As águas subterrâneas no Brasil: Ocorrências, Disponibilidades e Uso. In: FREITAS, M.A.V. (Org.). O Estado das Águas no Brasil. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas; Ministério do Meio Ambiente, Secretaria dos Recursos Hídricos, Ministério de Minas e Energia, 1999. 334p.

LEINZ, V. Contribuição à Geologia dos Derrames Basálticos do Sul do Brasil. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras*. Universidade de São Paulo, v.3, n. 5, p.61, 1949.

LISBOA, N.A. 1996. *Fácies, estratificações hidrogeoquímicas e seus controladores geológicos, em unidades hidrogeológicas do sistema aquífero Serra Geral, na bacia do Paraná, Rio Grande do Sul*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 135 p.

MACHADO, J.L.F.; FREITAS, M.A. de. Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul: relatório final. Porto Alegre. CPRM. 65p. il. mapa. 2005.

MANASSES, F.; FILHO, E.F.R.; HINDI, E.C.; BITTENCOURT, A.V.L. Estudo Hidrogeológico da Formação Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, v. 64, n. 65, p. 59-67, 2011.

MILANI, E. J. 1997. *Evolução tecnoestratigráfica da bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana sulocidental*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 255 p.

MILANI, E.J., RAMOS, V.A. Orogenias Paleozóicas no Domínio Sul-ocidental do Gondwana e os Ciclos de Subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 28, n. 4, p. 473-484, 1998.

MOURÃO, M.A.A.; PEIXINHO, F.C. 2012. A Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil. In: *XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Bonito – Mato Grosso do Sul.

MOURÃO, M.A.A. Projeto “Implantação de Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas”. 2009. Disponível em:<
http://www.cprm.gov.br/publique/media/proposta_monitoramento_CPRM_2009.pdf >
Acesso em: 12 de fevereiro, 2015.

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. F. As rochas vulcânicas mesozoicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, n.1, p. 178-195, 2008.

NEVES, M.A. 2005. *Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiáí*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Metalúrgica e dos Materiais. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 200 p.

PESSOA, M. D.; MENTE, A.; LEAL, O. 1980. Províncias Hidrogeológicas Adotadas Para o Mapa Hidrogeológico do Brasil na Escala 1:2.500.000. In: *Anais do I Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas*, Recife - Minas Gerais.

PJS GEOLOGIA LTDA. Plano Municipal de Saneamento Básico de Carlos Barbosa Versão Preliminar 1. 2013. Disponível em: <http://www.carlosbarbosa.rs.gov.br/site/uploads/files/plano_%C3%81gua_esgoto_drenagem_-_vpre1.pdf> Acesso em: 17 de dezembro, 2014.

PORCHER, C. A.; LOPES, R. da C. (Orgs.). Cachoeira do Sul, folha SH.22-Y-A: escala 1:250.000. Rio de Janeiro: CPRM, 2000. 1 CD-ROM.

PREFEITURA de CARLOS BARBOSA. Perfil. Disponível em:<<http://www.carlosbarbosa.rs.gov.br/paginas/perfil-da-cidade/1>> Acesso em: 16 de dezembro, 2014.

RADAM/BRASIL. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso Potencial da Terra. 1986. Rio de Janeiro: IBGE 796p. (Levantamento de Recursos Naturais, v.33).

REBOUÇAS, A. da C. Groundwater in Brazil. *Episodes*, v.11, n. 3, p.209-214, 1988.

REBOUÇAS, A. da C.; FRAGA, C. G. Hidrogeologia das Rochas Vulcânicas do Brasil. *Revista Águas Subterrâneas*, v. 12, n. 1, p. 30-55, 1988.

REGINATO, P. A. R.; AHLERT, S.; GILIOLI, K. C.; CEMIN, G. Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica do Aquífero Livre Localizado no Manto de Alteração da Formação Serra Geral, na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n. 2, p. 143-162, 2012.

REGINATO, P. A. R.; STRIEDER, A. J. 2005. Caracterização Hidrogeológica dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação Serra Geral na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: *I Aguasul - I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul e I Simpósio de Águas da AUGM*, Santa Maria – Rio Grande do Sul.

REGINATO, P.A.R. 2003. *Integração de Dados Geológicos para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 254 p.

REGINATO, P.A.R.; FINOTTI, A. R.; MICHELON, C. 2006. Relação entre Estruturas Primárias e a Locação de Poços Tubulares: Análise Preliminar. In: *Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Curitiba - Paraná.

REGINATO, P. A. R.; FINOTTI, A. R.; MICHELON, C. 2007. Comportamento Hidrogeológico de Poços Tubulares Associados a Estruturas Primárias da Rochas Vulcânicas da Formação Serra Geral. In: *Anais do XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul*. Gramado-RS.

REGINATO, P.A.R.; STRIEDER, A.J. Integração de Dados Geológicos na Prospecção de Aquíferos Fraturados na Formação Serra Geral. *Revista da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*. V.20, n.1, p. 1-14, 2006.

REGINATO, P. A. R.; BORTOLIN, T. A.; LEAO, M. I.; DIAS, F. A.; DUTRA, T. O.; PAIM, R. A. 2014. Avaliação da Circulação da Água Subterrânea em Aquíferos Fraturados com Base na Interpretação das Entradas de Água e Estruturas das Rochas Vulcânicas na Região de Carlos Barbosa (RS). In: *Anais do XVIII Congresso Brasileiro De Águas Subterrâneas*, Belo Horizonte - Minas Gerais.

ROISENBERG, A.; VIERO, A.P. 2002. O Vulcanismo Mesozoico da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. In: Holz, M.; De Ros, L.F. (Edit.). *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CIGO/UFRGS. Porto Alegre, 2000. 444p. il.- Edição Revista, 2002.

ROSA FILHO E.F. Contribuição ao Estudo das Águas Subterrâneas nos Basaltos no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, Curitiba, n. 37, p. 22-52, 1987.

SIQUEIRA, L.F.S. 2011. *Tectônica Deformadora em Sinéclises Intracratônicas: A Origem do Alto Estrutural de Pitanga, Bacia do Paraná, SP*. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica. Instituto de Geociências, Universidade Federal de São Paulo. São Paulo, 62 p.

TOMAZELLI, L. J.; DILLENBURG, S. R.; VILLWOCK, J. A.; BARBOZA, E.G.; BACHI, F. A.; DEHNHARDT, B. A.; ROSA, M. L. C. C. Sistemas deposicionais e evolução geológica da planície costeira do Rio Grande do Sul: uma síntese. In: IANNUZZI, R.; FRANTZ, J. C. (Ed.). *50 anos de geologia: Instituto de Geociências, contribuições*. Porto Alegre: Comunicação e Identidade, 2007. p. 327-340.

VIERO, A.M.; FREITAS, M.A.; CAYE, B.R. 2002. Estágio Atual do SIAGAS no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: *XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Florianópolis - Santa Catarina.

VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade da (Orgs.). *Geodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: CPRM, 2010. 1 DVD. Programa Geologia do Brasil - PGB. Levantamento da Geodiversidade.

WILDNER, W.; ORLANDI FILHO, V.; GIFFONI, L.E. 2006. Itaimbezinho e Fortaleza, RS e SC- Magníficos Cânions Esculpidos nas Escarpas Aparados da Serra do Planalto Vulcânico da Bacia do Paraná. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A.; Souza, C.R.G.; Fernandes, A.C.S. (Edit.). *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Disponível em: <<http://www.unb.br/ig/sigep/sitio050/sitio050.pdf>>. Publicado em: 01 jul. 2006. Acesso em: 19 ago. 2014.

ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.C.J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. 1990. Bacia do Paraná. In: RAJA GABAGLIA, G.P. & MILANI, E.J. (Coords.) *Origem e Evolução das Bacias Sedimentares*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, p.135-168.