
CONCENTRAÇÃO DE NITRATO EM POÇOS TUBULARES PROFUNDOS E CORPO HÍDRICO SUPERFICIAL NA REGIÃO CENTRAL DE LONDRINA - PR ESTUDO DE CASO DO ENTORNO DO CEMITÉRIO SÃO PEDRO

CONCENTRATION OF NITRATE IN TUBULAR WELLS AND SURFACE WATER BODY IN THE CENTRAL REGION OF LONDRINA - PR. CASE STUDY OF THE SURROUNDINGS OF THE SÃO PEDRO CEMETERY

Mônica Hirata Bertachi¹
Maurício Moreira dos Santos²
Marcelo Eduardo Freres Stipp³

RESUMO: Os cemitérios podem ser vistos como uma espécie particular de aterro e apresentam alto risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais por bactérias e vírus que durante os processos de decomposição dos corpos se proliferam e liberam substâncias químicas prejudiciais a saúde de seres vivos. O Município de Londrina-PR está localizado no norte do estado do Paraná, e sofreu um acelerado processo de urbanização, hoje existem oito cemitérios em funcionamento em sua área urbana, o que provoca riscos de contaminação das águas subterrâneas exploradas para o abastecimento, e pode trazer prejuízos à saúde de toda a população que habita e ocupa a área urbana do município e faz uso desse recurso. O presente trabalho tem por objetivo principal o de investigar a qualidade das águas na área urbana do município no entorno do cemitério São Pedro, especialmente as concentrações espaciais de Nitrato e verificar possível influência do cemitério nessas concentrações.

Palavras-chave: Área urbana. Necrochorume. Nitrato.

ABSTRACT: Cemeteries can be considered as a particular specie of landfill and can present high risks of contamination of groundwater and surface water by bacteria and viruses that during the processes of decomposition of bodies proliferate and release chemicals substances adverse to the health of living organisms. The city of Londrina is located in the North of the State of Paraná, and it had suffered an accelerated urbanization process, today there are eight cemeteries in your urban area, which causes a risk of contamination of groundwater and can harm the health of the entire population that inhabits the urban

1 Ms em Bioenvironmental Sciences pela Rutgers University. Bacharel em Engenharia Ambiental pela UTFPR Campus Londrina. MBA em Administração e Gestão da Qualidade pela UNINTER. E-mail: monicabertachi@gmail.com.

2 Professor Adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Londrina. E-mail: mauriciosantos@utfpr.edu.br.

3 Professor Associado da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. E-mail: marcelostipp@utfpr.edu.br.

area of the city and makes use of this resource. This work has the objective to investigate water quality in the urban area of the city around São Pedro cemetery, especially spatial concentrations of nitrate and check possible influence of these cemetery concentrations..

Keywords: Urban área. Necrochorume. Nitrate.

INTRODUÇÃO

No período da Idade Média, como uma forma de ainda se manter uma relação próxima entre os vivos e mortos, era de costume o sepultamento de corpos em igrejas, paróquias, mosteiros e hospitais, sendo que o processo de sepultamento contava apenas com o recobrimento do corpo com solo a uma profundidade de 1 a 2 metros. Porém a partir do século XIII, devido a forte incidência de epidemias, a saúde pública exigiu que os sepultamentos passassem a ser realizados em locais de ar livre e os mais distantes possíveis da população local, dando origem aos cemitérios como conhecemos hoje (SILVA; MALAGUTI FILHO, 2008).

Segundo Fiedler et al. (2012) cemitérios podem ser vistos como uma espécie particular de aterro, e desde a década de 1950 tem sido estudados devido aos impactos que podem gerar ao meio ambiente, destacando o alto risco de contaminação das águas subterrâneas e superficiais por bactérias e vírus que durante os processos de decomposição dos corpos se proliferam e liberam substâncias químicas prejudiciais a saúde de seres vivos.

Apesar da preocupação de construção de cemitérios em locais afastados da área urbana, o crescimento intenso e descontrolado da população e a falta de planejamento na urbanização das cidades, faz com que os cemitérios passem a ser integrados na malha urbana. Diversos estudos apontam que os cemitérios podem causar sérios impactos no meio ambiente e na saúde pública devido ao seu poder de aumentar a concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas nas águas subterrâneas, e a possibilidade de contaminá-las com microrganismos patogênicos.

A zona não saturada possui um importante papel no que diz respeito à retenção de microorganismos patogênicos e de constituintes inorgânicos advindos da decomposição de corpos e transformação da matéria. Esse fenômeno se dá através de um conjunto de fatores físico e químicos ambientais, que afetam a infiltração e o movimento desses componentes (PACHECO, 2012). Nesse sentido, durante a putrefação dos corpos humanos o cadáver é exposto aos fatores químicos e físicos do ambiente, o que pode gerar a percolação de água que carrega compostos originados desses processos que podem conter bactérias, vírus e compostos químicos orgânicos e inorgânicos. Se o cemitério for localizado em áreas com solo de alta granulometria, com muita areia ou cascalho, a percolação desses compostos poderá ocorrer rapidamente e facilmente se misturará ao lençol freático da região, acarretando doenças, o que tornaria prejudicial, se esta água for utilizada para o sistema de abastecimento urbano (ÜÇISIK; RUSHBROOK, 1998).

Para Matos (2001), em áreas próximas aos sepultamentos pode-se perceber o aumento da condutividade elétrica, pH, alcalinidade e dureza da solução do solo, devido à presença de compostos de nitrogênio e fósforo e de diversos sais (cloro - Cl⁻, bicarbonatos - HCO₃⁻, cálcio - Ca⁺², sódio - Na⁺). Também aumenta a concentração dos íons bicarbonato, e dos metais como, ferro, alumínio, chumbo e zinco. Essa contaminação ocorre principalmente em locais onde os cemitérios foram implantados sob condições hidrogeológicas desfavoráveis, tais como baixa distância do nível freático, em solos muito permeáveis, com rochas fraturadas e zonas cársticas (SILVA; MALAGUTI; MOREIRA, 2009).

Cabe destacar que os parâmetros de nitrato são utilizados, mundialmente, como indicadores de contaminação das águas subterrâneas devido à sua alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas (VARNIER et al., 2010).

A intensidade do processo de contaminação depende das quantidades de nitrato presentes ou adicionadas ao solo, da permeabilidade do solo, da pluviosidade, e neste caso, da profundidade do lençol freático ou aquífero (BHUMBLA, 2001).

O ânion nitrato presente em solução nas camadas superficiais do solo, sofre interferência da matéria orgânica o que acentua o caráter eletronegativo da fase sólida (repelindo o nitrato), ficando este propenso ao processo de lixiviação ao longo do tempo, motivo pelo qual contamina águas profundas (RESENDE, 2002).

O Município de Londrina-PR está localizado no norte do estado do Paraná, e sofreu um acelerado processo de urbanização. Hoje existem oito cemitérios em funcionamento na área urbana, o que provoca riscos de contaminação das águas subterrâneas exploradas para o abastecimento, e pode trazer prejuízos à saúde de toda a população que habita e ocupa a área urbana do município e faz uso desse recurso.

Não existem registros divulgados de estudos relacionados aos possíveis impactos que os cemitérios urbanos causam nas águas do município de Londrina-PR, apesar de haver a preocupação de contaminação do aquífero na região central, onde alguns prédios foram impedidos de utilizar seus poços tubulares profundos. Devido ao forte incremento populacional e da expansão urbana da cidade, também cresceu a busca por fontes alternativas de abastecimento de água, como a perfuração de poços tubulares profundos para uso das águas subterrâneas. Através de uma rápida pesquisa no Serviço Geológico do Brasil (CPRM) é possível encontrar, apenas na área urbana do município, mais de 700 poços registrados, muitos deles em constante operação.

Uma vez que os cemitérios vêm sendo incluídos na lista de empreendimentos como possíveis poluidores de solos, águas subterrâneas e corpos d'água, o presente trabalho tem como objetivo verificar se os cemitérios inseridos na malha urbana de Londrina-PR são de fato fontes de contaminação para os corpos hídricos pertencentes às bacias da região, comprometendo o uso de suas águas.

Como os cemitérios, por estarem em funcionamento antes da legislação que regula sua implantação, faz-se necessário um estudo detalhado sobre os possíveis impactos ambientais. Este trabalho se preocupou com a contaminação das águas urbanas (subterrâneas) no cemitério São Pedro, inserido na área urbana de Londrina-PR, pois o mesmo não se enquadra nos requisitos presentes na legislação atual, que certifica que a área prevista deve estar a uma distância segura de corpos de água, superficiais e subterrâneos, de forma a garantir sua qualidade.

CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICA E HIDROGEOLÓGICA

A cidade de Londrina encontra-se assentada sobre a Formação Serra Geral. Tal formação pertence ao Grupo São Bento, o qual compreende ainda as formações Botucatu e Pirambóia.

A Formação Serra Geral, de maneira generalizada, é composta principalmente por rochas vulcânicas básicas, toleíticas e andesitos basálticos, ocorrendo subordinadas

quantidades de riolitos e riolitos, de textura afanítica, coloração cinza e negra. Os topos dos derrames é geralmente amigdaloidal, apresentando grande desenvolvimento de juntas verticais e horizontais com intrusões alcalinas e de pequenas lentes de arenito (MILANI, 2004). Apresenta manto de intemperismo pouco espesso em algumas localidades e de até 30 metros nas regiões mais elevadas topograficamente.

Segundo Lastoria (2002), nos basaltos são comuns as fraturas de resfriamento, podendo até mesmo estabelecer-se certa “estratigrafia” de derrames basálticos com base nas fraturas encontradas. Assim, as fraturas horizontais predominam no topo e na base do derrame, enquanto as fraturas verticais dominam em sua parte central. Outro tipo de fratura esperado é o originado a partir do alívio de carga. Conforme o intemperismo e erosão agem na degradação das rochas da superfície da crosta e removendo o solo, o peso sobre as rochas mais profundas vai diminuindo. A redução de carga produzida por esse processo forma juntas de alívio de pressão favorecendo o armazenamento e circulação da água.

Segundo Santos (2005), na área do município de Londrina existem duas formas principais de ocorrência de água subterrânea: o aquífero freático e o Sistema Aquífero Serra Geral (SASG).

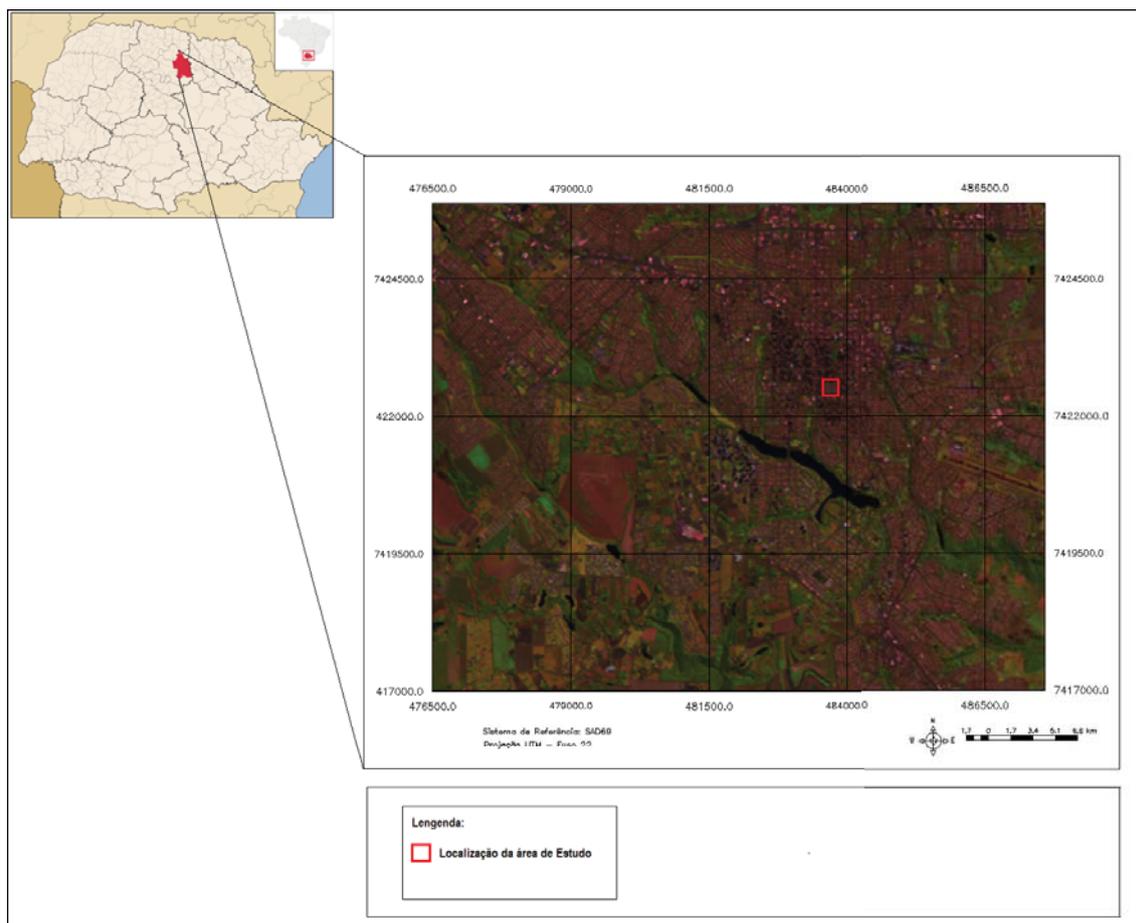
O aquífero freático, representado pelas camadas de solo e rocha alterada (saprolito), é produto direto do intemperismo das rochas vulcânicas basálticas. Dessa forma, esse aquífero constitui-se em um meio poroso relativamente homogêneo, geralmente pouco espesso próximo às drenagens e com baixa profundidade do nível saturado (SANTOS 2005).

Este aquífero tem características essenciais de aquífero livre, ou não confinado. Dessa forma, a recarga se dá diretamente a partir de águas pluviais nas áreas mais elevadas topograficamente, o que eleva os riscos em relação à contaminação ou poluição das águas subterrâneas. Ao contrário dos sistemas aquíferos porosos, os quais possuem uma certa continuidade física, o SASG, por suas características litológicas de rochas cristalinas, se constitui em um meio aquífero de condições hidrogeológicas heterogêneas e anisotrópicas. Dessa forma, o modo de ocorrência da água subterrânea fica restrito às zonas de descontinuidade das rochas basálticas, principalmente em estruturas tectônicas do tipo fratura e/ou falhamentos.

METODOLOGIA

A área de estudo encontra-se entre as coordenadas de 23°19'09" S e 51°09'37" W, recorte espacial esse que envolve o entorno do Cemitério São Pedro localizada na região central da cidade de Londrina-PR (Figura 1).

O cemitério São Pedro foi fundado em 1932 quando não era parte integrada da malha urbana do município. Com a expansão urbana ao longo das últimas décadas, ocasionada principalmente pelo crescimento populacional e econômico da cidade, o cemitério passou a ser envolvido por bairros residenciais e estabelecimentos comerciais (STIPP; ARFELLI-SILVA; BERTACHI, 2011).



Fonte: Adaptado de INPE (2012).

Figura 1. Localização do Cemitério São Pedro em destaque na região central da área urbana de Londrina-PR, no contexto do Brasil e do estado do Paraná.

Escolha dos Pontos de Amostragem

Segundo a Administração de Cemitérios e Serviços Funerários de Londrina (ACESF), por se tratar do cemitério mais antigo da cidade e por estar inserido na região central da malha urbana de Londrina, esse cemitério não apresentava até 2013 poços de monitoramento que permitiria a coleta e o monitoramento de níveis das águas subterrâneas.

Desse modo, para localizar os possíveis pontos de coleta de amostras para análise, utilizou-se o registro de poços tubulares profundos cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) pertencente ao CPRM. Essa ferramenta possui como funções coletar, recuperar, armazenar e difundir dados que dão suporte às pesquisas, gestão e planejamento dos recursos hídricos subterrâneos. O SIAGAS possui “requisitos relacionados com a normalização do modelo de dados e a padronização do dicionário de dados”, o que o torna uma ferramenta capaz de manusear uma grande quantidade de dados com agilidade e confiabilidade, sendo adotado na atualidade como referência na maioria dos estados brasileiros em pesquisa aquífera (PEIXINHO; BARBOSA DE LIMA, 2008).

Dessa forma foram registrados durante a pesquisa 298 poços tubulares profundos localizados apenas no centro urbano de Londrina-PR, ou periféricos à área central, dos quais 13 desses estão localizados próximo ao cemitério São Pedro. Os treze poços foram

plotados através de suas coordenadas geográficas e 7 poços foram selecionados para compor a zona de influência próxima do Cemitério São Pedro (Figura 2).

Devido a limitações de acessibilidade e analítico, para realização das análises físico química das águas foram selecionados o poço tubular profundo identificado no artigo como Ponto 2, localizado em condomínio e o Córrego Leme, apresentado no mapa como o ponto de localização da coleta de água superficial (P8), como indica a Figura 2, os demais pontos foram levantados dados de resultados analíticos dos parâmetros selecionados para o estudo que contam do banco de dados pertencente ao SIAGAS.

A escolha desse ponto é de suma importância, uma vez que o córrego está localizado num nível topográfico abaixo do cemitério, ou seja, logo a sua jusante como pode ser evidenciado na Figura 3.

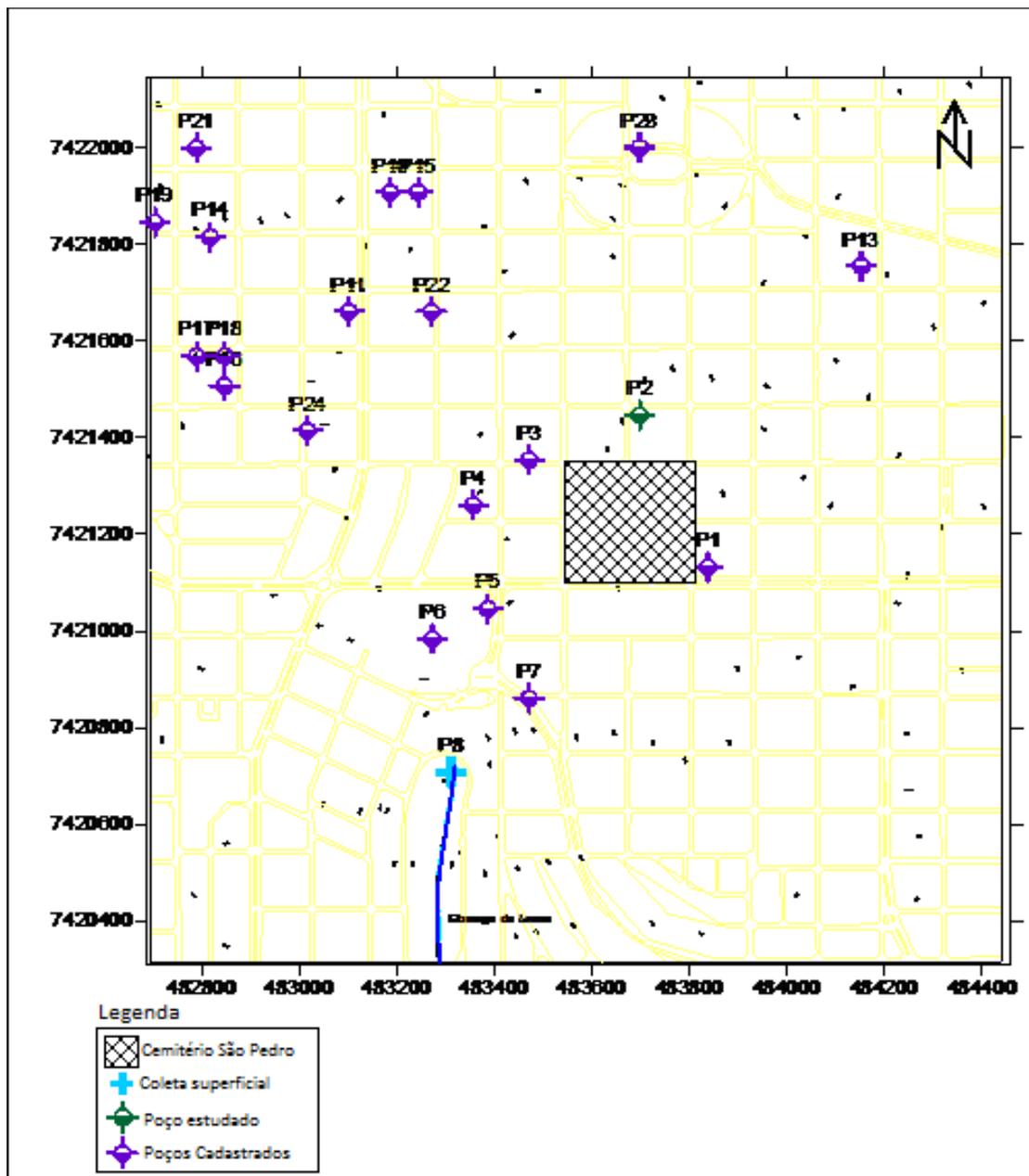


Figura 2. Poços tubulares profundos selecionados na região central de Londrina-PR, no entorno do cemitério São Pedro e identificação do ponto de coleta de água superficial.

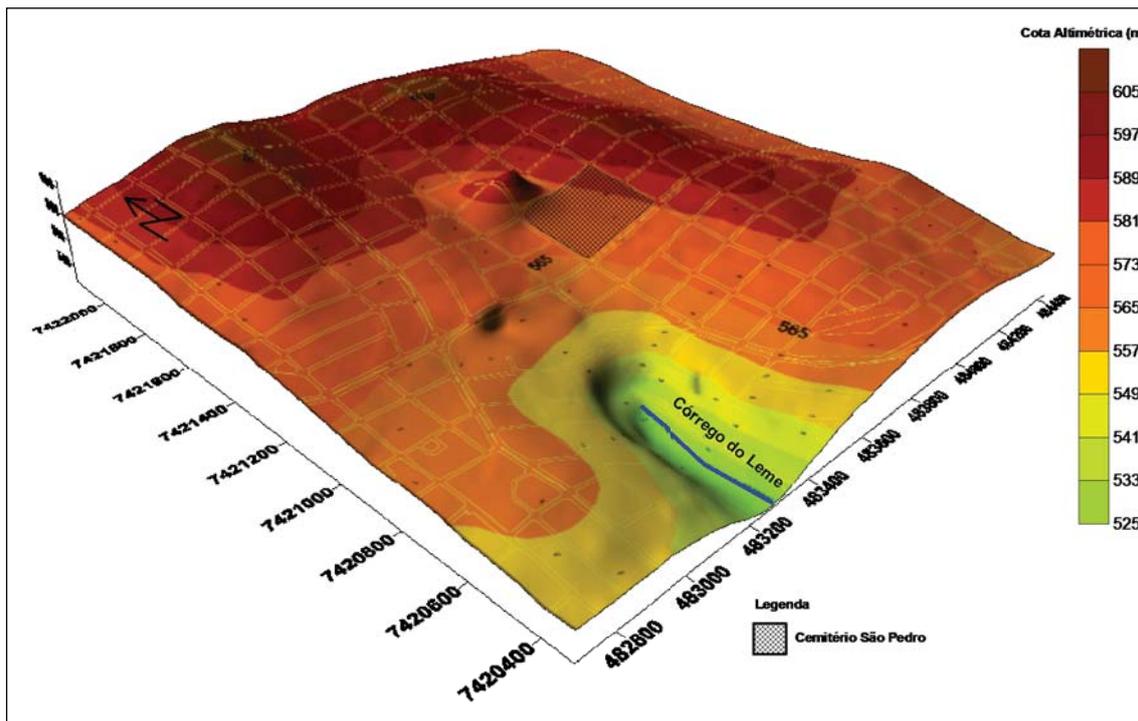


Figura 3. Bloco diagrama evidenciando a conformação topográfica da área de estudo.

Cabe destacar que o ponto de investigação P3 encontra-se desativado desde 2003, quando as análises periódicas do edifício a qual pertencia, apresentaram resultados insatisfatórios em relação aos padrões de potabilidade da Portaria n° 2914/2011, tornando-o inviável como fonte de abastecimento de água.

Coleta de Amostras

Para as coletas de amostras foram realizadas 2 campanhas, a primeira em 20 de dezembro de 2012 e fevereiro de 2013. O objetivo foi de avaliar o comportamento das concentrações dos parâmetros selecionados, destacando Nitrogênio Amoniacal e Nitrato, com o tempo e a variabilidade das precipitações durante esse período.

As amostras de água foram coletadas em recipientes descartáveis de polietileno, esses coletores foram higienizados com água deionizada, para evitar contaminação. As técnicas para conservação da amostra foram realizadas como descritas na “Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas” da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1988).

As amostras do Ponto 2 foram coletadas em períodos da manhã, cerca de meia hora após o início do funcionamento da bomba instalada no poço, que tem como objetivo o purgamento, ou seja, a remoção de água estagnada no interior do revestimento do poço, obtendo assim amostras íntegras, sem alterações significativas da sua constituição aquífera, como descrito no CONAMA n° 396 de 2008 (VARNIER et. al., 2010).

No ponto do Córrego do Leme, as amostras foram coletadas em período da manhã, com um intervalo mínimo de 24 horas da chuva mais recente, com intuito de evitar possíveis alterações nas condições comuns do córrego.

Nitrogênio

A análise do teste de nitrogênio amoniacal foi determinada pela metodologia “nitrogênio total Kjeldahl” proposta por APHA (2005). Esse método é baseado na digestão da amostra por ácido bórico concentrado em presença de um catalisador, a fim de converter o nitrogênio orgânico em íon amônio. O nitrogênio amoniacal foi obtido através das etapas de destilação e titulação.

Assim como o teste de Nitrogênio Amoniacal, as concentrações de Nitrato foram determinadas pelo método proposto por APHA (2005) através da espectrofotometria das amostras coletadas.

Esse método consiste na absorção de luz visível ou outra energia radiante pela solução. A quantidade de energia radiante absorvida deve ser proporcional à concentração do material absorvente na solução a ser analisada. Então, pela medida da absorção da luz, ou outra energia radiante, é possível determinar quantitativamente a substância absorvente presente. A concentração da substância é calculada pela luz absorvida e comparada com a absorbância de soluções-padrão. Para a determinação espectrofotométrica das concentrações de nitrato, a região considerada é a de luz visível (220 nm a 275 nm) (FORESTI et al., 2005).

Para a comprovação de valores de referência para indicação da contaminação as águas subterrâneas, utilizou-se a Portaria número 2914/2011 (BRASIL, 2001), bem como, sendo um valor comparativo para as concentrações de Nitrato no córrego Leme.

Análise Espacial das Concentrações de Nitrato

Para a distribuição espacial das concentrações de Nitrato, utilizou-se o programa Golden Software® Surfer 8. Dessa forma, assim como o estudo realizado por Varnier et. al. (2010), os dados para compor o estudo tiveram como fonte os resultados médios para as análises químicas realizadas para o poço tubular profundo P2 e Córrego Leme e dados históricos de análises retirados do SIAGAS (P1, P3, P4, P5 e P7), permitindo assim a formulação do mapa de concentração de nitrato das águas subterrâneas e superficial na área de estudo.

Através das coordenadas de um mapa base, geram-se pontos de referência com os eixos de abscissas e ordenadas. Os pontos em estudos são localizados no programa através destas coordenadas, onde uma terceira coordenada é adicionada, criando-se então um parâmetro quantificado. O conjunto de pontos é interpolado resultando gráficos com curvas ou picos de concentração.

A partir das coordenadas do ponto e dos valores assumidos pela variável nesses pontos, pode-se obter um mapa da distribuição espacial para cada variável, utilizando-se um algoritmo de interpolação.

Segundo Landim, Monteiro e Corsi (2002), base de muitos métodos de interpolação é a mesma. O valor de um ponto a ser predito (Z^*) é a somatória do produto entre o valor da variável de um ponto conhecido (Z_i) por um peso calculado (λ_i) para os pontos i , variando de 1 até N , onde N representa o número total de pontos considerados (Equação 1).

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i \quad (1)$$

Na verdade, é até intuitivo que, quando trabalhando no espaço, pontos conhecidos mais próximos aos pontos a serem preditos devam ter um peso maior, pois sua influência é maior.

Assim, utiliza-se um algoritmo para calcular os pesos, baseado no Inverso da Distância (Equação 2), que estabelece que quanto menor for a distância entre o ponto conhecido e o predito, maior será o peso (LANDIM; MONTEIRO; CORSI, 2002).

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \frac{\lambda Z}{i i} = \frac{1Z}{d_1^1} + \frac{1Z}{d_2^2} + \frac{1Z}{d_3^3} + \frac{1Z}{d_4^4} \quad (2)$$

Além das análises de Nitrogênio, outros parâmetros físico-químicos da água também foram determinados com equipamentos de medidas *in situ*, incluindo: pH, Condutividade Elétrica, Turbidez e Dureza.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerações Analíticas

Na Tabela 1 encontram-se os valores e repetições referentes às análises de água realizadas para o P2 e Córrego do Leme em dezembro de 2012 e fevereiro de 2013.

Tabela 1. Resultados analíticos da água subterrânea para o Ponto 2 e água superficial para o Córrego do Leme realizados em Dezembro de 2012 e Fevereiro de 2013

Data das Análises >	Dez. 2012						Fev. 2013						Port 2914 (mg/L)
	P2			Córrego Do Leme			P2			Córrego Do Leme			
Pontos Coletados													
Repetições →													
Parâmetros ↓	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
pH	6,1	6,2	6,1	5,9	6,02	5,8	6,51	6,4	6,47	5,41	5,72	5,85	6 ~9,5
Condutividade Elétrica (µS/cm)	-	-	-	-	-	-	37,2	26,3	25,9	69	72,9	71,2	-
Turbidez (NTU)	0,89	0,96	1,02	4,48	3,97	4,03	1,09	1,06	1,12	7,08	7,2	6,97	5
Dureza (mg/L)	72	74	74	80	84	84	78	74	72	82	90	84	-
Nitrato (NO ₃) (mg/L)	11,2	11,2	11,2	8,69	8,7	8,71	12,1	12,14	11,95	10,47	10,47	10,54	10
Nitrogênio Amoniacal (NH ₃ N) (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,5

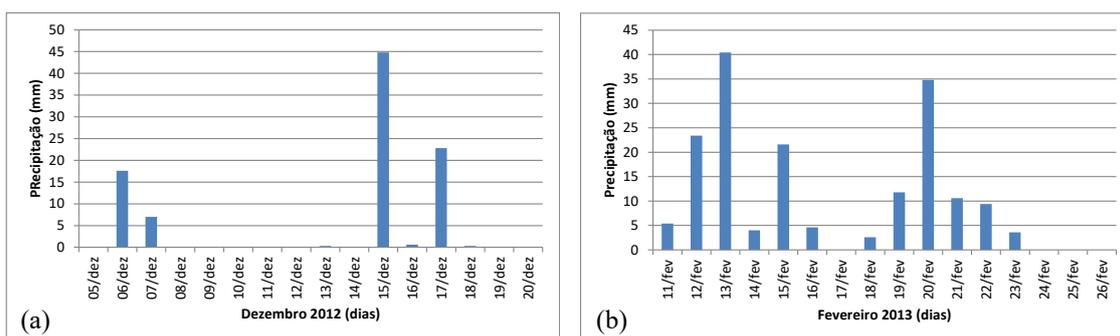
- Não determinado

ND – Não detectado

Acima do Limite de Potabilidade (Port. 2914/2011)

Fonte: autoria própria.

Os dados de pluviometria da estação agrometeorológica do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) localizada na região de Londrina/PR, (Figura 4(a) e 4(b)).



Fonte: IAPAR (2013)

Figura 4. Índice de precipitação nos meses de dezembro/2012 (a) e fevereiro/2013 (b).

Analisando os fatores pontualmente, tem-se que os valores médios de pH apresentou discreta variação entre os resultados de 2012 e 2013, constatando resultados entre de 6,1 e 5,9 para os pontos P2 e Córrego do Leme, respectivamente, variando apenas 0,2 entre os pontos de coleta. Todavia, nas análises realizadas em fevereiro de 2013, nota-se que os valores de pH apresentaram pequena variação entre os pontos e também em comparação as médias já obtidas. Tem-se que as médias permanecem em torno de 6,46 e 5,66 para os pontos P2 e Córrego do Leme, respectivamente. Comparando com as médias das análises realizadas em dezembro de 2012, tem-se que o valor do pH aumentou apenas em 3% para o P2 e diminuiu apenas em 5% para o Córrego do Leme.

Nesse contexto, observa-se que o regime pluviométrico (Figura 4) se apresentou de forma bastante distintas para os dois meses, no qual dezembro apresentou quantidade de chuvas bastante inferior ao mês de fevereiro, porém o índice pluviométrico não alterou o valor do pH, contrariando o resultado encontrado por Abrão (2007), em Campo Grande - MS.

A maioria das águas subterrâneas tem pH entre 5,5 e 8,5. Em casos excepcionais pode variar entre 3 e 11. A legislação brasileira estabelece valores de pH entre 6,5 e 9,5 para águas destinadas ao consumo humano, e entre 6,0 e 9,0 para todas as classes de água doce. (FRANCA et al., 2006).

Devido a problemas técnicos em 2012, foi possível a obtenção da condutividade elétrica apenas para 2013 apresentando valores distintos em comparação a água dos poços e o curso d'água superficial, com médias de 29,8 e 71,0 para os pontos P2 e Córrego do Leme, respectivamente. Suspeita-se que os valores mais elevados de condutividade elétrica no Córrego do Leme apresentado ocorram devido à dissociação de cátions e ânions e maior concentração de amônia, cálcio, magnésio, sódio e outros sais, como sugerido por Fineza (2008), devido a dinâmica de interação das águas superficiais do córrego e as característica do ambiente em seu entorno, ou seja excessivamente urbanizado.

Em relação à turbidez, tem-se que esse parâmetro apresentou alterações no decorrer das análises. Nota-se que nas análises realizadas em dezembro/2012 a média do P2 foi de 0,95 e do Córrego do Leme foi de 4,16. Observa-se que a turbidez do Córrego do Leme é praticamente 5 vezes maior que a turbidez do P2, e esses valores apresentam-se bastante distintos se comparados com as análises realizadas em fevereiro/2013, na qual as médias estão próximas a 1,09 e 7,08 para P2 e Córrego do Leme, respectivamente. Tem-se que ambos os pontos de coleta apresentaram alterações significativas nos valores de turbidez, com acréscimo de 15% e 70% nos valores. O aumento na turbidez pode ser justificado pelo regime pluviométrico (Figura 18) nos respectivos meses. Essas alterações encontradas devido ao regime de chuvas é um indicativo da recarga rápida nas águas subterrâneas da região.

A turbidez é a alteração da penetração da luz pelas partículas em suspensão que provocam a sua difusão e sua absorção. São substâncias constituídas por plâncton, bactérias, partículas do solo, matéria orgânica, fontes de poluição que lança material fino e outros (MACEDO, 2006). Nota-se que em fevereiro/2013, a precipitação foi bastante intensa, diferente de dezembro/2012, onde as chuvas apresentam frequências e intensidades menores, fato que pode ter influenciado diretamente os índices de turbidez das águas, tanto subterrâneas quanto superficiais da região.

Os valores de dureza apresentaram leves alterações se comparados os meses de coleta. Tem-se que em dezembro/2012 as médias dos valores encontrados para dureza foram de 73 e 82 para P2 e Córrego do Leme, respectivamente. Nota-se que nas análises de fevereiro/2013, os resultados apresentaram-se pouco mais espaçados, porém a média do P2 não sofreu grandes alterações, permanecendo em 74, enquanto a média do Córrego do Leme apresentou discreta variação, resultando em 85. Esse discreto aumento pode ser decorrente da alta intensidade de chuvas, pois a água da chuva apresenta teores consideráveis de cálcio e magnésio, podendo dessa forma, ser responsável por essa alteração.

Os valores de dureza para as águas subterrâneas estão geralmente situadas 10 e 300 mgL⁻¹, podendo atingir 1.000 mgL⁻¹ e, em casos excepcionais, 2.000 mgL⁻¹. As águas subterrâneas podem ser classificadas em termos de dureza (mgCaCO₃L⁻¹) como “branda” (< 50 mg CaCO₃L⁻¹), “pouco dura” (50-100 mgCaCO₃L⁻¹), “dura” (100-200 mg CaCO₃L⁻¹) e “muito dura” (>200 mg CaCO₃L⁻¹) (FRANCA et. al., 2006).

Valores encontrados a partir das análises de nitrato apresentaram variações tão significativas quanto às variações observadas no parâmetro turbidez. Nota-se que os valores médios encontrados para P2 em dezembro/2012 foram 11,20, acima do valor permitido para potabilidade das águas subterrâneas (Port. 2914/2011), entretanto os valores do Córrego do Leme, para este mês, apresentaram variações, resultando na média de 8,7. Observa-se que na análise do mês de fevereiro/2013 as médias aumentaram para 12 e 10 para P2 e Córrego do Leme, respectivamente, todas acima do valor permitido, indicando assim que a água retirada do poço tubular profundo em estudo, P2 é inadequada para o consumo humano, embora o poço encontrava-se em plena atividade.

Em relação aos valores de nitrogênio amoniacal (NH₃), eles não foram detectados durante o período de estudo. Cabem ressaltar que sua presença em altas concentrações pode ser indicativa de poluição recente, possivelmente oriunda da redução de nitrato por bactérias ou íons ferrosos, presentes no solo (ABRÃO, 2007).

Avaliação espacial das concentrações de Nitrato

Na Tabela 2 estão listados os poços encontrados na região do entorno do Cemitério São Pedro do município de Londrina-PR, com alguns dos parâmetros da qualidade de suas águas, e os valores orientadores da qualidade encontrado na Portaria nº 2914 de 2011, que define os valores máximos prováveis de cada parâmetro para a potabilidade de água.

Tabela 2. Análise Global da água no entorno do Cemitério São Pedro na cidade de Londrina/PR.

PARÂMETRO	P1	P2	P3	P4	P5	P7	Port 2914
Cálcio (Ca) (mg/L)	-	-	-	28,8	-	16,9	-
Cloreto (Cl) (mg/L)	243	-	48	13	13,5	25	250
Ferro Total (Fe) (mg/L)	0,07	-	0,15	0,1	-	-	0,3
Sódio (Na) (mg/L)	-	-	-	7	-	-	200
Nitrogênio Amoniacal (NH ₃ N) (mg/L)	-	0	-	0,02	-	-	1,5
Nitrito (NO ₂) (mg/L)	0,27	-	2,35	0,01	-	-	1
Nitrato (NO ₃) (mg/L)	-	11,68	11,61	-	2,59	-	10
pH	9,5	6,5	8,3	6	7,78	8,2	6 ~9,5
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	-	-	-	306	227	-	1000
Acalinidade Total	-	-	-	59	122	80	-
Condutividade Elétrica (µs/cm)	-	365	-	250	326	-	-
Turbidez (NTU)	-	1,09	<1	-	-	-	5

Fonte: SIAGAS 2013

Apesar das análises de muitos dos poços ter sido feita no momento de suas instalações, nota-se que seus parâmetros estão perto do limite permitido para o consumo humano, sendo todos esses poços utilizados para o abastecimento de edifícios e residências.

Sobre o poço P1 deve-se analisar regularmente seu pH, pois o constado em seu laudo de instalação, já é o VMP, e qualquer alteração, ele se tornará impróprio para o consumo humano.

O poço P2, como relatado no tópico anterior, não está apto ao consumo humano devido aos seus altos índices de nitrato.

O poço P3 é um poço no entorno do cemitério, o qual foi desativado no ano de 2003 devido ao seu alto nível de nitrato e nitrito, ambos acima do regulado pelas normas de potabilidade. Como seu uso era exclusivamente para atender o consumo dos moradores de seu edifício, seu funcionamento foi desativado.

Os outros poços, apesar de não apresentarem valores alarmantes ou fora dos padrões estabelecidos, devem manter o controle de suas análises em períodos semestrais de intervalos (ROMANÓ, 2005), para assim se obter o monitoramento da qualidade de suas águas e a influência da contaminação do cemitério.

Como pode ser observada na Figura 5, a região central do Município de Londrina-PR apresenta valores variados de concentração de nitrato, porém é importante destacar que em muitos pontos amostrados, o nível de contaminante é acima do permitido pelo padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Considerando que os poços da região são utilizados para o abastecimento, torna-se necessário investigações frequentes de cada ponto, para que não haja prejuízos à saúde de quem consome este recurso.

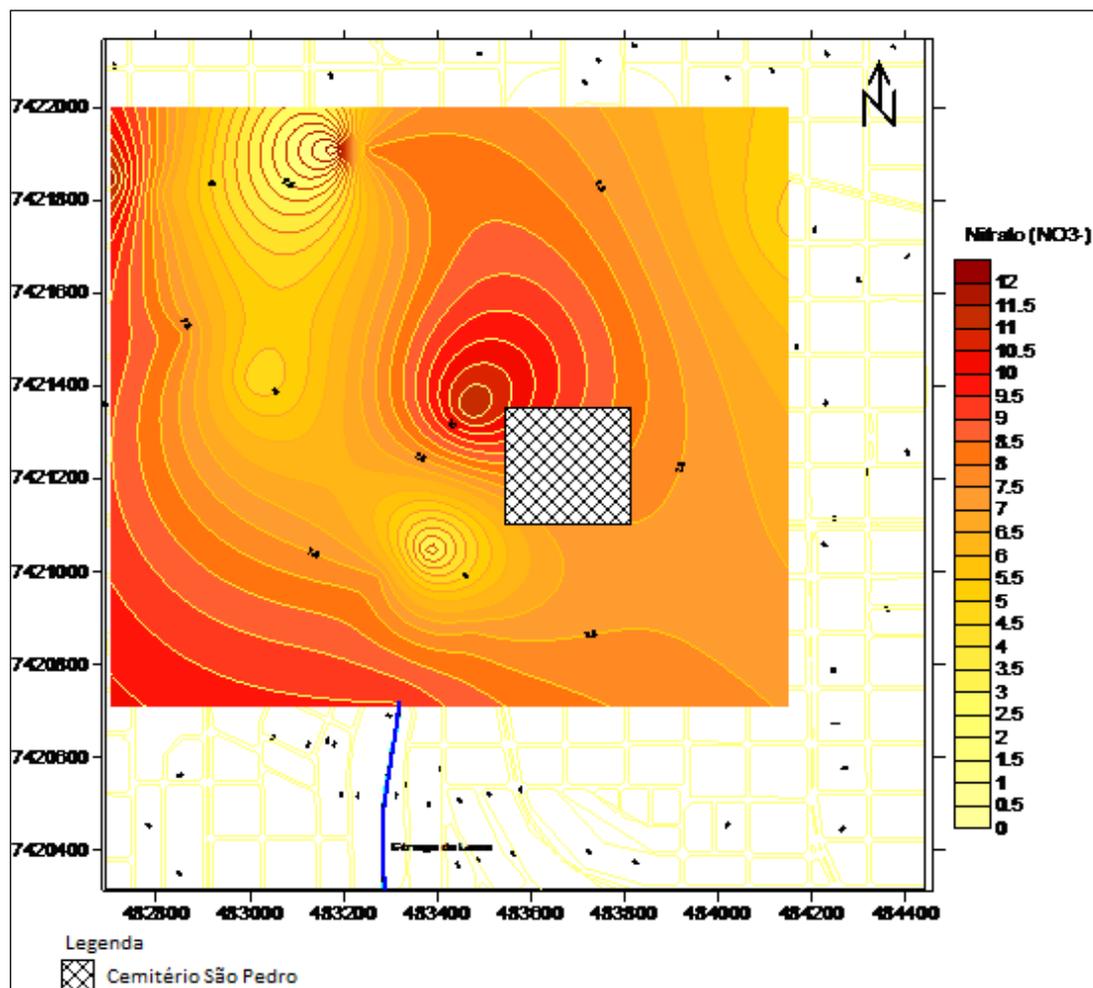


Figura 5. Distribuição espacial de nitrato no centro de Londrina-PR.

Assim como observado por Varnier et. al. (2010), poços com concentração média de nitrato, entre 3 e 10 mgL⁻¹ (N-NO₃-), encontram-se dispersos por todo o centro da cidade, o que não permitiu estabelecer um padrão preliminar de correlação com a expansão urbana.

Além da contaminação pelo cemitério São Pedro, os altos índices de nitrato no centro urbano de Londrina sugere a vinculação entre estes o processo de urbanização, cuja origem segundo Varnier et. al. (2010) pode associada também às antigas fossas e vazamentos das redes coletoras de esgoto.

CONCLUSÃO

Este estudo não só contribuiu para pesquisas científicas, que são escassas na área, mas também revelou a necessidade por parte das autoridades municipais em enquadrar os cemitérios de acordo com a legislação para gestão de necrópoles, evitando assim riscos para a saúde pública e para o meio ambiente. Duas estratégias básicas de monitoramento deveriam ser delineadas em continuação aos estudos de detalhe: uma voltada à proteção dos próprios poços de abastecimento públicos e a outra dirigida à identificação da contaminação do aquífero pelas atividades antrópicas. No primeiro caso, o programa de monitoramento seria do tipo defensivo e/ou de vigilância sanitária. No segundo, um programa baseado em uma monitoração ofensiva, restrita à atividade potencialmente contaminante.

Como descrito por Pacheco (2012), se a água do aquífero fluir contaminada pelo necrochorume da área de influência do cemitério e forem captadas por nascentes ou em poços de abastecimento, as pessoas que fizerem uso dessa água através de atividades domésticas correrão riscos de saúde. Dessa forma, o caso do Córrego do Leme que apresenta concentrações elevadas de nitrato acima do limite permitido, por influências de suas nascentes por defluxo subterrâneo, cuja origem pode ser oriunda do cemitério, como foi demonstrado, necessita de especial atenção, tanto por órgãos de gestão e fiscalização ambiental, quanto pela sociedade em geral que pode ser exposta a contaminação.

Ao mesmo tempo, como até 2013 não havia poços de monitoramento instalado no cemitério estudado, o que permitiria a coleta de água do freático local, o apontamento exato científico da origem na contaminação de poços profundos e o curso de água superficial na área de estudo a partir de necrochorume configura-se prejudicado, pois as concentrações de nitrato podem estar sujeitos a interferências por outros tipos de uso e ocupação do solo (como vazamento de coletor de esgoto sanitário) que podem vir a contaminar as águas, já que a área de estudo está localizada em plena área central urbana.

REFERÊNCIAS

- ABRÃO, M. E. A. S. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas a partir de cemitérios: o caso do cemitério Santo Amaro em Campo Grande – MS.** 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2007.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 21. ed. Washington, D.C: American Public Health Association, 2005.
- BHUMBLA, D.K. **Agriculture practices and nitrate pollution of water.** 2001. Disponível em: <http://transpaktrading.com/static/pdf/research/environment/AgPracticesAndNitrate.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº. 2.914, de 12 de dezembro de 2011.** Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2011.
- CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO **Norma CETESB 6410:** amostragem e monitoramento das águas subterrâneas. São Paulo, 1988. 21 p.
- FIEDLER, S.; BREUER, J.; PUSCH, C.M.; HOLLEY, S.; WAHL, J.; INGWERSEN, J.; GRAW, M. Graveyards - Special landfills. **Science of the Total Environment**, v. 419, p. 90-97, Mar., 2012.
- FINEZA, A. G. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro – MG.** 2008, 54 p. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008.
- FORESTI, E.; ZAIAT, M.; MORAES, E. M.; ADORNO, M. A. T.; PAIM, A. P. S.; RODRIGUES, J. A. D.; RATUSZNEI, S. M.; CANTO, C. S.; DAMASCENO Le. H.S. **Métodos de análises físico-químicas de rotina de águas residuárias tratadas biologicamente.** 85 f. 2005. Instituto Mauá de Tecnologia, USP, 2005.
- FRANCA R. M.; FRISCHKORN H.; SANTOS M. R. P.; MENDONÇA L. A. R.; BESERRA M. C. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte Ceará. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 92-102, jan/mar. 2006.
- INPE. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.** Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso em: 12 nov. 2012.
- LANDIM, P. M. B.; MONTEIRO, R. C.; CORSI, A. C.; **Introdução à confecção de**

- mapas pelo software Surfer®.** Departamento de Geologia Aplicada – IGCE, texto didático - UNESP. Rio Claro, 2002.
- LASTORIA, G. **Hidrogeologia da formação Serra Geral no Estado do Mato Grosso do Sul.** 2002. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.
- MACEDO, J. A. B. **Introdução a química ambiental:** química e meio ambiente e sociedade. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2006.
- MATOS, B.A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo.** 2001.172 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- MILANI, E. J. Comentários sobre a origem e a Evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: MANTESSO NETO, V. et al. (org.). **Geologia do continente sul-americano:** evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: BECA, 2004. p. 265–279.
- PACHECO, A. **Meio ambiente e cemitérios.** São Paulo: Editora Senac, 2012. 190 f.
- PEIXINHO, F.C. BARBOSA DE LIMA, J. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia:** conceitos e aplicações. 2. Ed. Fortaleza: CPRM/REFO: LABHID-UFPE, 2008. 391 p.
- RESENDE, A. V. **Agricultura e qualidade da água:** contaminação da água por nitrato. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002.
- ROMANÓ, E.N.L.; Cemitérios: passivo ambiental, medidas preventivas e mitigadoras. In: SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO-AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 6., 2005, Curitiba/PR. **Anais [...].** Curitiba/PR, 2005.
- SANTOS, M. M. **Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR).** 2005, 130 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.
- SILVA, R. W. C.; MALAGUTI FILHO, W. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 9, p. 26-35, abr. 2008.
- SILVA, R. W. C.; MALAGUTI FILHO, W.; MOREIRA, C. A. Emprego do método da eletroresistividade no estudo da contaminação subterrânea do cemitério municipal de Vila Rezende, Piracicaba – SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 3, p. 389-399, jul/set. 2009.
- STIPP, M. E. F.; ARFELLI-SILVA, M.; BERTACHI, M. H. Caracterização de impactos ambientais causados por cemitérios em cidades de médio porte: estudo de caso do cemitério São Pedro na cidade de Londrina-PR. **Revista Geografia e Pesquisa**. Ourinhos, v. 5, n. 2, p. 99-118, 2011.
- ÜÇİSİK AS, RUSHBROOK P. The impact of cemeteries on the environment and public health: an introductory briefing. Denmark: WHO; 1998. Disponível em: <http://www.who.int/en/>. Acesso em: 17 abr. 2012.
- VARNIER, C.; IRITANI, M. A.; VIOTTI, G. H.; ODA, G. H.; FERREIRA, L. M. R. Nitrato nas águas subterrâneas do sistema Aquífero Bauru, área urbana do Município de Marília (SP). **Revista do Instituto Geológico**. São Paulo, v. 31. n. 1/2, p. 1-21, 2010.