

## **I-192 - PROJETO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PARA EXPANSÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO CONDOMÍNIO RESIDENCIAL TOTAL LIFE**

**Filipe Castro Pereira<sup>(1)</sup>**

Graduando de engenharia sanitária e ambiental na Universidade Federal do Pará.

**Rubens Takeji Aoki Araújo Martins<sup>(2)</sup>**

Graduando de engenharia sanitária e ambiental na Universidade Federal do Pará.

**Moisés Marçal Gonçalves<sup>(3)</sup>**

Graduando de engenharia sanitária e ambiental na Universidade Federal do Pará.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Conjunto Paar, Travessa Ícana, Quadra 44, Nº 04, Ananindeua - PA - CEP: 67145-505 - Brasil - Cel: (91) 982179905 - e-mail: [filipe.72castro@gmail.com](mailto:filipe.72castro@gmail.com)

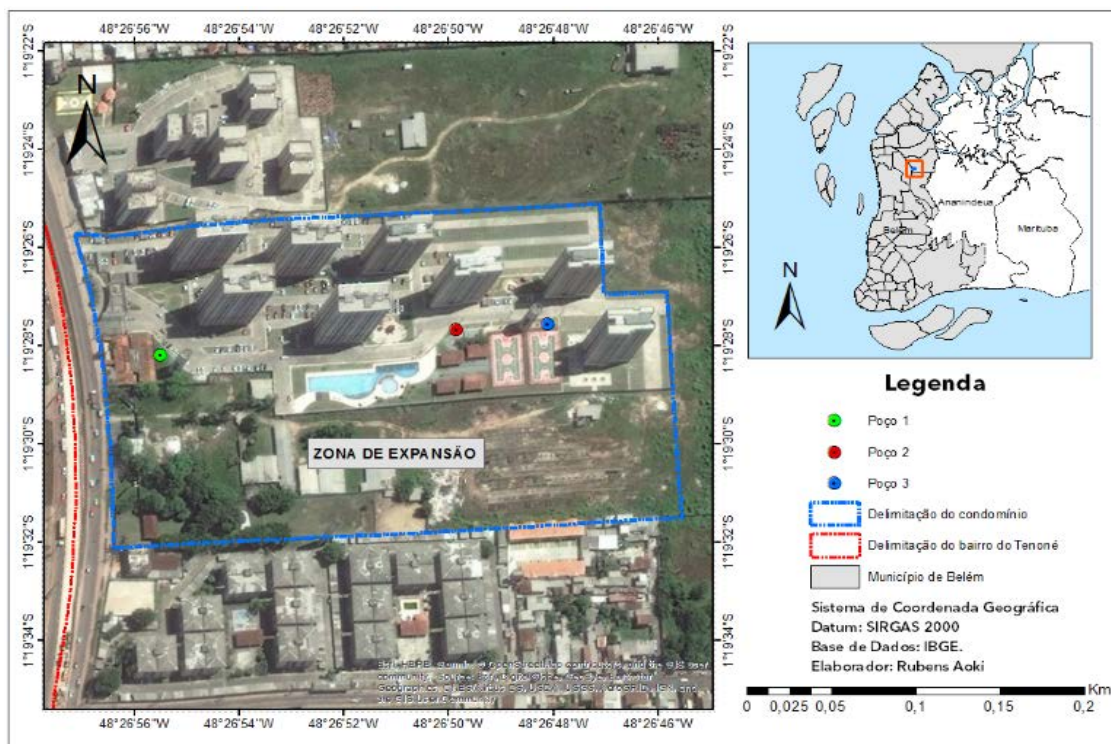
### **RESUMO**

O condomínio Residencial Total Life localiza-se na região metropolitana de Belém, na rodovia Augusto Montenegro, no bairro do Tenoné, 3975 e possui coordenadas latitude 1°19'27.31"S e longitude 48°26'51.83"O. O empreendimento foi classificado como um condomínio de alto padrão com consumo per capita de água de 300 L/habitante.dia. O sistema de água local conta com três poços rasos capazes de suprir esta demanda atual. Entretanto, o condomínio tem um projeto de expansão que visa construção de mais seis torres residenciais em uma área disponível ao lado do atual empreendimento. Este projeto tem como objetivo propor um sistema de captação de água subterrânea para o condomínio residencial Total Life, visando atender a demanda de água prevista para a ampliação do empreendimento. Então foi realizado o levantamento dos poços existentes próximo a um raio de 2 km do empreendimento, a partir dos dados disponíveis no SIAGAS da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais) e em seguida, montou-se um banco de dados com o auxílio do software Excel 2016 com informações dos poços como: código, natureza, localização, profundidade, diâmetro, aquífero explorado, nível estático, nível dinâmico, vazão específica, rebaixamento, posição dos filtros e entre outros. Após a escolha da melhor alternativa, foi realizada a análise dos poços tubulares profundos existentes dentro do raio proposto pelo estudo (2 km). Ao todo foram identificados dois poços, ao qual captam água do aquífero confinado, *Pirabas*. Recomenda-se então a construção do poço por meio do método de sistema rotativo com circulação direta, devido a sua simplicidade e indicação para rochas sedimentares, além de proporcionar uma maior rapidez na perfuração neste tipo de rochas. O poço deve produzir no mínimo 51 m³/h e ter profundidade de 270 metros. A seleção do conjunto motor-bomba mais adequado para as características do sistema e do poço foi realizada utilizando o catálogo de seleção de curvas e cabos para bombas modelo 4BPS, BHS e QC da fabricante EBARA para bombas submersas. Após avaliação da melhor concepção de projeto para o condomínio residencial Total Life, conclui-se que a melhor alternativa seria a construção de um poço tubular profundo que, apesar de apresentar custo de implantação mais elevado, apresenta maior segurança sanitária ao empreendimento. No entanto, deve-se recomendar ao cliente que ao utilizar filtros de aço inox a vazão a ser captada pode triplicar, aumentando o custo benefício da perfuração e justificando de forma satisfatória o investimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Residencial Total Life, Abastecimento de água, Projeto de poço tubular.

### **INTRODUÇÃO**

O condomínio Residencial Total Life localiza-se na região metropolitana de Belém, na rodovia Augusto Montenegro, no bairro do Tenoné, 3975 (**Figura 1**) e possui coordenadas latitude 1°19'27.31"S e longitude 48°26'51.83"O. O empreendimento avaliado possui área de aproximadamente 35 mil m², trata-se de um condomínio vertical residencial de multipavimentos. Atualmente o empreendimento conta com oito torres residenciais, sendo que cada torre possui quatorze pavimentos com área de 470 m², com seis apartamentos cada, e com uma taxa de ocupação de quatro pessoas por apartamento.



**Figura 1 - Mapa de localização do condomínio residencial Total Life**

O empreendimento foi classificado como um condomínio de alto padrão com consumo per capta de água de 300 L/habitante.dia. Atualmente estima-se que o condomínio possa abrigar cerca de 2688 habitantes e possua uma demanda média de água de 806,4 metros cúbicos por dia (sem considerar as perdas e as flutuações de consumo – k1). O sistema de água local conta com três poços rasos capazes de suprir esta demanda atual. Entretanto, o condomínio tem um projeto de expansão que visa construção de mais seis torres residenciais em uma área disponível ao lado do atual empreendimento.

Desta forma, este trabalho propõe uma alternativa de projeto de captação de água para abastecimento para atender os seis novos blocos. Neste trabalho, buscou-se avaliar qual a melhor opção de poço para esta ampliação, definindo, ao final, o projeto mais indicado para o condomínio.

## OBJETIVOS

Este projeto tem como objetivo propor um sistema de captação de água subterrânea para o condomínio residencial Total Life, visando atender a demanda de água prevista para a ampliação do empreendimento. O projeto consiste na proposição da construção de um poço tubular profundo na propriedade, visando a adequação do sistema de abastecimento de água local.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente foi realizado o levantamento dos poços existentes próximo a um raio de 2 km do empreendimento, a partir dos dados disponíveis no SIAGAS da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). Em seguida, montou-se um banco de dados com o auxílio do software Excel 2016 com informações dos poços como: código, natureza, localização, profundidade, diâmetro, aquífero explorado, nível estático, nível dinâmico, vazão específica, rebaixamento, posição dos filtros e entre outros. O objetivo era mapear e avaliar as características hidrogeológicas da área de estudo, para obtenção da capacidade média de produção dos poços próximos, além de se conhecer a litologia local. Com isto, observou-se a existência de quarenta e um poços tubulares dentro do raio de estudo, sendo três abastecendo o empreendimento. Diante disso, realizou-se uma visita técnica no condomínio, com o intuito de se observar o sistema de abastecimento de água, bem como,

fazer uma análise da situação dos três poços. Então realizou-se o diagnóstico do sistema de abastecimento local para formulação do projeto.

Após a escolha da melhor alternativa, foi realizada a análise dos poços tubulares profundos existentes dentro do raio proposto pelo estudo (2 km). Ao todo foram identificados dois poços, ao qual captam água do aquífero confinado, *Pirabas*. O objetivo desta análise era a obtenção do poço profundo com as características mais próximas possíveis das apresentadas pelos poços do condomínio. Esta análise foi feita a partir do perfil construtivo dos poços e dos dados litológicos apresentados pelos relatórios disponíveis no SIAGAS. Sabe-se que esta aproximação possui bastante imprecisão, no entanto, para uma estimativa inicial e elaboração de um pré-projeto, considerou-se aceitável.

A alternativa 1 consiste na construção de dois poços tubulares rasos com profundidade média de 40 metros. Estes poços apresentariam características próximas aos existentes na propriedade, com produção suficiente para atender a demanda futura. Como vantagens, esta alternativa apresenta menor custo de implantação e qualidade da água razoavelmente boa. Além disso, caso haja eventuais paralisações em algum dos dois poços, o outro pode aguentar a demanda enquanto ocorre a manutenção. No entanto, sem nenhuma garantia de permanência, tendo em vista a elevada vulnerabilidade do aquífero e a tendência de adensamento populacional, devido haverem vários “vazios urbanos” na área.

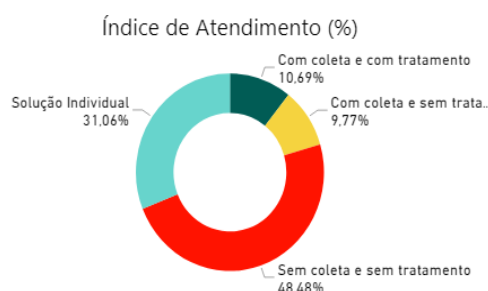
A alternativa 2 consiste na construção de apenas um poço tubular profundo com profundidade média de 270 metros. A principal vantagem desta opção é captação de uma água de excelente qualidade e garantia de permanência, tendo em vista baixa vulnerabilidade do aquífero, por se tratar de um aquífero confinado e de elevada profundidade. No entanto, os custos de implantação são maiores que os previstos para a alternativa 1, e a paralisação do poço pode comprometer o abastecimento dos blocos previstos na expansão.

Após avaliar as duas alternativas de concepção, adotou-se a alternativa 2. Apesar dos poços existentes apresentarem qualidade de água relativamente boa, não é recomendado a captação de água do aquífero livre, tendo em vista a sua elevada vulnerabilidade natural. Além do mais, a área é considerada uma zona de expansão pelo plano diretor do município, o que indica que há uma tendência de adensamento populacional.

## RESULTADOS ESPERADOS

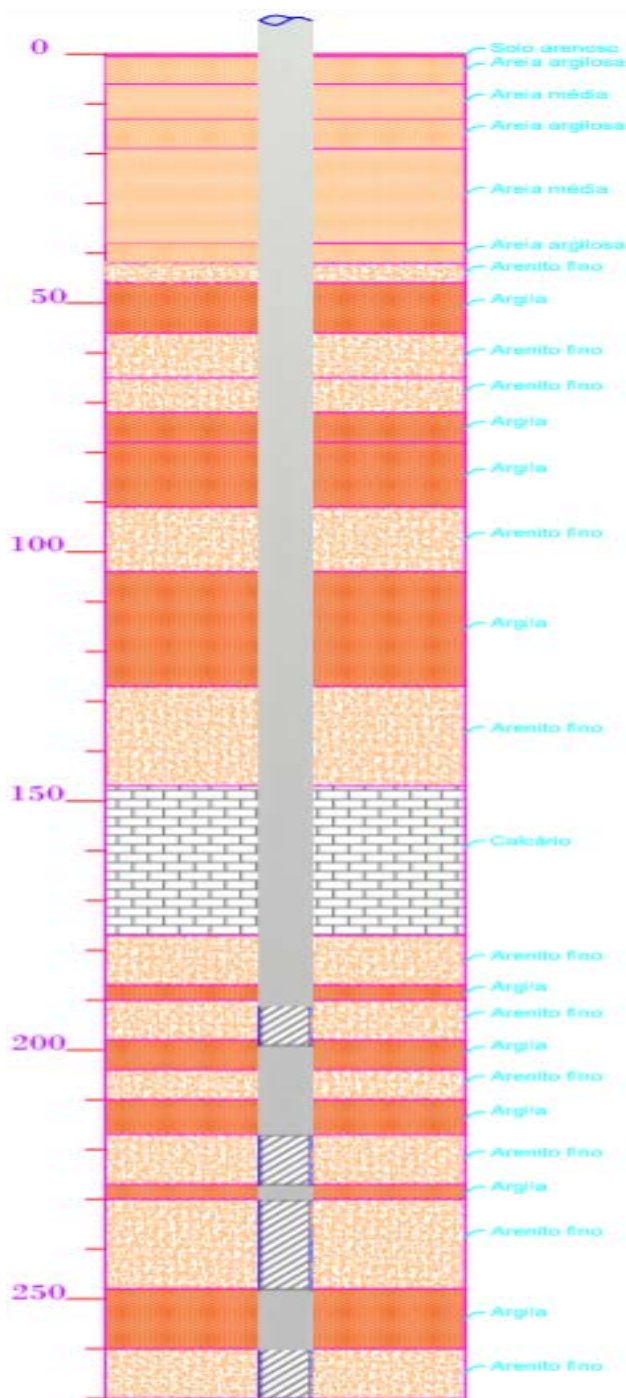
A escolha da alternativa 2 é justificada pelo baixo índice de coleta de esgoto na cidade de Belém do Pará. Na **Figura 2** apresentada pelo Atlas de esgotos da Agência Nacional de Águas (2017) para o município de Belém, é possível observar que apenas 10,69% do esgoto que é gerado no município é coletado e tratado pela COSANPA. Apenas 31,06% apresentam soluções individuais, cuja principal destinação são fossas sépticas e 48,48% não apresentam quaisquer soluções de coleta ou tratamento.

Esta situação do saneamento em Belém é bastante preocupante e nos últimos anos não apresentou tendências de melhoras. Ao contrário do crescimento da cidade, que em função da saturação do centro, cresce em direção da Avenida Augusto Montenegro (onde está localizado o empreendimento). Por este motivo, preferiu-se adotar uma postura mais conservadora quanto a previsão da situação futura para o condomínio, escolhendo-se a alternativa 2 como a mais sensata e vantajosa.



**Figura 2 - Índice de atendimento de coleta e tratamento de esgoto no município de Belém**

Para a construção do perfil do poço (**Figura 3**), comparou-se metro a metro o perfil litológico dos poços 17 e 32 com o perfil litológico dos três poços localizados dentro do empreendimento. Após comparação, verificou-se que grande parte das camadas litológicas do poço 17 foram compatíveis com as dos três poços localizados no condomínio. Com isso, admitiu-se este como sendo o poço tubular profundo de base. O poço foi dimensionado seguindo as recomendações da NBR 12 212/92 - Projeto de poço para captação de água subterrânea.



**Figura 3 - Perfil construtivo estimado para o novo poço**



## ESTIMATIVA DA POPULAÇÃO DE PROJETO

A estimativa da população foi feita baseada na saturação dos blocos, ou seja, verificou-se a taxa de ocupação máxima por apartamento, baseada no “apartamento tipo”, para em seguida calcular o número de moradores máximo em cada bloco. Em outras palavras, a população utilizada não reflete diretamente a população atual, e sim a população máxima que a expansão pode apresentar. Para isto, foi usada a **Equação 1**:

$$Pop = Tx * NAPT * NPAV * NB \quad (\text{Equação 1})$$

Onde Pop é a população de saturação do condomínio (habitantes), Tx é a taxa de ocupação dos apartamentos (habitantes/apartamento), NAPT é o número de apartamentos por pavimento (apartamento/pavimento), NPAV é Número de pavimentos por blocos (pavimento/bloco) e NB é o Número de blocos (blocos).

$$Pop = 4 \left( \frac{\text{habitantes}}{\text{apartamento}} \right) \times 6 \left( \frac{\text{apartamentos}}{\text{pavimento}} \right) \times 14 \left( \frac{\text{pavimentos}}{\text{bloco}} \right) \times 6 \text{ blocos}$$

$$Pop = 2016 \text{ habitantes}$$

## CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO

A vazão média do sistema de produção foi calculada a partir do consumo per capita do condomínio, população de saturação e considerando as perdas no sistema de distribuição. A vazão média, portanto, em m³/h, foi obtida pela seguinte **Equação 2** adaptada de Tsutiya (2013):

$$Q_{\text{méd}} = \left( \frac{q \times Pop}{24 \times 1000} \right) \times \left( 1 + \frac{\text{Perdas no sistema}(\%)}{100} \right) \quad (\text{Equação 2})$$

Onde Q méd é a vazão média do sistema (m³/h), q é Consumo *per capita* (L/hab.dia) e Pop é a população de saturação da expansão (habitantes);

$$Q_{\text{méd}} = \left( \frac{300 \times 2016}{24 \times 1000} \right) \times \left( 1 + \frac{10}{100} \right) = 27,8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Em seguida, a vazão máxima diária pela **Equação 3**:

$$Q_d = Q_{\text{méd}} \times K1 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde Qd é a vazão máxima diária (m³/h) e K1 é o coeficiente do dia de maior consumo.

$$Q_d = 27,8 \times 1,2 = 33,4 \text{ m}^3/\text{h}$$

E finalmente pôde-se calcular pela **Equação 4** a vazão de produção do sistema, considerando um funcionamento intermitente da bomba, com duração máxima de 16 horas por dia.

$$Q_{\text{prod}} = Q_d \times \left( \frac{24}{16} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

$$Q_{\text{prod}} = 33,4 \times \left( \frac{24}{16} \right) = 50,1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Adotando-se 51m³/h como vazão a ser captada pelo novo sistema de produção da expansão do condomínio.

Recomenda-se então a construção do poço por meio do método de sistema rotativo com circulação direta, devido a sua simplicidade e indicação para rochas sedimentares. Além de proporcionar uma maior rapidez na perfuração neste tipo de rochas. O poço deve produzir no mínimo 51 m³/h e ter profundidade de 270 metros. O diâmetro de perfuração do poço deverá ser no máximo três vezes o diâmetro do revestimento e no mínimo

possuir uma folga de 75 mm entre a parede do revestimento e a parede do poço. O revestimento e o filtro deverão ser de plástico geomecânico devido apresentarem menor preço e atenderem as demandas de projeto. Com relação as zonas de saturação a serem exploradas, estas estão localizadas no sistema aquífero Pirabas, nas profundidades indicadas no **Quadro 1** acima e possuem litologia predominante de arenito fino, sendo intercaladas por camadas de argila.

**Quadro 1 - Dados construtivos do poço**

Revestimento			
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)
0	191	Plástico geomecânico	12
199	217	Plástico geomecânico	8
227	230	Plástico geomecânico	8
248	260	Plástico geomecânico	8
Filtro			
De (m):	Até (m):	Material	Diâmetro (pol)
191	199	Plástico geomecânico	8
217	227	Plástico geomecânico	8
230	248	Plástico geomecânico	8
260	270	Plástico geomecânico	8

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dentre os 41 poços identificados no raio de 2Km, os poços profundos que serviram de base para a elaboração do projeto correspondem ao de número 17 e 32 e possuem os seguintes códigos no SIAGAS:1500003839 e 1500003760. O poço 17 está localizado na rua Eduardo Angelim de propriedade da SAAEB e capta água do aquífero Pirabas, e o poço 32 está localizado no residencial Cordeiro de Farias de propriedade da COSANPA e capta água do aquífero Pirabas.

A partir do **Quadro 2** abaixo, pode-se verificar que o poço 32 apresenta vazão de produção muito superior ao poço 17 apesar de apresentarem condutividade hidráulica e comprimento de filtro razoavelmente próximos. Uma possível explicação para este fato é o material utilizado no filtro, sendo plástico geomecânico no poço 17 e aço inox no poço 32. De forma geral, os filtros feitos de plástico geomecânico tendem a produzir menores vazões, em função da sua menor área útil destinada a passagem de água, isto explica a grande diferença na vazão específica entre os dois.

**Quadro 2 - Quadro comparativo entre os dois poços profundos (17 e 32)**

Parâmetros	Poço 17	Poço 32
Código	1500003839	1500003760
Tipo de formação	Pirabas	Pirabas
Condição	Confinado	Confinado
Profundidade	270 m	271 m
Nível estático (NE)	26,0 m	28,74 m
Nível dinâmico (ND)	35,75 m	44,8 m
Vazão de estabilização (Qest)	99,0 m³/h	340 m³/h
Vazão específica (qesp)	8,426 m³/h.m	21,171 m³/h.m
Rebaixamento (S)	9,75 m	16,06 m
Transmissividade (T)	$4,28 \times 10^{-4}$ m²/s	$1,08 \times 10^{-3}$ m²/s
Condutividade (K)	$1,07 \times 10^{-3}$ cm/s	$2,5 \times 10^{-3}$ cm/s
Comprimento total de filtros	40 m	43,08 m
Material do filtro	Plástico geomecânico	Aço inox com rosca e luva
Diâmetro do filtro	8"	8"
Ranhura	0,50 e 0,75	Não informado

## DIMENSIONAMENTO DO POÇO

Recomenda-se a construção do poço por meio do método de sistema rotativo com circulação direta, devido a sua simplicidade e indicação para rochas sedimentares. Além de proporcionar uma maior rapidez na perfuração neste tipo de rochas.

O poço deve produzir no mínimo 51 m³/h e ter profundidade de 270 metros. O diâmetro de perfuração do poço deverá ser no máximo três vezes o diâmetro do revestimento e no mínimo possuir uma folga de 75 mm entre a parede do revestimento e a parede do poço.

O revestimento e o filtro deverão ser de plástico geomecânico devido apresentarem menor preço e atenderem as demandas de projeto. Com relação as zonas de saturação a serem exploradas, estas estão localizadas no sistema aquífero Pirabas, nas profundidades indicadas no **Quadro 2** e possuem litologia predominante de arenito fino, sendo intercaladas por camadas de argila. Os demais parâmetros serão apresentados após o dimensionamento a seguir.

## DIÂMETRO DO REVESTIMENTO

Na estimativa do diâmetro mínimo do revestimento, considerou-se as recomendações da NBR 12 212/92. Esta, indica uma velocidade vertical máxima de 1,5 m/s. Assim usamos a **Equação 5** para o cálculo do diâmetro interno.

$$D = \sqrt{\frac{4xQ}{\pi v}} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde D é o diâmetro interno mínimo (m), Q é a vazão de projeto (m³/s) e V é a velocidade vertical máxima (1,5 m/s).

$$D = \sqrt{\frac{4x0,01416}{\pi x 1,5}} = 0,164m$$

O diâmetro nominal mais próximo de 164 mm foi **8 polegadas ou 200 mm**. Portanto, a velocidade ascendente real é de:

$$v = \frac{4 x 0,01416}{\pi x 0,200^2} = 0,45 \text{ m/s}$$

## DIÂMETRO DO POÇO

O diâmetro do poço de 0-20m foi estabelecido em 24 pol, que corresponde a 609,6mm. De 20-110m foi estabelecido 22 pol, que corresponde a 558,8mm. E de 111-171m foi estabelecido 17 1/2 pol, que corresponde a 444,5m. Utilizou-se configuração similar a apresentada pelo poço 17, em função de respeitar os parâmetros estabelecidos anteriormente. Utilizando a **Equação 6** e **Equação 7** temos:

$$D_{min} = DR + 0,075 + 0,075 \quad (\text{Equação 6})$$

$$D_{min} = (0,200 + 0,075 + 0,075)m = 0,350 \text{ m}$$

$$D_{max} = 3 x DR \quad (\text{Equação 7})$$

$$D_{max} = 3 x 0,200 = 0,600 \text{ m}$$

Onde  $D_{mín}$  é o diâmetro mínimo do poço (m),  $D_{máx}$  corresponde ao diâmetro máximo do poço (m) e por fim,  $DR$  é o diâmetro do revestimento (m).

### RANHURA E COMPRIMENTO DO FILTRO

Para este poço considerou-se um comprimento total de 40 metros de filtro e uma velocidade de 0,080 m/s de entrada. A área de abertura total do filtro deverá ser obtida a partir da **Equação 8** (NBR 12 212/92):

$$A_o = \frac{Q}{3,14 \times L \times D \times v} \times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde  $A_o$  é a área aberta total (%),  $L$  é o comprimento do filtro (m),  $Q$  é a vazão a ser extraída ( $m^3/s$ ),  $D$  é o diâmetro do filtro (m) e  $v$  é a velocidade de entrada da água (m/s)

$$A_o = \frac{0,01416}{3,14 \times 40 \times 0,200 \times 0,080} \times 100$$

$$A_o = 0,70$$

Portanto, recomenda-se uma ranhura de 0,70 ou 0,75 nos filtros do poço.

### ESTIMATIVA DO NÍVEL ESTÁTICO (NE)

Neste tópico somente serão apresentados os resultados dos cálculos, as explicações de cada passo foram explicadas no item métodos.

Primeiro, deve-se converter os níveis estáticos em cotas:

Poço 17:

$$CE = 21 \text{ m} - 26 \text{ m} = -5 \text{ m}$$

Poço 32:

$$CE = 12 \text{ m} - 28,74 \text{ m} = -16,7 \text{ m}$$

Os sinais negativos indicam que as cotas estáticas estão situadas abaixo do nível de referência (cota 0). Após o cálculo das cotas estáticas, verificou-se que o menor potencial está em direção do poço 32. Traçando a linha piezométrica, estimou-se a cota estática do novo poço, sabendo que a distância entre os poços 17 e 32 é de  $D = 2\,580 \text{ m}$  e a distância entre o novo poço e o poço 32 é de  $d = 1\,330 \text{ m}$ . Então:

$$\frac{-5 - (-16,7)}{CEX - 16,7} = \frac{2580}{1330}$$

$$\frac{11,7}{CEX - (-16,7)} = \frac{2580}{1330} = -10,6 \text{ m}$$

Para converter para Nível estático basta utilizarmos a **Equação 9**, sabendo que a cota do terreno onde será construído o poço será de 22 metros:

$$NE = CT - CE \quad (\text{Equação 9})$$

$$NE = 22 \text{ m} - (-10,6) = 32,6 \text{ m}$$

O NE apresentou valor de aproximadamente 32,6 metros de profundidade.



### ESTIMATIVA DO NÍVEL DINÂMICO (ND)

O nível dinâmico foi estimado a partir do nível estático e do rebaixamento. Este último foi calculado a partir das características físicas do poço profundo de base. A transmissividade hidráulica (**Equação 10**) do poço 17 é dada por:

$$T = 0,183 \frac{Q}{S} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde T é a transmissividade hidráulica média dos aquíferos (m<sup>2</sup>/s), Q é a vazão de estabilização do poço (m<sup>3</sup>/s) e S é o rebaixamento final (m).

$$T = 0,183 \frac{0,0275}{11,75} = 4,28 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

Em posse da transmissividade, foi possível estimar a condutividade hidráulica média dos aquíferos utilizando a **Equação 11**:

$$K = \frac{T}{e} \quad (\text{Equação 11})$$

Onde K é a condutividade hidráulica média dos aquíferos (m/s), T é a transmissividade hidráulica média dos aquíferos (m<sup>2</sup>/s) e e é a espessura dos aquíferos (m).

$$K = \frac{4,28 \times 10^{-4}}{40} \times 100 = 1,07 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

Considerando-se total comprimento dos filtros de 40 metros. Em posse dos parâmetros físicos dos aquíferos, estimou-se o rebaixamento estimado (**Equação 12**) no poço para uma vazão de 51 m<sup>3</sup>/h:

$$S = 0,183 \frac{Q_p}{T} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde S é o rebaixamento no novo poço (m), Q<sub>p</sub> é a vazão de produção (m<sup>3</sup>/s) e T é a transmissividade hidráulica estimada (m<sup>2</sup>/s).

$$S = 0,183 \frac{0,01417}{4,28 \times 10^{-4}} = 6,05 \text{ m}$$

Portanto, para uma vazão de 51 m<sup>3</sup>/h e uma condutividade hidráulica de 1,07×10<sup>-3</sup> cm/s, há um rebaixamento de 6,05 metros no poço. O nível dinâmico (**Equação 13**), portanto, é igual a:

$$ND = NE + S \quad (\text{Equação 13})$$

Onde ND é o nível dinâmico estimado (m), NE é o Nível estático estimado (m) e S é o rebaixamento estimado (m).

$$ND = 32,6 \text{ m} + 6,05 = 38,65 \text{ m}$$

### POSIÇÃO IDEAL DA BOMBA

A fabricante EBARA recomenda que entre o crivo da bomba e o Nível dinâmico haja pelo menos uma distância de 7 metros, portanto, a posição ideal da bomba para esta configuração de sistema é:

$$PB = ND + 7\text{ m} = 39\text{ m} + 7\text{ m} = 46\text{ m}$$

A bomba deve estar posicionada a uma profundidade mínima de 46 metros para o seu funcionamento ótimo e econômico.

Abaixo, no **Quadro 3**, encontra-se o resumo do dimensionamento do poço projetado.

**Quadro 3: Resumo do dimensionamento do poço tubular profundo**

Parâmetros	Poço 17
Tipo de formação	Pirabas
Condição	Confinado
Profundidade	270 m
Nível estático (NE)	32,6 m
Nível dinâmico (ND)	38,65 m
Vazão de projeto (Qest)	51,0 m³/h
Vazão específica estimada (qesp)	8,43 m³/h.m
Rebaixamento (S)	6,05 m
Transmissividade (T)	$4,28 \times 10^{-4}$ m²/s
Condutividade (K)	$1,07 \times 10^{-3}$ cm/s
Comprimento total de filtros	40 m
Material do filtro	Plástico geomecânico
Diâmetro do filtro	8"
Ranhura	0,70 ou 0,75

### SISTEMA ELEVATÓRIO

O objetivo do dimensionamento hidráulico é a seleção do sistema elevatório do poço, determinando o diâmetro da adutora e a potência do conjunto motor-bomba. Para isto, fez-se necessário calcular as perdas de cargas existentes no sistema para obtenção da altura manométrica.

### DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO

O diâmetro da tubulação foi determinado a partir da **Equação 14** da ABNT para elevatórias com uso intermitente:

$$D = 1,3 * \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{1}{4}} * \sqrt[3]{Q} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde D é o diâmetro da tubulação de recalque em m, t é o tempo de funcionamento da bomba em h e Q é a vazão de bombeamento em m³/s.

$$D = 1,3 * \left(\frac{24}{16}\right)^{\frac{1}{4}} * \sqrt[3]{0,01417} = 0,140\text{ m}$$

Adotou-se o diâmetro comercial inferior mais próximo do calculado, sendo o DN = 100 mm.

## PERDA DE CARGA LOCALIZADA

As perdas de carga localizadas que ocorrem nas singularidades existentes no recalque foram estimadas a partir da **Equação 15**:

$$H_{fl} = \sum k \frac{v^2}{2g} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde  $H_{fl}$  é a perda de carga localizada em m,  $k$  é o coeficiente de perdas para cada conexão em m,  $v$  corresponde à maior velocidade do fluxo na canalização em m/s e  $g$  é a aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>).

As singularidades existentes na linha de recalque, assim como os valores dos seus respectivos coeficientes de perdas são apresentados na **Tabela 1**.

A velocidade utilizada nos cálculos foi estimada a partir da vazão de projeto e do diâmetro da adutora. A **Equação 16** foi utilizada:

$$v = \frac{4Q}{\pi D I^2} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde  $Q$  é a vazão sendo recalçada (0,01417 m<sup>3</sup>/s) e  $DN$  é o diâmetro interno da adutora (0,100 m).

Então:

$$v = \frac{4 \times 0,01417 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0,100 \text{ m})^2} = 1,80 \text{ m/s}$$

**Tabela 1: Singularidades existentes no recalque e seus respectivos coeficientes adimensionais de perda de carga localizada**

Qntd.	Peça e conexões	DN (mm)	k (unit.)	k (total)	V (m/s)	$kv^2/2g$
3	Curva de 90°	100	0,60	1,8	1,80	0,297
1	Válvula de retenção	100	3,0	3,0	1,80	0,495
1	Registro globo aberto	100	10,0	10,0	1,80	1,651
1	Tê de passagem lateral	100	2,0	2,0	1,80	0,330
2	Curva 45°	100	0,3	0,6	1,80	0,100
1	Saída de canalização	100	1,0	1,0	1,80	0,165
1	Joelho 90°	100	0,90	0,90	1,80	0,149
1	Válvula de pé com crivo	100	10,0	10,0	1,80	1,651

Após o cálculo das perdas existentes em cada singularidade, obteve-se que a perda localizada total é igual a:

$$h_{f, localizada} = 4,84 \text{ m}$$

## PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

A perda de carga distribuída total do sistema foi calculada a partir da **Equação 17** de Hazen-Williams:

$$I = \frac{10,65 \times Q^{1,85}}{C^{1,85} \times D^{4,87}} \quad (\text{Equação 17})$$

Onde  $J$  é a perda de carga unitária na canalização em m,  $Q$  é a vazão de projeto em  $m^3/s$ ,  $C$  é o coeficiente de rugosidade e  $D$  é o Diâmetro em m.

$$hf, \text{distribuída} = J \times Lr$$

Onde  $Lr$  é o comprimento real da canalização de recalque em m.

Adotando o valor de  $C=100$  para aço galvanizado usado mais ou menos 10 anos, têm-se:

$$J = \frac{10,65 \times 0,01417^{1,85}}{100^{1,85} \times 0,100^{4,87}} = 0,05983 \text{ m/m}$$

$$hf, \text{distribuída} = 0,05983 \times 73 = 4,30 \text{ m}$$

### PERDA DE CARGA TOTAL

A perda de carga total no sistema será igual ao somatório da perda de carga localizada total com a perda de carga distribuída total (**Equação 18**). Portanto:

$$ht = hf, \text{localizada} + hf, \text{distribuída} \quad (\text{Equação 18})$$

$$ht = 4,84 \text{ m} + 4,30 \text{ m}$$

$$ht = 9,14 \text{ m}$$

### ALTURA MANOMÉTRICA DO SISTEMA

A altura manométrica do sistema (**Equação 19**) define a carga hidráulica que a bomba deve fornecer ao fluido a fim de transportá-lo a cota desejada. Esta é calculada somando-se o desnível geométrico entre os níveis de saída e chegada com a perda de carga total do sistema.

A altura manométrica máxima ocorre quando o poço alcança o seu nível mínimo, sendo obtida a partir da diferença entre a cota de chegada e ao nível dinâmico do poço mais as perdas de carga.

$$H_{man} = HG + Ht \quad (\text{Equação 19})$$

$$H_{man} = 50,80 \text{ m} + 9,14 \text{ m} = 59,94 \text{ m}$$

### CONJUNTO MOTOR – BOMBA

A seleção do conjunto motor-bomba mais adequado para as características do sistema e do poço, foi realizada utilizando o catálogo de seleção de curvas e cabos para bombas modelo 4BPS, BHS e QC da fabricante EBARA para bombas submersas. A partir de uma pré-seleção dos modelos, verificou-se que os modelos BHS mostraram-se mais compatíveis para o sistema de captação do condomínio residencial. As bombas submersas deste modelo podem atender a uma vazão de até 600  $m^3/h$ , com potências que chegam até 420 HP e pressões de 585 mca. Estes conjuntos motor-bomba são os mais indicados para poços profundos e as principais características desta linha são:

- Corpo de estágio, corpo de aspiração e corpo de válvula em ferro fundido;
- Eixo, luva de acoplamento, parafusos e porcas em aço inox;
- Rotores em bronze para os modelos BHS 516 e 517;
- Difusores em ferro fundido para os modelos BHS 516 e 517;
- Anéis de desgaste em bronze nos modelos BHS 516 e 517;

- Mancais em borracha nos modelos BHS 516 e 517.

Além disso, as bombas submersas da linha BHS podem ser utilizadas para as seguintes aplicações:

- Captação de água em poços tubulares profundos para uso residencial, industrial e agrícola;
- Rebaixamento de lençol freático para obras civis e exploração mineral;
- Pressurização de redes hidráulicas;
- Fontes e chafarizes;
- Drenagem e esgotamento de reservatórios com água limpa.

Após cálculo da altura manométrica do sistema, selecionou-se o modelo mais adequado. O conjunto motor-bomba selecionado foi o modelo BHS 517-05 da fabricante EBARA com potência de 18 HP ou 13,42 KW com 2,052 metros de altura e 146 metros de diâmetro. Recomenda-se a utilização do motor trifásico M6G 220 V. O **Quadro 4** é um quadro resumo onde apresentam-se as principais características do conjunto motor – bomba.

**Quadro 4: Resumo das características do conjunto motor – bomba**

<b>Fabricante EBARA</b>	<b>Características</b>
Modelo	BHS 517-05
Condição	Submersa
Vazão de recalque	51 m <sup>3</sup> /h
Altura manométrica	60 m
Rendimento Hidráulico	69 %
Potência Consumida	18 HP
Frequência	60 Hz
Motor	M6G
Voltagem	220 V
NPSHreq	3,10 m

## CONCLUSÕES

Após avaliação da melhor concepção de projeto para o condomínio residencial Total Life, conclui-se que a melhor alternativa seria a construção de um poço tubular profundo que, apesar de apresentar custo de implantação mais elevado, apresenta maior segurança sanitária ao empreendimento. A partir da elaboração do projeto, recomendou-se a construção de um poço de 270 metros de profundidade com diâmetro mínimo do revestimento e filtro de 8 polegadas, podendo ser utilizado o material de plástico geomecânico, por atender de forma satisfatória as necessidades apresentadas pela ampliação.

No entanto, deve-se recomendar ao cliente que ao utilizar filtros de aço inox a vazão a ser captada pode triplicar, aumentando o custo benefício da perfuração e justificando de forma satisfatória o investimento. Esta medida pode ser adotada visando a substituição dos outros poços existentes, cuja qualidade pode ser questionável futuramente. Com relação a bomba, indica-se a aquisição do modelo BHS 517-05 da fabricante EBARA com potência de 18 HP com profundidade mínima do eixo do crivo a 46 metros, estima-se que este conjunto motor-bomba possua rendimento de aproximadamente 69% e um NPHS requerido de 3,10 metros. Com relação ao motor, recomenda-se a utilização do M6G trifásico com voltagem de 220 V.

Com relação aos poços já existentes, recomenda-se redução da vazão do poço 3 em 22,6% para que o filtro existente não fique na zona não-saturada. Em compensação, a vazão do poço 1 pode ser elevada, tendo em vista o seu pouco aproveitamento. Além disso, verificou-se que na impossibilidade de perfuração de um novo poço, pode-se rebaixar o nível dinâmico mais 1,75 metros para o atendimento da demanda de expansão. No entanto, deve-se ressaltar que isto só deve ser realizado somente na impossibilidade de uma nova perfuração, pois o aquífero livre atual apresenta elevada vulnerabilidade e crescente riscos de contaminação.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. ATLAS ESGOTOS: DESPOLUIÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. BRASÍLIA: ANA, 2017.
2. CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2002. PROJETO ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM E ADJACÊNCIAS. DISPONÍVEL EM: <  
[HTTP://RIGEO.CPRM.GOV.BR/JSPUI/BITSTREAM/DOC/10744/1/REL\\_HIDRO\\_BELEM\\_ADJ2002.PDF](http://RIGEO.CPRM.GOV.BR/JSPUI/BITSTREAM/DOC/10744/1/REL_HIDRO_BELEM_ADJ2002.PDF)>
3. FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. HIDROLOGIA – CONCEITOS E APLICAÇÕES. 2 ED. FORTALEZA: CPRM, 2000.
4. TSUTIYA, M. T. ABASTECIMENTO DE ÁGUA - 4 ED. SÃO PAULO: DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANITÁRIA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2006.
5. WYOMING STATE GEOLOGICAL SURVEY – WSGS. WYOMING GROUNDWATER. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.WSGS.WYO.GOV/WATER/GROUNDWATER](http://WWW.WSGS.WYO.GOV/WATER/GROUNDWATER)>