



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

ANEXO II

RELATÓRIO TÉCNICO

**IMPLANTAÇÃO DE PIEZÔMETROS PARA MONITORAMENTO
HIDROGEOLÓGICO EM DOIS CEMITÉRIOS DO MUNICÍPIO
DE MINAS NOVAS – MG**

**CEMITÉRIO MUNICIPAL DE MINAS NOVAS
CEMITÉRIO PADRE EMILIANO**

**MINAS NOVAS – MG
2026**



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

Sumário

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	3
2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO REGIONAL	3
3. LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS.....	4
4. LOCAÇÃO E ARRANJO DOS PIEZÔMETROS	5
Tabela 1- Coordenadas e características dos piezômetros propostos - Cemitério Municipal (Cemitério Antigo)	8
Tabela 2 - Coordenadas e características dos piezômetros propostos - Cemitério Padre Emiliano – (Cemitério Novo)	10
5. METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DOS PIEZÔMETROS	12
5.1 Perfuração e Estrutura do Poço	12
5.2 Profundidade dos Poços.....	14
5.3 Segurança Sanitária e Licença	14
6. Programa de Monitoramento Hidrogeológico	14
6.1 Medição do Nível Estático.....	14
6.2 Coleta de Amostras de Água Subterrânea	15
6.3 Parâmetros de Análise.....	15
6.4 Registro e Relatórios de Monitoramento	16
7. INTERPRETAÇÃO HIDROGEOLÓGICA.....	17
7.1 Determinação da Carga Hidráulica	17
7.2 Elaboração do Mapa de Equipotenciais	17
7.3 Interpretação dos Parâmetros de Qualidade da Água	18
8. CONCLUSÃO	19



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Os cemitérios são reconhecidos como fontes potenciais de contaminação ambiental, sobretudo do solo e do aquífero freático, devido ao necrochorume – líquido advindo da decomposição de cadáveres, rico em matéria orgânica, compostos nitrogenados, sais minerais e microrganismos patogênicos. Estudos apontam que “cemitérios se tornam grandes fontes de poluição do solo e da água devido às substâncias orgânicas e inorgânicas e microrganismos patogênicos presentes no líquido da decomposição dos corpos, denominado necrochorume”. A contaminação de aquíferos por cadáveres em decomposição é “uma realidade comum no Brasil e no mundo”.

No Brasil, a grande maioria dos cemitérios apresenta problemas ambientais ou sanitários, especialmente quando as sepulturas são instaladas sem controle do nível freático local. Por isso, a legislação (CONAMA 335/2003 alterada pela 368/2006) exige estudos hidrogeológicos e monitoramento de águas subterrâneas para novos cemitérios. Em Minas Novas-MG serão realizados os serviços de perfuração e instalação de piezômetros nas áreas dos dois cemitérios municipais (antigo e novo) para cumprir essas exigências e proteger o aquífero local.

Os objetivos gerais deste serviço são: (a) determinar o nível do lençol freático nas áreas estudadas, (b) identificar a direção do fluxo subterrâneo, (c) coletar amostras de água para análises físico-químicas e microbiológicas, e (d) avaliar possíveis impactos do necrochorume sobre a qualidade da água. O monitoramento sistemático subsidiará o licenciamento ambiental, garantindo o cumprimento de normas técnicas e a proteção dos recursos hídricos do município.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO REGIONAL

Os cemitérios objeto deste estudo localizam-se no município de Minas Novas, situado na região do Vale do Jequitinhonha, nordeste do estado de Minas Gerais.

O Cemitério Municipal encontra-se localizado a aproximadamente 1 km da região



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

central da cidade, nas coordenadas geográficas 17°13'12.91"S e 42°35'15.32"W, correspondentes aproximadamente ao centro da área cemiterial. A área está implantada em terreno com cota altimétrica aproximada de 592 metros em relação ao nível do mar.

O Cemitério Padre Emiliano, também conhecido como Cemitério Novo, localiza-se nas coordenadas 17°13'35.09"S e 42°34'3.83"W, situando-se em área mais afastada do núcleo urbano central do município. Este cemitério encontra-se implantado em terreno com cota altimétrica aproximada de 666 metros, configurando-se como uma área topograficamente mais elevada em relação ao cemitério municipal antigo.

O município de Minas Novas apresenta altitude média aproximada de 635 metros, com relevo caracterizado por superfícies suavemente onduladas a onduladas, típicas da região do Vale do Jequitinhonha. As variações altimétricas observadas na área urbana refletem o modelado regional associado aos processos erosivos e à drenagem local.

O clima regional é classificado como tropical semiúmido, com estação chuvosa concentrada entre os meses de outubro e março, período no qual ocorre maior infiltração de água no solo e recarga dos sistemas aquíferos locais.

As formações geológicas locais encontram-se inseridas no contexto do Orógeno Araçuai, com predominância de unidades metassedimentares associadas a Formação Salinas, constituídas principalmente por micaxistos, filitos, metarenitos e quartzitos, frequentemente fraturados e recobertos por solos lateríticos e depósitos coluviais. Dessa forma, os aquíferos presentes na região são predominantemente do tipo fraturado associado ao manto de alteração, no qual o armazenamento e a circulação da água subterrânea ocorrem tanto nas fraturas das rochas quanto nos poros do material intemperizado. A recarga desses aquíferos ocorre principalmente por meio da infiltração direta das águas pluviais no solo alterado

3. LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

O licenciamento ambiental de cemitérios é regulado pela Resolução CONAMA 335/2003 (alterada pela 368/2006), que exige estudo hidrogeológico e monitoramento de



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

águas subterrâneas. Entre as exigências específicas estão:

- Distância mínima do aquífero: o fundo das sepulturas deve ficar a pelo menos 1,5 m acima do ponto mais alto do lençol freático medido ao final da estação chuvosa. Se o aquífero for mais raso, o sepultamento deve ser readequado (exceto se feito acima do nível natural do terreno). Para solos muito permeáveis ($K > 10^{-5}$ cm/s), exige-se ainda 10 m entre o fundo do jazigo e o nível freático.
- Recuo perimetral: deve haver recuo mínimo de 5 m das áreas de sepultamento em relação ao perímetro do cemitério, podendo aumentar conforme a hidrogeologia local.
- Proteção ambiental: é proibida implantação de cemitério em APPs, áreas cársticas ou mananciais, e deve-se prever drenagem adequada das águas pluviais.

Para a execução e monitoramento dos poços (piezômetros), seguem-se as normas da ABNT: principalmente a NBR 15495-1:2007 (projeto e construção de poços em aquíferos granulares) e a NBR 13895:1997 (construção de poços de monitoramento). A NBR 15495-1 destaca que um poço de monitoramento deve permitir “a obtenção de amostras representativas da qualidade da água”, construir poços “duráveis e confiáveis” e viabilizar a “caracterização hidrogeológica adequada da área”. Já a NBR 13895 lista os componentes essenciais do piezômetro: revestimento interno, seção filtrante, pré-filtro, proteção sanitária, tampão, caixa de proteção, selo anular e centralizadores, visando sua correta instalação e blindagem contra contaminação superficial. Além disso, normas como ABNT NBR 6502 (são parâmetros geotécnicos) e práticas recomendadas de sondagem devem ser respeitadas na caracterização do subsolo antes da perfuração.

4. LOCAÇÃO E ARRANJO DOS PIEZÔMETROS

Com o objetivo de monitorar o comportamento do aquífero e avaliar possíveis alterações na qualidade da água subterrânea nas áreas cemiteriais, será adotado um arranjo de piezômetros distribuídos no entorno dos cemitérios, considerando a posição relativa em relação



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

ao fluxo subterrâneo local.

No contexto hidrogeológico, define-se como montante a região de onde a água subterrânea se origina, caracterizada por maiores valores de carga hidráulica, enquanto a região jussante corresponde à área para onde ocorre o escoamento da água subterrânea, apresentando menores valores de carga hidráulica.

A determinação definitiva da direção do fluxo subterrâneo será realizada a partir da medição dos níveis estáticos da água nos piezômetros, permitindo o cálculo da carga hidráulica em cada ponto de monitoramento, obtida pela diferença entre a cota altimétrica do terreno e a profundidade do nível da água.

Para cada área cemiterial está prevista a implantação de, no mínimo, quatro piezômetros de monitoramento, distribuídos estrategicamente no entorno das áreas de sepultamento, com o objetivo de permitir a caracterização do fluxo subterrâneo e o monitoramento da qualidade da água subterrânea a montante, nas porções laterais e a jusante da área de sepultamento. Esse arranjo é frequentemente recomendado em estudos hidrogeológicos por possibilitar maior controle espacial da dinâmica do aquífero.

Entretanto, considerando as condições específicas das áreas estudadas, tais como limitações de espaço físico, presença de sepulturas e restrições operacionais para perfuração, optou-se pela implantação de três piezômetros em cada cemitério, distribuídos de forma a compor um arranjo triangular de monitoramento hidrogeológico. Essa configuração permite avaliar o gradiente hidráulico local e comparar a qualidade da água subterrânea entre pontos posicionados em diferentes condições topográficas, mantendo representatividade adequada para a interpretação preliminar do fluxo subterrâneo e para o monitoramento ambiental das áreas cemiteriais.

• PZ-01 – Montante

Instalado em posição topograficamente anterior à área cemiterial, com a finalidade de monitorar a qualidade natural da água subterrânea que ingressa na área, funcionando como ponto



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

de referência hidrogeoquímica do sistema aquífero local.

PZ-02 e PZ-03 – Pontos intermediários ou laterais

Implantados em posições adjacentes à área de sepultamento, com o objetivo de interceptar possíveis fluxos laterais no aquífero e monitorar eventuais dispersões de contaminantes provenientes da área cemiterial.

• PZ-04 – Jusante

Posicionado após a área de sepultamento no sentido presumido do fluxo subterrâneo, permitindo avaliar possíveis alterações na qualidade da água subterrânea após sua passagem pela área cemiterial.

Entretanto, considerando as condições específicas observadas nas áreas estudadas, como limitações de espaço físico para perfuração, presença de sepulturas e restrições operacionais para acesso de equipamentos, optou-se pela implantação de três piezômetros em cada cemitério, distribuídos de forma a compor um arranjo triangular de monitoramento hidrogeológico.

Essa configuração permite avaliar o gradiente hidráulico local, comparar a qualidade da água subterrânea entre pontos posicionados em diferentes condições topográficas e obter informações suficientes para a interpretação preliminar do fluxo subterrâneo nas áreas estudadas.

A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas, cotas altimétricas aproximadas e a identificação funcional dos piezômetros propostos para o monitoramento hidrogeológico nos cemitérios estudados.

Tabela 1- Coordenadas e características dos piezômetros propostos - Cemitério Municipal (Cemitério Antigo).

PZ	Função	Latitude (DMS)	Longitude (DMS)	Observação
----	--------	----------------	-----------------	------------



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

PZ-01	Montante	17°13'13.54"S	42°35'13.72"W	ponto de referência hidrogeológica a montante
PZ-02	Entorno do cemitério	17°13'12.04"S	42°35'16.11"W	ponto adjacente à área de sepultamento
PZ-03	Jusante	17°13'15.11"S	42°35'15.12"W	localizado em área próxima ao campo de futebol



Figura 1- Mapa de locação dos piezômetros e interpretação preliminar da direção do fluxo subterrâneo no Cemitério Municipal de Minas Novas (MG).

A Figura 1 apresenta a localização espacial dos piezômetros de monitoramento implantados no entorno do Cemitério Municipal de Minas Novas (MG), bem como a direção estimada do fluxo subterrâneo na área de estudo. A definição dos pontos de monitoramento



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

considerou o gradiente topográfico local e a disposição da área de sepultamento, sendo previstos três piezômetros distribuídos de forma a compor um arranjo triangular de avaliação hidrogeológica. Esse tipo de configuração permite a análise comparativa da qualidade da água subterrânea em diferentes posições hidráulicas, contemplando um ponto a montante (PZ-01), representando as condições naturais da água subterrânea, um ponto no entorno imediato da área do cemitério (PZ-02), destinado à avaliação de possíveis alterações associadas à área de sepultamento, e um ponto a jusante (PZ-03), localizado em área adjacente ao campo de futebol, com o objetivo de verificar a possível migração de contaminantes para áreas externas.

Destaca-se que não foi possível a instalação de piezômetro no interior da área do cemitério devido à elevada densidade de sepulturas existentes, o que limita a disponibilidade de espaço físico adequado para perfuração e instalação segura dos dispositivos de monitoramento. Dessa forma, optou-se pela locação de um ponto de monitoramento no entorno imediato da área de sepultamento (PZ-02), em posição que mantém representatividade hidrogeológica em relação à área fonte potencial de contaminação.

O piezômetro a jusante (PZ-03) foi locado na lateral do campo de futebol adjacente ao cemitério, em área situada em cota inferior (aproximadamente 588 m), condição que favorece a interceptação do fluxo subterrâneo proveniente da área do cemitério. A escolha desse local também considerou a disponibilidade de espaço adequado para perfuração e a proximidade em relação ao limite da área de estudo, permitindo avaliar a possível migração de contaminantes para áreas externas.

A interpretação preliminar da direção do fluxo subterrâneo foi realizada com base no gradiente topográfico observado na área, que apresenta cotas variando entre aproximadamente 592 m na porção nordeste e 588 m na região sudoeste, indicando tendência de escoamento subterrâneo nessa direção. A confirmação da direção real do fluxo será realizada posteriormente por meio das medições do nível d'água nos piezômetros instalados.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

Tabela 2 - Coordenadas e características dos piezômetros propostos - Cemitério Padre Emiliano – (Cemitério Novo).

PZ	Função	Latitude (DMS)	Longitude (DMS)	Observação
PZ-01	Montante	17°13'35.57"S	42°34'5.34"W	ponto localizado na porção mais elevada do terreno
PZ-02	Ponto lateral (lado direito)	17°13'34.26"S	42°34'2.77"W	ponto intermediário dentro da área do cemitério
PZ-03	Jusante	17°13'36.69"S	42°34'2.34"W	ponto localizado em área de menor cota altimétrica



Figura 2 – Mapa de locação dos piezômetros de monitoramento e interpretação preliminar da direção do fluxo subterrâneo no entorno do Cemitério Padre Emiliano, no município de Minas Novas (MG).



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

A Figura 2 apresenta a localização espacial dos piezômetros de monitoramento implantados na área do Cemitério Padre Emiliano, no município de Minas Novas (MG), bem como a direção estimada do fluxo subterrâneo na área de estudo. Para o monitoramento hidrogeológico foram previstos três piezômetros distribuídos de forma a compor um arranjo triangular de avaliação, metodologia amplamente utilizada em estudos de águas subterrâneas, que permite a análise comparativa da qualidade da água e a determinação da direção preferencial do fluxo subterrâneo a partir das medições do nível d'água nos pontos instalados.

A locação dos piezômetros considerou principalmente o gradiente topográfico local e a distribuição da área de sepultamento dentro do cemitério, buscando posicionar os pontos de forma a representar diferentes condições hidráulicas dentro da área potencialmente influenciada pelos processos de decomposição orgânica associados às sepulturas. Dessa forma, os três piezômetros foram implantados no interior da área do cemitério, em posições que permitem avaliar possíveis variações na qualidade da água subterrânea ao longo do gradiente hidráulico local.

As cotas altimétricas observadas nos pontos de monitoramento variam aproximadamente entre 664 m, 663 m e 661 m, indicando declividade suave do terreno em direção às áreas de menor cota. Esse gradiente topográfico sugere tendência preliminar de escoamento subterrâneo no mesmo sentido, condição que pode favorecer o transporte de eventuais substâncias dissolvidas presentes no solo em direção às áreas mais baixas do terreno.

A interpretação da direção do fluxo subterrâneo apresentada no mapa baseia-se inicialmente na análise do relevo e das cotas altimétricas obtidas na área de estudo. Entretanto, a confirmação da direção efetiva do fluxo subterrâneo será realizada posteriormente por meio das medições do nível estático da água nos piezômetros instalados, possibilitando a construção do mapa potenciométrico da área e uma avaliação mais precisa da dinâmica hidrogeológica local.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

5. METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DOS PIEZÔMETROS

5.1 Perfuração e Estrutura do Poço

Cada piezômetro será executado por sondagem rotativa ou roto-percussiva em diâmetro de cerca de 100 a 150 mm (diâmetro nominal de revestimento DN100-JS ou equivalente, conforme ABNT). Após a perfuração até a profundidade prevista, instala-se o revestimento de PVC geomecânico, composto de:

- Revestimento interno: tubo de PVC rígido (classe 12) de cor marrom, adequado a monitoramento ambiental (baixa reatividade). O diâmetro interno deve permitir amostragem e leitura de nível.
- Seção filtrante: feita de tubo perfurado ou ranhurado (filtro de PVC) com malha de 2–3 mm, posicionado na zona saturada desejada. A profundidade do filtro se definirá após levantamentos iniciais, de modo a abranger de 2 a 4 m de espessura em aquífero saturado. Por exemplo, se o lençol freático está a 10 m, o filtro poderá ser instalado de 9 a 13 m de profundidade.
- Pré-filtro (backfill): camada de areia ou brita lavada em torno da seção filtrante (10–20 cm), para proteger o filtro de finos.
- Selo sanitário: preenchimento anular acima do filtro com lama de bentonita e/ou cimento, selando o espaço entre o tubo e a parede do furo, até ~1 m abaixo da superfície. Esse selo previne infiltração de água superficial.
- Proteção e tampão: as partes superiores do tubo recebem um tampão estanque (cobertura superior com rebordo de cimento) e, onde necessário, uma caixa de proteção metálica ou de concreto no nível do solo, para impedir vandalismo e remeter o nível de referência. Concluída a instalação, cada piezômetro terá uma plaqueta de identificação, conforme ABNT.

O procedimento de construção seguirá os requisitos da ABNT NBR 15495-1 (adequação à hidrogeologia local) e NBR 13895 (uso de centralizadores, controle de



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

profundidade, relatórios detalhados de construção). Após instalação, cada poço será “desenvolvido” bombeando ou lavado repetidamente até que a água extraída atinja turbidez baixa (≤ 5 NTU), garantindo amostras representativas.



Figura 3 - Esquema construtivo de piezômetro utilizado para monitoramento de águas subterrâneas, conforme ABNT NBR 13895 [11]. O sistema é constituído por tubo de revestimento interno (1), seção filtrante ranhurada (2), pré-filtro de areia (3), selo de bentonita (4), proteção sanitária (5) e tampão superior (6), garantindo isolamento das camadas e amostragem representativa da água subterrânea.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

5.2 Profundidade dos Poços

A profundidade de cada piezômetro será definida a partir de sondagens exploratórias e levantamento inicial do nível freático (se houver poços próximos ou informações locais). Em regra, o filtro deve ficar completamente submerso durante todo o ano. Assim, toma-se o nível mais alto do lençol (após estação chuvosa) e acrescenta-se 2–4 m para definir a base do filtro. Por exemplo, se o aquífero estiver a 8–10 m de profundidade, perfura-se até ~12–14 m, colocando 3–4 m de filtro na zona saturada. A profundidade final considerará também a geologia local (camadas de solo e rocha), evitando perfurar em pedra dura quando possível.

Em Minas Novas, é comum a existência de solo alterado ou fraturamento profundo. Caso o aquífero seja muito raso (<3 m), atenta-se à exigência legal de manter $\geq 1,5$ m de solo não saturado abaixo das sepulturas. Se esse critério não puder ser atendido, as sepulturas existentes poderiam ter sido implantadas acima do nível original, mas neste caso a instalação dos poços considerará essa limitação.

5.3 Segurança Sanitária e Licença

Durante a obra, todo o manejo de solo e lama de perfuração seguirá normas de segurança e higiene, evitando contato direto. O Revestimento Sanitário e os selos de bentonita também previnem contaminação das amostras e do entorno. A atividade será executada conforme ART de geólogo, com fiscalização ambiental (Prefeitura/MG).

6. Programa de Monitoramento Hidrogeológico

O programa de monitoramento hidrogeológico tem como objetivo avaliar o comportamento do nível freático e verificar possíveis alterações na qualidade da água subterrânea nas áreas dos cemitérios estudados. Após a implantação dos piezômetros, serão realizadas campanhas periódicas de monitoramento, contemplando a medição do nível estático da água subterrânea e a coleta de amostras para análises físico-químicas e microbiológicas.

6.1 Medição do Nível Estático

A medição do nível estático da água subterrânea será realizada em todos os



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

piezômetros instalados, utilizando medidor eletrônico de nível ou trena elétrica apropriada. As medições serão feitas a partir de um ponto de referência fixo localizado na boca do piezômetro.

Com base na profundidade medida até o nível da água e na cota altimétrica do terreno em cada ponto, será calculada a carga hidráulica, definida pela diferença entre a cota do terreno e a profundidade do nível da água. A comparação entre os valores de carga hidráulica obtidos nos diferentes piezômetros permitirá determinar a direção do fluxo subterrâneo local, que ocorre sempre do ponto de maior carga hidráulica para o ponto de menor carga.

A partir dessa análise será possível identificar, de forma precisa, quais piezômetros se encontram a montante e quais se encontram a jusante das áreas cemiteriais.

6.2 Coleta de Amostras de Água Subterrânea

As amostras de água subterrânea serão coletadas periodicamente em todos os piezômetros operacionais. Recomenda-se que as campanhas de monitoramento sejam realizadas, no mínimo, duas vezes por ano, preferencialmente no final do período chuvoso e no final do período seco, de forma a avaliar possíveis variações sazonais na qualidade da água.

Antes da coleta das amostras, cada piezômetro será submetido a um processo de purga, consistindo na remoção de aproximadamente três volumes de água do interior do poço, ou até que sejam observados valores estáveis de turbidez e parâmetros físico-químicos básicos. A purga poderá ser realizada utilizando bomba peristáltica ou amostrador do tipo bailer estéril.

Esse procedimento garante que a amostra coletada represente efetivamente a água do aquífero, evitando a influência de água estagnada no interior do piezômetro.

6.3 Parâmetros de Análise

As amostras coletadas serão encaminhadas para laboratório especializado, onde serão analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos indicativos de possível



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

contaminação associada a atividades cemiteriais.

Entre os principais parâmetros a serem analisados destacam-se: pH, condutividade elétrica, nitrato, nitrito, amônia total, demanda química de oxigênio (DQO), turbidez, cloreto, coliformes totais e coliformes termotolerantes.

Os resultados obtidos serão comparados com os padrões estabelecidos na legislação ambiental vigente, incluindo as diretrizes da Resolução CONAMA nº 430/2011 e demais normas aplicáveis à qualidade da água subterrânea e ao controle ambiental de cemitérios.

A comparação entre os resultados obtidos nos piezômetros localizados a montante e aqueles instalados a jusante das áreas cemiteriais permitirá avaliar se há influência das atividades de sepultamento na qualidade da água subterrânea.

6.4 Registro e Relatórios de Monitoramento

Todas as medições de nível freático e resultados de análises laboratoriais serão devidamente registrados em planilhas de campo e relatórios técnicos específicos. Esses registros incluirão informações como data da campanha de monitoramento, identificação do piezômetro, profundidade do nível da água, volume de purga realizado e resultados analíticos.

A organização e manutenção desses registros seguem as recomendações da ABNT NBR 15495-1, que estabelece diretrizes para construção, monitoramento e documentação de poços de monitoramento ambiental.

O acompanhamento sistemático dessas informações permitirá avaliar a evolução das condições hidrogeológicas da área ao longo do tempo e identificar eventuais tendências de alteração na qualidade da água subterrânea.

O programa de monitoramento proposto atende às exigências de licenciamento ambiental estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 335/2003, contribuindo para a gestão ambiental dos cemitérios do município de Minas Novas e para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos da região.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

7. INTERPRETAÇÃO HIDROGEOLÓGICA

A interpretação hidrogeológica tem como objetivo determinar o comportamento do fluxo subterrâneo nas áreas de estudo, bem como avaliar possíveis alterações na qualidade da água subterrânea associadas às atividades cemiteriais. Essa interpretação será realizada com base nos dados obtidos a partir do monitoramento do nível freático e das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água.

7.1 Determinação da Carga Hidráulica

Para determinar a direção real do fluxo subterrâneo, será calculada a carga hidráulica (H) em cada piezômetro instalado. A carga hidráulica corresponde ao potencial de energia da água subterrânea em determinado ponto do aquífero e pode ser expressa pela seguinte relação:

$$H = Z_{terr} - h_w$$

onde Z_{terr} representa a cota altimétrica do terreno (m) no ponto de instalação do piezômetro, e h_w corresponde à profundidade medida até o nível da água subterrânea (m), determinada durante as campanhas de monitoramento.

A partir dos valores calculados de carga hidráulica em cada ponto de monitoramento, será possível identificar a direção do fluxo subterrâneo local, uma vez que a água subterrânea se desloca naturalmente das regiões de maior carga hidráulica para as regiões de menor carga.

Dessa forma, o piezômetro que apresentar maior valor de carga hidráulica será considerado localizado a montante do sistema hidrogeológico, enquanto aquele com menor valor de carga será interpretado como localizado a jusante.

7.2 Elaboração do Mapa de Equipotenciais

Com base nos valores de carga hidráulica calculados para cada piezômetro, serão traçadas linhas equipotenciais, que representam pontos com igual carga hidráulica no aquífero. A análise dessas linhas permite visualizar o gradiente hidráulico e identificar o sentido do fluxo subterrâneo.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147

O fluxo da água subterrânea ocorre perpendicularmente às linhas equipotenciais, permitindo a definição das chamadas linhas de fluxo. Em geral, o comportamento do fluxo subterrâneo acompanha a tendência do relevo topográfico regional.

Considerando as diferenças altimétricas observadas entre os cemitérios estudados, verifica-se que o Cemitério Padre Emiliano (cemitério novo) encontra-se implantado em posição topograficamente mais elevada em relação ao Cemitério Municipal antigo. Entretanto, devido à distância aproximada de 2,3 km entre as duas áreas, não se estabelece necessariamente uma conexão hidrogeológica direta entre os sistemas aquíferos locais.

Assim, a análise do fluxo subterrâneo será realizada de forma independente em cada área cemiterial, considerando principalmente as condições topográficas e hidrogeológicas locais. A determinação da direção efetiva do fluxo subterrâneo dependerá das medições do nível estático da água nos piezômetros instalados, a partir das quais será possível calcular a carga hidráulica em cada ponto de monitoramento e elaborar o mapa hidrogeológico contendo as linhas equipotenciais e as direções inferidas de fluxo subterrâneo.

7.3 Interpretação dos Parâmetros de Qualidade da Água

A interpretação dos resultados das análises laboratoriais será realizada por meio da comparação entre os valores obtidos nos piezômetros localizados a montante e aqueles instalados a jusante das áreas cemiteriais.

Parâmetros como nitrato, amônia total e coliformes microbiológicos são frequentemente associados a processos de decomposição orgânica e podem indicar influência de necrochorume no aquífero.

Caso os valores observados nos piezômetros localizados a jusante apresentem concentrações significativamente superiores às registradas nos pontos a montante, isso poderá indicar possível influência das atividades cemiteriais na qualidade da água subterrânea.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

A análise integrada dos dados hidrogeológicos e hidroquímicos permitirá avaliar o risco potencial de contaminação do aquífero e subsidiar a adoção de medidas de gestão ambiental caso sejam identificadas alterações significativas na qualidade da água.

Entre as medidas que poderão ser consideradas, caso necessário, destacam-se a melhoria das condições de drenagem local, a readequação de sepulturas em áreas com nível freático raso e a implementação de sistemas de controle ou impermeabilização em pontos críticos.

8. CONCLUSÃO

O presente relatório técnico teve como objetivo apresentar os critérios de implantação dos piezômetros de monitoramento hidrogeológico nas áreas do Cemitério Municipal de Minas Novas e do Cemitério Padre Emiliano, no município de Minas Novas (MG), com a finalidade de avaliar as condições do aquífero local e subsidiar o monitoramento da qualidade da água subterrânea nas áreas cemiteriais.

A análise das características topográficas, geológicas e hidrogeológicas da região indicou que os cemitérios encontram-se inseridos em contexto geológico dominado por rochas metassedimentares associadas à Formação Salinas, pertencentes ao Orógeno Araçuai, onde os aquíferos são predominantemente do tipo fraturado, associados ao manto de alteração e à rede de fraturas das rochas. Nesses sistemas, a circulação da água subterrânea ocorre principalmente por meio da infiltração das águas pluviais no solo e posterior percolação através do material intemperizado e das discontinuidades estruturais da rocha.

Com base na avaliação das condições locais de relevo, ocupação das áreas cemiteriais e disponibilidade de espaço para implantação dos dispositivos de monitoramento, foi definida a instalação de três piezômetros em cada área cemiterial, distribuídos de forma a compor um arranjo triangular de monitoramento hidrogeológico. Essa configuração permite a determinação do gradiente hidráulico local, a identificação da direção preferencial do fluxo subterrâneo e a comparação da qualidade da água subterrânea entre pontos posicionados em diferentes condições topográficas.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

No Cemitério Municipal de Minas Novas, as condições de campo, caracterizadas pela elevada densidade de sepulturas e pela limitação de áreas livres para perfuração no interior do cemitério, exigiram a locação dos piezômetros em áreas adjacentes, mantendo-se proximidade suficiente para interceptar o fluxo subterrâneo associado à área de sepultamento. Nesse contexto, foram definidos pontos de monitoramento a montante, no entorno imediato do cemitério e a jusante da área de estudo, permitindo avaliar possíveis alterações na qualidade da água subterrânea decorrentes da atividade cemiterial.

No Cemitério Padre Emiliano, por sua vez, as condições de espaço permitiram a implantação dos piezômetros no interior da área cemiterial, possibilitando a distribuição dos pontos ao longo do gradiente topográfico local, cujas cotas variam aproximadamente entre 664 m e 661 m. Essa disposição favorece a avaliação de possíveis variações na qualidade da água subterrânea ao longo do fluxo subterrâneo local.

Ressalta-se que, embora exista diferença altimétrica entre os dois cemitérios, situando-se o Cemitério Padre Emiliano em posição topograficamente mais elevada em relação ao Cemitério Municipal, as áreas encontram-se separadas por distância aproximada de 2,3 km, o que indica que os sistemas hidrogeológicos locais devem ser analisados de forma independente, considerando-se as características específicas de cada área.

A determinação definitiva da direção do fluxo subterrâneo será realizada por meio das medições do nível estático da água nos piezômetros instalados, a partir das quais será possível calcular a carga hidráulica em cada ponto de monitoramento e elaborar mapas potenciométricos representativos do comportamento do aquífero nas áreas estudadas.

Além disso, a implantação dos piezômetros permitirá a execução de campanhas periódicas de monitoramento hidrogeológico, contemplando a medição do nível freático e a coleta de amostras de água subterrânea para análises físico-químicas e microbiológicas. A comparação entre os resultados obtidos nos diferentes pontos de monitoramento possibilitará avaliar eventuais alterações na qualidade da água subterrânea e identificar possíveis influências decorrentes das atividades de sepultamento.



PREFEITURA MUNICIPAL DE MINAS NOVAS

**Rua Getúlio Vargas, 158 B – Centro.
CEP: 39.650-000 – Minas Novas (MG)
Fone: (33) 3764-2701 – Fax: (33) 3764-1147**

Dessa forma, a implantação do sistema de monitoramento proposto constitui uma medida fundamental para a avaliação preventiva das condições ambientais das áreas cemiteriais, permitindo o acompanhamento sistemático do comportamento do aquífero local e a adoção de medidas de gestão ambiental, caso sejam identificadas alterações significativas na qualidade da água subterrânea.

Assim, o presente estudo estabelece as bases técnicas para o monitoramento hidrogeológico contínuo dos cemitérios do município de Minas Novas, contribuindo para a gestão ambiental adequada dessas áreas e para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos da região.