

# A interação entre Vigilância Sanitária e Laboratório de Saúde Pública na detecção da contaminação por nitrato em água subterrânea

## Interaction between Health Surveillance and Public Health Laboratory in detection of nitrate groundwater contamination

### RESUMO

Sérgio Dovidauskas<sup>1,\*</sup>

Isaura Akemi Okada<sup>1</sup>

Joel Arantes de Souza<sup>II</sup>

Maria Aparecida de Jesus  
Hernandes Novas<sup>III</sup>

Renato Alexandre Rossato<sup>III</sup>

No Estado de São Paulo (Brasil) existe preocupação crescente em relação aos níveis de nitrato em águas subterrâneas em vista dos resultados de diversos estudos hidrogeoquímicos e ambientais. Este trabalho descreve a atuação da Vigilância Sanitária e do Laboratório de Saúde Pública na detecção da contaminação por nitrato em águas subterrâneas ocorrida no município de Monte Azul Paulista, localizado no nordeste do Estado. Amostras de águas de 75 poços do município foram coletadas e analisadas. Foram detectadas contaminações (concentrações maiores que 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) em 38 poços localizados predominantemente na área urbana central mais antiga. Esses resultados permitiram decidir pela restrição da captação de água subterrânea naquele município.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vigilância Sanitária; Laboratório de Saúde Pública; Ação Coordenada de Vigilância; Qualidade da Água; Contaminação por Nitrato

### ABSTRACT

In Sao Paulo State (Brazil), there is growing concern about nitrate levels in groundwaters because of results from several hydrogeochemical and environmental studies. This study describes the action of health surveillance and the public health laboratory in the detection of nitrate groundwater contamination in the Monte Azul Paulista municipal district located at northeastern Sao Paulo State. Water samples from 75 wells were collected and analyzed. Contaminations were detected (concentrations greater than 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) in 38 wells predominantly located at the oldest central urban area. Based on these results, it was possible to decide to restrict groundwater impounding at that municipal district.

**KEYWORDS:** Health Surveillance; Public Health Laboratory; Coordinated Action of Health Surveillance; Water Quality; Contamination by Nitrate

<sup>I</sup> Centro de Laboratórios, Regional de Ribeirão Preto, Instituto Adolfo Lutz (IAL), São Paulo, SP, Brasil

<sup>II</sup> Grupo de Vigilância Sanitária, Barretos (SP)

<sup>III</sup> Vigilância Sanitária, Monte Azul Paulista (SP)

\* E-mail: sergio2794@terra.com.br



## INTRODUÇÃO

Uma das atribuições conferidas ao Sistema Único de Saúde (SUS) pela Constituição Federal de 1988 é zelar pela qualidade da água que a população consome. Assim, o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua) é coordenado no âmbito federal pelo Ministério da Saúde / Secretaria de Vigilância em Saúde, por meio da Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental e objetiva, de forma geral, desenvolver ações de vigilância que garantam à população o acesso à água em quantidade suficiente e qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente, visando a prevenção e o controle de doenças e agravos transmitidos pela água, promovendo, assim, a qualidade de vida da população<sup>1</sup>. Contudo, Queiroz et al.<sup>2</sup> identificaram lacunas entre a formulação do Vigiagua e a sua implantação na instância municipal em três municípios de diferentes portes populacionais da Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG): o estudo revelou persistir dificuldades para cadastramento e vigilância em instalações de abastecimento de água, a não realização de séries temporais, a deficiência de instrumentos de georreferenciamento e a integração incipiente entre setores, como entre profissionais do Vigiagua e da Vigilância Epidemiológica.

Esta falta de integração entre as ações intra e intersectoriais na área da Saúde foi também abordada em outro estudo<sup>3</sup>, desenvolvido no município de Contagem (MG), que identificou os condicionantes que interferem na institucionalização do Vigiagua: os principais motivadores e facilitadores do processo foram a busca por maior domínio e valorização do trabalho pelos profissionais do Vigiagua, e a expectativa de agregar interlocutores de diferentes áreas de conhecimento na resolução de problemas comuns. Por outro lado, pontos de dificuldades foram relatados: recursos humanos e financeiros insuficientes, falta de autonomia técnico-gerencial para o estabelecimento de canais de comunicação, e falta de planejamento.

Na esfera estadual, o Programa de Vigilância da Água para Consumo Humano do Estado de São Paulo (Proagua) foi implantado em 1992 sob coordenação do Centro de Vigilância Sanitária da Coordenadoria de Controle de Doenças (Secretaria de Estado da Saúde) com, basicamente, os mesmos objetivos: colaborar na promoção e proteção da saúde da população por meio da garantia da potabilidade da água destinada ao consumo humano no Estado de São Paulo. Para tanto, são previstas uma série de ações: colaborar na gestão integrada dos recursos hídricos; analisar e interpretar informações de qualidade dos recursos hídricos; cadastrar e inspecionar sistemas e soluções alternativas de abastecimento, bem como avaliar relatórios produzidos pelos respectivos responsáveis; monitorar a qualidade da água para consumo humano por meio da coleta de amostras e análises laboratoriais de vigilância, nos parâmetros básicos de rotina (coliformes termotolerantes e totais, cloro residual livre, pH, turbidez, cor e fluoreto); finalmente, analisar o perfil epidemiológico da população, procurando relacionar a ocorrência de agravos com o consumo de água<sup>4</sup>. Neste contexto, o Instituto Adolfo Lutz é referência importante do Proagua, coordenando uma rede de 19 Laboratórios de Saúde Pública, responsáveis

por aproximadamente 390 mil análises bacteriológicas e físico-químicas realizadas anualmente no âmbito do programa (na regional de Ribeirão Preto, as análises realizadas são coliformes totais, *Escherichia coli*, cor, turbidez e fluoreto). Valentim et al.<sup>5</sup>, em uma avaliação dos 20 anos do Proagua, frisaram que as ações de vigilância exigiam atenção a todas as etapas do processo de produção da água, visando estabelecer relações desde a condição do manancial disponível até as demandas do acesso à água potável. Assim, a área da Vigilância Sanitária requer uma maior articulação no campo da saúde e em outros campos da ação governamental, como o ambiental e os serviços de abastecimento, havendo a necessidade de se estabelecer uma agenda de pesquisa integrada à de outras áreas em saúde, como já bem apontado por De Seta et al.<sup>6</sup>.

Neste contexto, o presente artigo procura descrever uma interação bem sucedida entre Vigilância Sanitária e Laboratório de Saúde Pública lidando com a contaminação de águas subterrâneas por nitrato. Essa interação ocorreu recentemente em Monte Azul Paulista, um município localizado na região nordeste do Estado de São Paulo e com aproximadamente vinte mil habitantes, que depende exclusivamente do manancial subterrâneo. Para compreender esta interação, é preciso inicialmente registrar que os 645 municípios do Estado de São Paulo estão organizados em 28 grupos técnicos de vigilância (Grupos de Vigilância Sanitária, GVS) – a Vigilância Sanitária de Monte Azul Paulista (VISA-M) faz parte do Grupo de Vigilância Sanitária Barretos (GVS-14). Em um segundo momento, é importante fazer breves considerações sobre a presença de nitrato em águas de abastecimento público, o que fazemos a seguir.

Em águas, as formas de nitrogênio de maior interesse são, em ordem crescente de estado de oxidação, nitrogênio orgânico (proteínas, peptídeos, ureia etc.), amônia/íon amônio ( $\text{NH}_3 / \text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ )<sup>7</sup>. Todas estas formas de nitrogênio, assim como o gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), são bioquimicamente interconvertíveis e fazem parte do chamado “Ciclo do Nitrogênio”, uma troca contínua de nitrogênio entre a atmosfera, o solo, os oceanos e os organismos vivos<sup>8</sup>. Por exemplo, na degradação total da matéria orgânica nitrogenada em condições aeróbias, haverá a formação preferencial de nitrato; em condições anaeróbias, o nitrito pode se formar em quantidade significativa.

Os compostos orgânicos, incluindo aqueles contendo nitrogênio (como as substâncias húmicas, originadas da degradação química e biológica de resíduos de plantas e da atividade metabólica de microrganismos<sup>9</sup>), podem influir em fatores sensoriais da água como sabor, odor e aparência (cor e turbidez). Desta forma, um serviço de abastecimento, além de garantir a segurança à saúde em seus aspectos físico-químicos e microbiológicos frente ao consumo da água fornecida, deve também idealmente fornecer, através de tratamento adequado, um produto insípido, inodoro, incolor e transparente, que possa ser considerado como adequado pelo consumidor<sup>10</sup>. Segundo a legislação brasileira<sup>11</sup>, para gosto e odor a intensidade máxima de percepção<sup>12</sup> é 6, enquanto os valores máximos permitidos para cor e turbidez são 15 uH e 5 uT, respectivamente.



A amônia, termo comumente usado tanto para a espécie não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) como para a ionizada ( $\text{NH}_4^+$ ), pode acumular-se no meio ambiente como resultado de atividades agrícolas e industriais, da degradação de matéria orgânica, e a partir do uso de cloraminas na desinfecção de águas. Porém, como trata-se de componente extremamente importante no metabolismo dos mamíferos, e sendo a quantidade devida à exposição a fontes ambientais muito menor em comparação com a sua síntese endógena, a Organização Mundial de Saúde (OMS) não considera a amônia como de imediata relevância e, portanto, não propõe nenhum valor de referência, ou valor máximo recomendado, mas cita que o limiar para que o seu odor característico seja perceptível na água é, aproximadamente, 1,5 mg/L em meio alcalino<sup>10</sup>. Esta concentração de 1,5 mg/L, expressa como  $\text{NH}_3$ , é o valor máximo permitido pela legislação brasileira para águas destinadas ao consumo<sup>11</sup>.

Geralmente, a principal fonte de exposição humana a nitrato e nitrito é através do consumo de vegetais, de carnes (principalmente as curadas) e dos chamados embutidos (salsichas, linguiças, mortadelas e outros)<sup>13</sup>. Contudo, o teor de nitrato em águas destinadas ao consumo humano tornou-se de interesse em Saúde Pública em virtude não somente da ocorrência de metemoglobinemia, principalmente em crianças até três meses de idade, mas também de uma possível correlação entre risco de desenvolvimento de câncer e nitrosação endógena, sendo essa provocada pela alta ingestão de nitrato e/ou nitrito e de compostos nitrosáveis<sup>14</sup>.

Enquanto nitrato é encontrado naturalmente no meio ambiente, sendo um importante nutriente para as plantas, nitrito não está usualmente presente em concentrações significativas exceto em ambientes redutores, uma vez que o nitrato é a espécie mais estável em termos de estado de oxidação. Não obstante, nitrito pode ser formado a partir do nitrato por ação microbiológica (redução promovida por microrganismos) e dentro do organismo humano, a partir de nitrato ingerido<sup>10</sup>.

Sendo mais comum, o nitrato pode estar presente tanto em águas superficiais como subterrâneas, como consequência da atividade agrícola (incluindo excessivo uso de fertilizantes inorgânicos nitrogenados e adubos), da disposição no meio ambiente de águas residuais sem tratamento e da oxidação de excretas animais e humanos (incluindo a que ocorre em tanques sépticos). Enquanto as concentrações de nitrato podem variar rapidamente em águas superficiais, nas subterrâneas geralmente as variações são mais lentas<sup>10,15</sup>. Este fator é preocupante: uma vez poluído, um corpo de água subterrânea pode permanecer neste estado por décadas devido à lentidão do processo de recarga natural com água não contaminada<sup>14,16</sup>.

A OMS recomenda níveis de nitrato de até 50  $\text{mgNO}_3^-/\text{L}$  (ou 11  $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$ , se expresso como teor de nitrogênio-nitrato) e níveis de nitrito de até 3  $\text{mgNO}_2^-/\text{L}$  (ou 0,9  $\text{mgN-NO}_2^-/\text{L}$ , se expresso como teor de nitrogênio-nitrito) para águas destinadas ao consumo humano. Esses valores máximos recomendados são baseados em estudos clínicos epidemiológicos relacionando águas potáveis contendo nitrato em excesso e a ocorrência de metemoglobinemia<sup>10</sup>. Uma vez que existe a possibilidade de ocorrência

simultânea de nitrato e nitrito em águas potáveis, a OMS recomenda que a soma das razões entre as concentrações ( $C_{\text{nitrato}}$  e  $C_{\text{nitrito}}$ ) e seus respectivos máximos recomendados ( $GV_{\text{nitrato}} = 50 \text{ mgNO}_3^-/\text{L}$  ou 11  $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$ , e  $GV_{\text{nitrito}} = 3 \text{ mgNO}_2^-/\text{L}$  ou 0,9  $\text{mgN-NO}_2^-/\text{L}$ ) não deve exceder 1, o que pode ser expresso pela Equação.

$$\text{(Equação)} \quad \frac{C_{\text{nitrato}}}{GV_{\text{nitrato}}} + \frac{C_{\text{nitrito}}}{GV_{\text{nitrito}}} \leq 1$$

Em águas destinadas ao consumo humano, a legislação brasileira<sup>11</sup> estabelece valores máximos permitidos de 10  $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$  para o nitrato, e 1  $\text{mgNO}_2^-/\text{L}$  para o nitrito.

No Estado de São Paulo, é crescente a preocupação com relação ao aumento dos níveis de nitrato em águas subterrâneas<sup>17</sup>, evidenciada pela recente realização de um seminário na cidade de Bauru (SP) denominado “Nitrato nas águas subterrâneas no Estado de São Paulo: desafios frente ao panorama atual”, com a presença da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), do Instituto Geológico da Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo (IG/SMA), do Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE), do Centro de Vigilância Epidemiológica da Secretaria de Estado da Saúde de São Paulo (CVE/SES) e do Centro de Vigilância Sanitária da Secretaria de Estado da Saúde (CVS/SES), entre outros. Este seminário resultou em um documento de alerta às autoridades quanto ao problema, a “Carta de Bauru sobre a ocorrência de nitrato em águas subterrâneas” de 25/04/2013, em que são citados casos confirmados de contaminação nos municípios Presidente Prudente, Bauru e Urânia<sup>18</sup>. Este documento, assim como outros relacionados ao seminário e que fornecem uma visão global dos níveis de nitrato nas águas subterrâneas do Estado, pode ser acessado no sítio do Sistema de Informação para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, [www.sigrh.sp.gov.br](http://www.sigrh.sp.gov.br).

Em março de 2013, o DAEE, através da Portaria DAEE nº 965 de 27/03/2013<sup>19</sup>, restringiu a captação de água subterrânea no município de Monte Azul Paulista, região nordeste do Estado de São Paulo (Figura 1), com base nos resultados das análises realizadas pelo Instituto Adolfo Lutz/Centro de Laboratórios Regional de Ribeirão Preto (IAL-RP) que demonstraram a contaminação por nitrato em amostras de águas encaminhadas pela VISA-M. Na realidade, para se reunir elementos que justificassem a decisão pela restrição da captação, um trabalho de investigação foi conduzido durante aproximadamente 18 meses, cujo marco inicial pode ser considerado o fato da VISA-M e GVS-14 comunicarem ao IAL-RP a preocupação com os níveis de nitrato das águas de abastecimento público do município de Monte Azul Paulista.

Assim, este artigo descreve a atuação coordenada entre VISA-M, GVS-14 e IAL-RP, apresentando também os resultados que forneceram as informações necessárias para que a decisão pela restrição fosse adotada pelo DAEE. De um ponto de vista prático, apresenta-se nesse trabalho exemplo de interação bem sucedida entre órgãos de Saúde Pública que possibilitou a tomada de decisões efetivas e relativamente rápidas na ação direta de proteção, promoção e preservação da saúde. Sob este aspecto, trata-se de registro importante uma vez que o município depende exclusivamente do



Figura 1. Localização aproximada do município de Monte Azul Paulista no Estado de São Paulo (Brasil).

manancial subterrâneo, sendo o abastecimento público realizado através de 30 poços tubulares existindo, ainda, 124 poços privados cadastrados no DAEE e localizados dentro da área de restrição. Todos esses 154 poços pertencem à área urbana do município (os respectivos endereços podem ser encontrados na Portaria nº 965<sup>19</sup>).

## METODOLOGIA

As amostras de águas foram coletadas por agentes treinados da VISA-M, em frascos plásticos limpos com capacidade para 500 mL, de acordo com procedimentos estabelecidos pela Fundação Nacional de Saúde<sup>20</sup>. As amostras foram refrigeradas e imediatamente encaminhadas ao IAL-RP, onde foram analisadas na mesma data de coleta.

As determinações de nitrato e nitrito seguiram as recomendações de American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation<sup>7</sup>, sendo que nitrato foi determinado por espectrofotometria UV (medidas de absorbância em 220 e 275 nm), com o uso de soluções-padrão de concentrações 0,2 a 2,0 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L para a construção das curvas de calibração (limite de detecção do método = 0,10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) e nitrito foi determinado por espectrofotometria Visível (medida de absorbância em 543 nm), após desenvolvimento de cor com sulfanilamida e N-1-naftil-etilenodiamina, com o uso de soluções-padrão de concentrações 0,005 a 0,025 mgN-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L para a construção das curvas de calibração (limite de detecção do método = 0,002 mgN-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L). Para a leitura das absorbâncias utilizou-se espectrofotômetro marca Hach modelo DR 4000U. Foram analisadas:

- amostras de águas provenientes do Proagua. Essas análises, em um total de 55, foram realizadas entre fevereiro e agosto de 2011 por solicitação da VISA-M ao IAL-RP, em adição às normalmente realizadas pelo programa, que incluem coliformes totais, *Escherichia coli*, cor, turbidez e fluoreto (os parâmetros pH, temperatura e cloro residual livre são determinados pelos agentes da VISA-M no momento da coleta). As amostras, em sua grande maioria, foram colhidas em locais usuais de vigilância, como cavaletes, pontos de consumo e saídas de tratamento. Nesta fase, não houve um planejamento rigoroso de amostragem;

- amostras de águas dos 30 poços de responsabilidade do Serviço Autônomo de Água, Esgoto e Meio Ambiente de Monte Azul Paulista (SAEMAP), em outubro de 2011. Estas análises foram repetidas em janeiro de 2012, sendo as amostras coletadas diretamente dos poços, antes do tratamento;
- amostras de águas de quatro soluções alternativas coletivas (SAC) e de quatro soluções alternativas individuais (SAI), em abril e maio de 2012. A SAC caracteriza-se por uma modalidade de abastecimento coletivo de água para consumo humano destinada a fornecer água potável, com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição. A SAI, por sua vez, é uma modalidade de abastecimento de água para consumo humano atendendo a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares<sup>11</sup>. As amostras foram coletadas diretamente dos poços, antes do tratamento;
- amostras de águas de 37 SAI, coletadas diretamente dos poços, em setembro e outubro de 2012.

Todas as amostras foram coletadas na área urbana do município, sendo provenientes de manancial subterrâneo (o município não dispõe de captação de água superficial). Resumidamente, a estratégia para coleta das amostras de águas e respectivas análises envolveu três etapas, excluindo-se o período inicial que incluiu as 55 amostras do Proagua: (i) coleta e análise de amostras de todos os poços sob a responsabilidade do poder público (em número de 30); (ii) coleta e análise de amostras de algumas SAC e SAI na região suspeita de contaminação (área urbana central), definida na etapa anterior; (iii) coleta e análise de amostras SAI na mesma região do item anterior.

O tratamento matemático-estatístico das curvas de calibração foi baseado nas normas ISO 11095<sup>21</sup>, ISO 8466-1<sup>22</sup> e ISO 11843-1,2<sup>23,24</sup>, e em recomendações da International Pure and Applied Chemistry<sup>25</sup>, sendo realizado em planilhas eletrônicas específicas para nitrito e nitrato, conforme descrito por Dovidauskas et al.<sup>26</sup>. Com o objetivo de verificar se ocorriam diferenças sistemáticas (não-aleatórias) entre os resultados obtidos em outubro de 2011 e janeiro de 2012 para as amostras de águas de responsabilidade do SAEMAP, foi realizado o teste de postos com sinais de Wilcoxon em software Origin® 9.0Pro, assumindo-se nível de significância  $\alpha = 0,05$ . Este teste não-paramétrico é aplicado no contexto de pares conjugados, como uma alternativa ao teste t (paramétrico).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, as análises das 55 amostras do Proagua indicaram que 27,2% apresentavam teores de nitrato iguais ou maiores que 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, e 25,5% apresentavam concentrações entre 5 e 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (5 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L é considerado pela CETESB como valor indicativo da necessidade de definição de ações preventivas e regras para aplicação de resíduos em solos agrícolas, nos processos de licenciamento e fiscalização ambiental<sup>27</sup>). Nitrito não foi detectado em nenhuma amostra.



Constatando-se que havia necessidade de se obter mais informações para se identificar a origem dos elevados níveis de nitrato observados em parcela significativa das amostras, uma vez que os resultados das análises não forneciam informação consistente quanto a sua localização devido à ausência de um plano específico de amostragem, foi organizada pela VISA-M a 1ª Reunião Técnica, sendo realizada em outubro de 2011 em Monte Azul Paulista. Nesta 1ª Reunião, em que estiveram presentes VISA-M, GVS-14, IAL-RP, responsáveis pelo SAEMAP e o prefeito do município, decidiu-se tentar mapear a provável contaminação, através da análise de amostras de águas coletadas diretamente (antes de qualquer tratamento) de todos os poços sob a responsabilidade do SAEMAP, em duas oportunidades: imediatamente (outubro/2011) e durante o período de maior volume de chuvas (janeiro/2012). A coleta das amostras antes do tratamento é justificada pelo fato de que o tratamento (desinfecção por cloração) poderia estar impossibilitando a quantificação do nitrito, uma vez que é improvável a coexistência deste íon com cloro residual livre<sup>7</sup> – por exemplo, o potencial redox padrão da reação entre nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ) é positivo (0,79 V), o que indica reação termodinamicamente espontânea<sup>28</sup>.

Neste mapeamento inicial realizado em outubro/2011, observou-se que a concentração de nitrato era superior a 10  $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$  em cinco poços (16,7%) localizados na área urbana central e mais antiga da cidade. Em outros quatro poços (13,3%), os teores de nitrato resultaram entre 5 e 10  $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$  e nos demais (70%) as concentrações apresentaram-se abaixo de 5  $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$ . Nitrito não foi detectado em nenhuma das amostras. As repetições das análises em janeiro/2012 (Tabela 1) confirmaram a área urbana central como suspeita de contaminação por nitrato, enquanto nitrito continuou a não ser detectado. Desta forma, observando-se que as condições favoreciam o acúmulo apenas do nitrato, resolveu-se focalizar a atenção apenas nesta substância.

Comparando-se os resultados da Tabela 1 como dados pareados, verificou-se que a soma das variações de concentrações de cada poço entre janeiro/2012 e outubro/2011 resultava positiva (+13,9  $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$ ), com os maiores incrementos sendo observados nos poços onde a contaminação é mais evidente. A comparação por meio do teste de postos com sinais de Wilcoxon entre os resultados obtidos nos dois momentos de coleta e análise, ou seja, no início do período de chuvas (outubro/2011) e durante o período de maior volume de precipitações (janeiro/2012), mostrou a existência de diferença estatisticamente significativa entre as duas amostragens ( $p = 0,014$ ), indicando que os resultados de janeiro/2012 foram sistematicamente maiores que os de outubro/2011. Tendo em mente que a concentração de nitrato em águas subterrâneas depende de vários fatores como, por exemplo, tipo de solo, situação geológica (aquífero livre ou confinado), profundidade de poços (lençol freático) e que, em áreas contaminadas, a variação pode ser sazonal acompanhando o volume de chuvas<sup>10,14,15</sup>, a constatação que os maiores incrementos foram observados nos poços de Monte Azul Paulista onde a contaminação é mais evidente sugere que há um aumento na quantidade de nitrato transportada da fonte de contaminação à área de captação de água com o aumento do volume de chuvas.

Tabela 1. Concentrações de nitrato em amostras de águas de abastecimento público<sup>a</sup>.

Amostra	Teor nitrato ( $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$ ) $\pm$ IC <sup>b</sup>		Variação <sup>c</sup>
	Out. / 2011	Jan. / 2012	
Poço 1	0,96 $\pm$ 0,01	1,18 $\pm$ 0,02	+0,18
Poço 2	0,34 $\pm$ 0,01	0,29 $\pm$ 0,02	-0,05
Poço 3	1,56 $\pm$ 0,03	1,28 $\pm$ 0,04	-0,28
Poço 4	0,92 $\pm$ 0,01	1,11 $\pm$ 0,02	+0,19
Poço 5	0,33 $\pm$ 0,01	0,25 $\pm$ 0,02	-0,08
Poço 6	0,42 $\pm$ 0,01	0,45 $\pm$ 0,02	+0,03
Poço 7	5,3 $\pm$ 0,1	4,9 $\pm$ 0,2	-0,36
Poço 8	2,30 $\pm$ 0,07	2,2 $\pm$ 0,1	-0,10
Poço 9	7,0 $\pm$ 0,1	7,1 $\pm$ 0,2	+0,12
Poço 13	6,9 $\pm$ 0,1	7,0 $\pm$ 0,2	+0,08
Poço 14	7,6 $\pm$ 0,1	5,8 $\pm$ 0,2	-1,82
Poço 16	11,8 $\pm$ 0,3	14,7 $\pm$ 0,5	+2,93
Poço 17	10,3 $\pm$ 0,3	14,5 $\pm$ 0,6	+4,17
Poço 19	1,53 $\pm$ 0,03	2,45 $\pm$ 0,05	+0,92
Poço 20	0,41 $\pm$ 0,01	0,29 $\pm$ 0,03	-0,12
Poço 10	2,73 $\pm$ 0,07	3,7 $\pm$ 0,1	+0,97
Poço 11	3,40 $\pm$ 0,07	3,7 $\pm$ 0,1	+0,30
Poço 12A	2,49 $\pm$ 0,07	2,6 $\pm$ 0,1	+0,11
Poço 12B	1,31 $\pm$ 0,07	1,5 $\pm$ 0,1	+0,19
Poço 18	4,3 $\pm$ 0,1	4,1 $\pm$ 0,3	-0,19
Poço 21	11,2 $\pm$ 0,1	12,9 $\pm$ 0,3	+1,70
Poço 22	0,50 $\pm$ 0,07	0,65 $\pm$ 0,02	+0,15
Poço 23	2,31 $\pm$ 0,07	2,5 $\pm$ 0,1	+0,19
Poço 24	3,6 $\pm$ 0,1	7,7 $\pm$ 0,1	+4,06
Poço 26	4,09 $\pm$ 0,07	4,8 $\pm$ 0,1	+0,71
Poço 27	1,50 $\pm$ 0,07	1,57 $\pm$ 0,03	+0,07
Poço 28	1,36 $\pm$ 0,07	1,56 $\pm$ 0,03	+0,20
Poço APAE	3,1 $\pm$ 0,1	3,8 $\pm$ 0,1	+0,73
Poço AMA	16,4 $\pm$ 0,3	15,1 $\pm$ 0,6	-1,30
Poço Hospital	10,3 $\pm$ 0,1	10,5 $\pm$ 0,3	+0,20
Soma das variações			+13,9

<sup>a</sup>Nitrito não foi detectado em nenhuma amostra (limite de detecção = 0,002  $\text{mgN-NO}_2^-/\text{L}$ )

<sup>b</sup>IC = Intervalo de confiança 95%, amostras em duplicata

<sup>c</sup>Variação = (concentração em jan/2012) - (concentração em out/2011)

Em vista dos resultados obtidos, o SAEMAP contratou o Laboratório de Estudo de Bacias (LEBAC) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus Rio Claro (SP), de modo a realizar estudos hidrogeológicos que incluíssem, inicialmente, a perfuração de um novo poço na área contaminada, de modo a obter informações que permitissem uma melhor caracterização da situação. As análises preliminares do solo retirado durante a perfuração, concluída em abril/2012, indicou que o nitrato não era oriundo da composição natural do solo, enquanto as análises de amostras de água deste poço indicaram concentrações altas persistentes de nitrato (9,4 a 11,5  $\text{mgN-NO}_3^-/\text{L}$ ). Os estudos do LEBAC constituem a Dissertação de Mestrado do geólogo Filipe Montanheiro sob a supervisão do Prof. Dr. Chang Hung Kiang.



Na 3ª e 4ª Reuniões Técnicas decidiu-se analisar soluções alternativas localizadas próximas aos poços de abastecimento público que apresentaram teores de nitrogênio maiores que 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, com o objetivo de confirmar a contaminação. Assim, em abril e maio de 2012 foram analisadas amostras de águas de quatro poços SAC e de quatro poços SAI, todos localizados na mesma região urbana central. Conforme mostra a Tabela 2, todas as amostras também apresentaram concentrações maiores que 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. A Figura 2 apresenta a localização aproximada dos 38 poços no município (30 de abastecimento público, quatro SAC e quatro SAI, incluídos nas Tabelas 1 e 2), mostrando a contaminação na região central da área urbana do município. Em julho e agosto/2012, dois poços sob a responsabilidade do SAEMAP e um poço SAC, localizados nessa região, foram tamponados em processos acompanhados pelo DAEE.

Com relação a esse mapeamento inicial (Tabelas 1 e 2, e Figura 2), a constatação de contaminação por nitrato na região central e mais antiga da área urbana do município remete a outros casos ocorridos no Estado de São Paulo, embora o esclarecimento das causas da contaminação em Monte Azul Paulista ainda necessite da conclusão dos estudos do LEBAC. Por exemplo, no caso de Marília (SP), descrita por Varnier et al.<sup>29</sup>, os autores sugeriram que a contaminação estaria relacionada à rede de esgotamento sanitário, dada à localização (no centro da área urbana, sobretudo nos bairros mais antigos e de maior densidade populacional) e profundidade dos poços (até 150 metros). Outro caso foi descrito por Godoy et al.<sup>30</sup>, em Presidente Prudente (SP), onde a contaminação foi atribuída a vazamento de esgoto doméstico, lixiviação de fossas e de depósitos variados de resíduos sólidos. A relação “destinação inadequada de esgoto/aumento na concentração de nitrato” já é estudada pela OMS há algum tempo. Em 1996, por exemplo, Chilton<sup>16</sup> cita localidades com problemas similares na América do Sul, África e Índia. No Estado de São Paulo, segundo recente relatório da CETESB<sup>26</sup>, estudos associaram elevadas concentrações de nitrato em águas de poços de locais que sofrem o processo de urbanização há mais tempo (onde, no início do processo, concentraram-se fossas negras e sépticas), a vazamentos de redes coletoras de esgotos e a áreas de deposição de resíduos.

Em setembro e outubro/2012, realizaram-se as análises de águas de 37 poços SAI localizados na mesma região central e urbana do município. Os resultados mostraram que 68% destes poços apresentavam teores de nitrato acima de 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, 16%

apresentavam teores entre 5 e 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L e 16% apresentavam teores menores que 5 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L.

Assim, considerando o período de outubro/2011 a outubro/2012, o número de poços que tiveram amostras de águas coletadas e analisadas atinge 75 (30 de abastecimento público, 4 SAC e 41 SAI), com contaminação sendo detectada em 38, ou seja, em aproximadamente 50% dos poços. Em adição, como indicado na Figura 2, essa contaminação predomina na área urbana central.

Todo este conjunto de resultados permitiu ao DAEE conduzir as providências cabíveis. Assim, tendo como objetivos a recuperação e preservação do manancial subterrâneo que o município utiliza, a área de

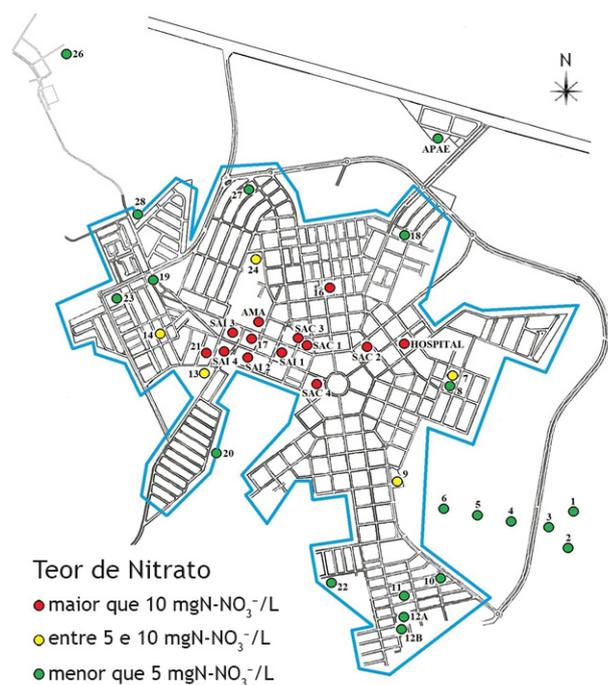


Figura 2. Ilustração de mapa simplificado da área urbana do município de Monte Azul Paulista indicando, aproximadamente, a posição dos poços de abastecimento público (Tabela 1), SAC e SAI (Tabela 2), e a área de restrição estabelecida pelo DAEE (linha azul). As coordenadas exatas do polígono definindo a área de restrição podem ser encontradas na Portaria DAEE nº 965<sup>19</sup>.

Tabela 2. Concentrações de nitrato em amostras de águas de soluções alternativas

Data análise	Teor nitrato (mgN-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L) ± IC <sup>a</sup>	Solução alternativa
17/04/2012	16,5 ± 0,6	Individual 1
17/04/2012	13,2 ± 0,6	Individual 2
17/04/2012	12,6 ± 0,6	Individual 3
17/04/2012	15,3 ± 0,6	Individual 4
17/04/2012	15,8 ± 0,6	Coletiva 1
29/05/2012	15,8 ± 0,6	Coletiva 2
29/05/2012	12,9 ± 0,6	Coletiva 3
29/05/2012	12,7 ± 0,6	Coletiva 4

<sup>a</sup>IC = Intervalo de confiança 95%, amostras em duplicata

restrição e controle temporário, indicada na Figura 2 e estabelecida pelo DAEE em março de 2013 através da Portaria DAEE nº 965<sup>19</sup>, implica que (i) não serão emitidas novas outorgas, sejam do tipo licença de execução de poços, sejam de direito de uso das águas subterrâneas; (ii) para usuários que já possuíam outorga, ficou a responsabilidade de apresentar ao DAEE as análises físico-químicas de seus poços de acordo com a Portaria nº 2914<sup>11</sup> especificamente para os parâmetros nitrato e cloreto, sob pena de terem suas autorizações canceladas (segundo a mesma Portaria, as análises deveriam ser realizadas por laboratórios do IAL ou da CETESB); (iii) os usuários da área de restrição que não possuíam outorga deveriam solicitar a interligação com a rede municipal, desativando seus poços temporariamente



(retirando a bomba e lacrando o poço com chapa de aço soldada). O prazo previsto para esta interdição em Monte Azul Paulista é de dois anos, podendo ser prorrogado. Durante esse período, estudos deverão ser elaborados e concluídos por uma das instituições integrantes do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, indicados por DAEE, Instituto Geológico, CETESB e Vigilância Sanitária.

Finalmente, já a partir da 3ª Reunião Técnica (fevereiro/2012) foi decidido que o IAL-RP realizasse o controle semestral de poços de abastecimento público em que as concentrações de nitrato se situassem no intervalo entre 5 e 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L. A Figura 3 apresenta os resultados até o presente momento. Nesse monitoramento, atenção especial tem sido dedicada aos teores apresentados pelo Poço 14: além de apresentar uma ocorrência acima de 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, nas duas análises seguintes os resultados apresentaram concentrações em torno de 8,0 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, um nível que requer muita atenção dada a variabilidade que se observou em poços contaminados. Por exemplo, pode-se observar na Tabela 1 que poços do município de Monte Azul Paulista podem apresentar incrementos de concentração superiores a +4 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, enquanto os decréscimos de concentração não atingem -2 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L no mesmo período. Neste sentido, também é importante observar na Figura 3 os dois últimos resultados para o poço 24, em que se observou um acréscimo de 3,0 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (de 4,3 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L em janeiro/2014 para 7,3 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L em julho/2014).

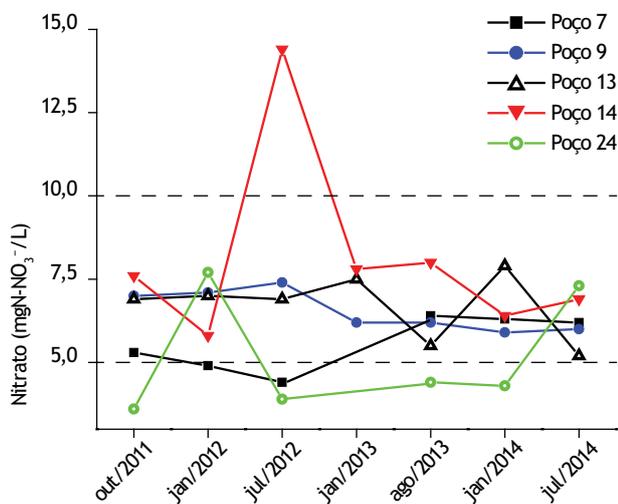


Figura 3. Gráfico do monitoramento semestral de águas de 5 poços com teor de nitrato entre 5 e 10 mgN-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L.

## CONCLUSÃO

Além de apresentar os resultados que conduziram às medidas restritivas adotadas pelo DAEE, este trabalho procurou mostrar a importância da articulação ocorrida entre a área da Vigilância Sanitária e o Laboratório de Saúde Pública. A articulação foi bem sucedida principalmente devido às Reuniões Técnicas promovidas pela VISA municipal, com o apoio do GVS de Barretos e com a participação efetiva do IAL-RP. Deve ser frisado que (i) a investigação preliminar iniciou-se por iniciativa da VISA-M através de coletas de amostras rotineiras do Proagua e que (ii) até a ocorrência da primeira reunião, não havia informação segura a respeito da origem da contaminação, apesar do número significativo de amostras de águas analisadas.

A realização das Reuniões Técnicas motivou a participação de competências de outras Instituições na busca pela caracterização da situação das águas subterrâneas usadas para consumo humano em Monte Azul Paulista, em termos do parâmetro nitrato. Em particular, as participações do Poder Executivo do Município, do serviço responsável pelo abastecimento e do DAEE conferiram agilidade a todo o processo, desde o planejamento da coleta das amostras de águas até a determinação da área de restrição de captação de águas subterrâneas. Em resumo, as atividades deste grupo multidisciplinar permitiu ao DAEE obter informações e instrumentos adequados de avaliação que conduziram às ações necessárias, de forma relativamente rápida, no intuito de recuperação e preservação do manancial utilizado pelo município.

Finalmente, ressalte-se aqui que o meio mais apropriado para controlar as concentrações de nitrato, principalmente em águas subterrâneas, é prevenir a contaminação através de uma série de procedimentos que incluem, por exemplo, o gerenciamento e controle apropriado da rede de esgotos, da instalação de tanques sépticos e de práticas agrícolas<sup>10</sup>. O período de dois anos de interdição em Monte Azul Paulista prevê, como afirmado anteriormente, estudos por instituições do Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Esses estudos devem contemplar iniciativas no sentido de reassumir o controle sobre os níveis de nitrato nas águas daquele município, o que pode incluir, por exemplo, a remediação (tratamento do aquífero ou da água extraída), a revisão da rede coletora de esgotos e o deslocamento da captação de água para áreas mais distantes da região urbana central. Nesse último caso, um plano de proteção ambiental à área de captação deverá ser elaborado.

## REFERÊNCIAS

1. Ministério da Saúde (BR), Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação Geral de Vigilância em Saúde. Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano. Brasília, DF: Ministério da Saúde; 2005.
2. Queiroz ACL, Cardoso LSM, Silva SCF, Heller L, Cairncross S. Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental Relacionada à Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiágua): lacunas entre a formulação do programa e sua implantação na instância municipal. *Saúde Soc.* 2012;21(2):465-78. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-12902012000200019>
3. Queiroz ACL, Cardoso LSdM, Coutinho MTZ, Guimarães FA, Heller L. Água e saúde: (des)integração entre vigilâncias e as lições de prática. *Physis.* 2012;22(2):587-603. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-73312012000200010>



4. Centro de Vigilância Sanitária (SP). Programa de Vigilância da Qualidade da Água Para Consumo Humano do Estado de São Paulo (Proagua). 1992 [acesso em: set 2013]. Disponível em: [http://www.cvs.saude.sp.gov.br/prog\\_det.asp?te\\_codigo=13&pr\\_codigo=13](http://www.cvs.saude.sp.gov.br/prog_det.asp?te_codigo=13&pr_codigo=13)
5. Valentim LSO, Elmec AM, Junior RJM, Bataiero MO. Novos cenários de produção e de vigilância da qualidade da água para consumo humano - 20 anos de Proagua no Estado de São Paulo - Parte I. BEPA. 2012;9(100):29-39.
6. De Seta MHD, Pepe VLE, Costa EA. Vigilância sanitária: argumentos, dilemas e conquistas. Ciênc Saúde Colet. 2010;15 (Supl 3):3304. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232010000900001>
7. Eaton AD, Clesceri LS, Greenber AE, editors. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th ed. Washington, DC: American Public Health Association; 1995.
8. Lee JD. Química inorgânica não tão concisa. 5a ed. São Paulo: Edgard Blücher; 1999.
9. Landgraf MD, Alves MR, Silva SC, Rezende MOO. Caracterização de ácido húmicos de vermicomposto de esterco bovino compostado durante 3 e 6 meses. Quím Nova. 1999;22(4):483-6. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40421999000400003>
10. World Health Organization – WHO. Guidelines for drinking water quality. 4th ed. Geneva: World Health Organization; 2011.
11. Ministério da Saúde (BR). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de portabilidade. Diário Oficial da União. 14 dez. 2011;Seção 1:39-46.
12. Ferreira Filho SS, Alves R. Técnicas de avaliação de gosto e odor em águas de abastecimento: método analítico, análise sensorial e percepção dos consumidores. Eng Sanit Amb. 2006;11(4):362-70. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000400009>
13. Coultrate TP. Alimentos: a química de seus componentes. 3a ed. Porto Alegre: Artmed; 2004.
14. World Health Organization – WHO. Nitrate and nitrite in drinking-water. Geneva: World Health Organization; 2011 [acesso em: ago 2013]. (WHO/SDE/WSH/07.01/16/Rev/1). Disponível em: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/nitratennitrite\\_background.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/nitratennitrite_background.pdf)
15. Baird C. Environmental chemistry. 2nd ed. New York: W.H. Freeman; 2000.
16. Chilton J. Groundwater. In: Chapman D, editor. Water quality assessments: a guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring 2nd ed. Cambridge: Unesco; 1996. p. 394-482.
17. Iritani MA, Ezaki S. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. 2a ed. São Paulo: Secretaria de Estado de Meio Ambiente; 2009.
18. Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Carta de Bauru sobre a ocorrência de nitrato em águas subterrâneas. Bauru, 25 de abril de 2013 [acesso em set 2013]. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7394/carta-de-bauru-sobre-ocorrencia-nitrato-aguas-subterraneas.pdf>
19. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (SP), Departamento de Águas e Energia Elétrica. Portaria DAEE-965, de 27 de março de 2013. Diário Oficial do Estado de São Paulo. 29 mar 2013;Seção 1:148-50.
20. Ministério da Saúde (BR), Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. Manual de saneamento. 3a ed. Brasília, DF: Ministério da Saúde; 2004.
21. International Organization for Standardization – ISO. ISO 11095:1996. Linear calibration using reference materials. Geneva: International Organization for Standardization; 1996.
22. International Organization for Standardization – ISO. ISO 8466-1:1990. Water quality: calibration and evaluation of analytical methods and estimation of performance characteristics. Geneva: International Organization for Standardization; 1990.
23. International Organization for Standardization – ISO. ISO 11843-1:1997. Capability of detection - Part 1: terms and definitions. Geneva: International Organization for Standardization; 1997.
24. International Organization for Standardization – ISO. ISO 11843-2:1997. Capability of detection - Part 2: methodology in the linear calibration case. Geneva: International Organization for Standardization; 1997.
25. Danzer K, Currie LA. Guidelines for calibration in analytical chemistry. Part 1: fundamentals and single component calibration. Pure Appl Chem. 1998;70(4):993-1014.
26. Dovidauskas S, Okada IA, Sakuma AM, Duran MC, Oliveira CC. Emprego de planilhas eletrônicas, baseadas nas normas ISO e recomendações IUPAC, em curvas analíticas da análise de água. Rev Inst Adolfo Lutz. 2013;72(1):10-20.
27. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB. Qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2010-2012. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; 2013.
28. Atkins PW. Physical chemistry. 5th ed. Oxford: Oxford University Press; 1994.
29. Varnier C, Iritani MA, Viotti M, Oda GH, Ferreira LMR. Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). Rev Inst Geológico. 2010;31(1/2):1-21.
30. Godoy MCTFd, Boin MR, Sanaiotti DC, Silva JBD. Contaminação das águas subterrâneas por nitrato em Presidente Prudente-SP, Brazil. Rev Inst Adolfo Lutz. 2004;63(2):208-214.



Esta publicação está sob a licença Creative Commons Atribuição 3.0 não Adaptada.

Para ver uma cópia desta licença, visite [http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.pt\\_BR](http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.pt_BR).