

## AVALIAÇÃO DA QUALIDADE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Adriana Maria Tedesco (UTFPR – PATO BRANCO) [adrianamtedesco@gmail.com](mailto:adrianamtedesco@gmail.com)

Flávio trojan (UTFPR – PONTA GROSSA) [trojan@utfpr.edu.br](mailto:trojan@utfpr.edu.br)

Vladimir José Wiczynski – [vlademirjose@yahoo.com.br](mailto:vlademirjose@yahoo.com.br)

### Resumo:

A degradação das águas subterrâneas, causada principalmente por atividades antropogênicas como lançamentos de esgotos sem tratamento, através das fossas que infiltram no solo, contaminando as águas e causando sérios problemas ambientais e de saúde pública, devido ao consumo dessa água contaminada. Outro problema que atinge as águas subterrâneas são os produtos químicos lançados na agricultura como o nitrato presente nos fertilizantes. A avaliação da qualidade das águas subterrâneas é um tema relevante por se tratar de uma importante fonte de água potável, principalmente em tempos de crise hídrica como vem ocorrendo, e a remoção do nitrato das águas é difícil e requer altos investimentos. Foi realizada a avaliação das águas subterrâneas na região sudoeste do Paraná, englobando 10 poços e parâmetros como: concentração de nitrato, cloreto, potencial Hidrogeniônico (pH), sólidos totais dissolvidos, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli*. Foram coletados dados de análises semestrais realizadas nos poços para avaliação temporal da concentração de nitrato. As águas subterrâneas da região apresentam boa qualidade, mas estão sendo impactadas por atividades antropogênicas. Poços com profundidade consideradas estão sendo atingidos pela poluição e isso é preocupante, pois a medida que a população aumenta, a tendência é de aumento da degradação das águas subterrâneas. O estudo visa contribuir para a tomada de decisão no gerenciamento e preservação dos mananciais, bem como para implementação de políticas de controle e preservação.

**Palavras chave:** Águas Subterrâneas, Qualidade, Nitrato.

## QUALITY ASSESSMENT GROUNDWATER

### Abstract

The degradation of groundwater, caused mainly by anthropogenic activities such as untreated sewage, through the cesspools that infiltrate the soil, contaminating the waters and causing serious environmental and public health problems due to the consumption of this contaminated water. Another problem that affects groundwater is the chemicals released in agriculture such as nitrate in fertilizers. The evaluation of groundwater quality is a relevant issue because it is an important source of drinking water, especially in times of water crisis as it has been occurring, and the removal of nitrate from the water is difficult and requires high investments. It was carried out the evaluation of groundwater in the southwestern region of Paraná, encompassing 10 wells and parameters such as nitrate concentration, chloride, hydrogenation potential, total dissolved solids, turbidity, total coliforms and *Escherichia coli*. Data were collected from semester analyzes carried out in the wells for temporal evaluation of nitrate. The groundwater of the region is of good quality but is being impacted by anthropogenic activities. Wells with depth considered are being hit by pollution and this is worrisome, as the population increases the trend is to increase the degradation of groundwater. The study aims to contribute to decision making in the management and preservation of water sources, as well as to the implementation of control and preservation policies.

**Key-words:** Groundwater, quality, Nitrate.

## 1. Introdução

O desenvolvimento econômico acelerado das últimas décadas trouxe inúmeros benefícios à sociedade, como avanços tecnológicos e científicos, mas provocou impactos ao meio ambiente, sendo os recursos hídricos os que mais sofreram os impactos na qualidade e na quantidade, e a tendência é agravada à medida que a população humana aumenta, as atividades agrícolas e industriais se expandem e as mudanças climáticas alteram o ciclo hidrológico. A produção de água potável, para suprir as necessidades das aglomerações urbanas, encontra-se extremamente fragilizada, principalmente, devido à crescente demanda associada à falta de políticas de conservação e, também, pela falta de cultura da preservação por parte da população que trata a água como sendo um recurso inesgotável (MORAIS, et al., 2015).

Com o aumento da população, visando suprir a demanda de alimentos para atender esse aumento demográfico mundial que vem ocorrendo desde a segunda guerra mundial, houve necessidade da busca de produtos mais eficientes na agricultura. Este modelo de produção agrícola, baseado na utilização de agrotóxicos para aumento da produtividade rural, foi capaz de atender as crescentes necessidades alimentares da população. Porém, o uso indiscriminado, sem estudos prévios sobre as possíveis consequências do uso de agrotóxicos e outros produtos como os fertilizantes na agricultura está gerando impactos à saúde humana e ao meio ambiente, maiores do que os benefícios associados aos seus ganhos de produtividade (VEIGA et al, 2006).

Sendo os recursos hídricos os que mais estão absorvendo o impacto do uso indiscriminado de substâncias na agricultura que visam aumentar da produtividade e o lucro, não se importando com a degradação causada. Portanto as águas superficiais estão se tornando limitadas devido à escassez e a degradação da qualidade que as tornam impróprias para consumo ou que demandam elevados investimentos para o tratamento e disponibilização da água potável, assim a busca por águas subterrâneas aumenta, fazendo com que os sistemas de abastecimento de águas se tornem dependentes dos recursos subterrâneos (HIRATA, et al., 2016).

Contudo a utilização ineficiente, a degradação e a superexploração estão comprometendo também as águas subterrâneas, e a restauração e a conservação dos aquíferos como reservatórios de água constituem grandes desafios ambientais, portanto, quantificar os riscos que afetam a qualidade, são essenciais para a implementação das políticas e leis para proteger as áreas sensíveis da contaminação.

Neste contexto de degradação das águas, o nitrato é um dos poluentes que mais afeta os aquíferos em todo o mundo, sendo que em áreas rurais estão associados a extensas áreas de monocultura, ao uso de dejetos animais e a mudanças no uso da terra, e nas áreas urbanas, a contaminação está associada a sistemas de saneamento in situ, vazamento da rede de esgotamento sanitário e resíduos sólidos (lixões e aterros sanitários), ou seja, a poluição dos recursos hídricos pode ocorrer por fontes pontuais e/ou fontes difusas (ARAUZO, 2015).

Segundo Foster et al. (2006) a contaminação das águas subterrâneas por nitrato tem causado preocupação em diversos países, uma vez que esse composto representa um importante indicador de contaminação antropogênica, apresentando grande persistência e alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas e permanecer dissolvido nas águas por mais de décadas, devido às condições oxidantes, que predominam na maior parte dos aquíferos.

Assim diversos estudos indicam que a expansão da ocupação urbana sem um sistema adequado de esgotamento sanitário gera uma carga significativa de nitrato, que atinge os aquíferos e ameaça a qualidade das águas subterrâneas. Enquanto a água subterrânea é considerada uma fonte resistente de água potável, a falta de uma gestão adequada dos resíduos domésticos e

industriais em muitos centros urbanos está se tornando uma preocupação, onde se considera a prevenção da contaminação crucial para manter a qualidade e promover a gestão eficaz das águas subterrâneas (LAPWORTH, et al. 2017).

Portanto a qualidade da água subterrânea está ameaçada de contaminação, especialmente em áreas agrícolas com aplicações intensivas de fertilizantes, bem como em áreas urbanas com a liberação de efluentes domésticos e industriais sem o devido tratamento, assim há a necessidade iminente de se realizar estudos sobre as águas subterrâneas, e desenvolver estratégias de proteção para manter a sustentabilidade das águas. Com o comprometimento da disponibilidade de água nos aquíferos, essas fontes estão ficando escassas e colocando em risco a segurança hídrica mundial, pois, a qualidade das águas subterrâneas em todo o mundo vem sendo prejudicada por poluentes, oriundos de atividades antropogênicas (LI et al., 2017).

Alvarado (2016) enfatiza que a prevenção é a premissa para a proteção das águas subterrâneas frente à poluição, uma vez que é difícil e dispendioso aplicar métodos de remediação nos aquíferos, e a qualidade da água subterrânea está sendo afetada pelos processos de poluição e a perda de qualidade pode prejudicar a sua utilidade, a disponibilidade para consumo humano e afetar a saúde da população.

Conforme o Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2017, aproximadamente, dois terços da população mundial vivem em áreas com escassez de água, e a disponibilidade de recursos hídricos também está intrinsecamente ligada à qualidade da água, já que a poluição limita o seu uso.

Mais de 97% de toda água doce disponível é representada pela água subterrânea, e a gestão da água é um dos desafios que a maioria das cidades enfrentam (Pizzol, et al., 2015). A falta de abordagens eficazes na gestão de recursos hídricos, trazem efeitos adversos, como o declínio dos níveis de água nos aquíferos, intrusão salina, degradação da terra, poluição da água e outros problemas ambientais, sociais e econômicos.

No Brasil a água subterrânea abastece mais de 82 milhões de habitantes (51% da população urbana do país referente ao ano 2017) e em torno de 52% dos municípios brasileiros. Isso retrata que os sistemas de abastecimento estão mais dependentes de fontes subterrâneas, devido à poluição dos recursos superficiais, impróprios para consumo, ou que demandam elevados investimentos para tratamento e recuperação (HIRATA et al., 2016).

A questão do saneamento é um dos problemas que afeta a qualidade da água a nível mundial. No Brasil segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre saneamento (SNIS), referentes a 2015, apenas 50,3% dos brasileiros têm acesso à coleta de esgoto, o que significa que mais de 100 milhões de pessoas utilizam medidas alternativas para descarte dos resíduos, seja em fossa, ou descartando o esgoto diretamente em rios. Quanto ao abastecimento de água tratada 83,3% dos brasileiros são atendidos, ou seja, mais de 35 milhões de brasileiros não tem acesso a este serviço básico.

A ausência ou deficiência no sistema de esgotamento sanitário de cidades densamente povoadas, que é um mecanismo de infraestrutura do processo de urbanização, influencia diretamente na degradação ambiental de rios e na qualidade das águas subterrâneas, uma vez que os resíduos são lançados in natura nos corpos d'água ou infiltram no solo, através de fossas sépticas/sumidouros e vazamentos de redes de esgoto. Para a Agência Nacional de Águas, o impacto do lançamento de esgotos sobre a qualidade das águas subterrâneas pode ser detectado através de elevadas concentrações de nitrato e do surgimento de bactérias patogênicas e vírus (ANA, 2005).

O movimento de contaminantes através do subsolo é complexo e difícil de prever, onde os diferentes tipos de contaminantes reagem de forma diferente com os solos, sedimentos e outros materiais geológicos e, se deslocam por caminhos e velocidades diferentes. A degradação das águas subterrâneas ocorre quando existe uma exploração excessiva (ZEIDAN, 2017).

A poluição e a superexploração das águas subterrâneas não é só problema de alguns, mas, depende do envolvimento de todos, pois se o mau uso dos recursos subterrâneos persistir, e não são tomadas medidas para controlar essa situação ocorrerá a degradação desses recursos.

O objetivo desse estudo foi avaliar a qualidade das águas subterrâneas da região sudoeste do Paraná, onde foram coletados dados das análises realizadas pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) em poços que são utilizados para abastecimento público de água. As informações referentes à qualidade de cada poço são análises de concentração de nitrato, cloreto, sólidos totais dissolvidos, potencial hidrogênio (pH), turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli*. A avaliação da qualidade das águas subterrâneas é de extrema importância para tomada de medidas para a proteção e a implementação de políticas e leis sobre a água.

## 2. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na região sudoeste do Paraná, englobando 10 poços utilizados pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) para o abastecimento público de água. Os municípios que fazem parte do estudo utilizam fossas sépticas para descarte dos resíduos, isso é preocupante, pois a tendência a médio e longo prazo, que isso traga consequências para as águas subterrâneas e o ambiente como um todo.

A região de estudo pertence a Bacia hidrográfica Iguazu e ao Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) é do tipo fissural ou fraturado composto por derrames basálticos da formação Serra Geral está sobreposto ao Sistema Aquífero Guarani (SAG), na Bacia do Paraná, a formação Serra Geral é constituída, por basaltos toleíticos a andesitos basálticos, correspondendo a 75% da extensão da bacia (Mocellin e Ferreira, 2009). O SASG é um dos mais importantes do estado, suas águas propiciam o abastecimento de muitos habitantes, situados em sua área de extensão, em muitos casos como fonte exclusiva de abastecimento. A qualidade das águas subterrâneas do SASG, são de boa qualidade, podendo ser utilizada para diferentes usos sem tratamento.

## 3. Metodologia

O estudo consiste na avaliação da qualidade das águas subterrâneas considerando alguns parâmetros de análise, exigidos pela Portaria nº 2914 do MS, para qualidade da água potável para consumo humano, parâmetros estes considerados essenciais para verificação da qualidade da água de poços: concentração de nitrato, cloreto, potencial Hidrogênio (pH), sólidos totais dissolvidos, turbidez, coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*). As análises foram realizadas nos laboratórios da Sanepar, seguindo as metodologias descritas em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA et al., 2012).

### 3.1 Características dos poços

Poços tubulares são obras de engenharia que permitem acesso a reservatórios de água subterrânea nos diversos aquífero, sua perfuração é executada com sonda perfuratriz verticalmente com diâmetro variável, onde a profundidade pode variar conforme a região e o tipo de poço que se deseja.

Os poços selecionados possuem vazões que variam em média 17,1 m<sup>3</sup>/h, apresentam profundidade média de 181 metros, e a maioria estão localizados em áreas urbanas. Segue figura 1 com as características dos poços analisados.

| <b>POÇO</b> | <b>LOCALIZAÇÃO</b> | <b>PROFUNDIDADE</b> | <b>VAZÃO CAPTADA</b> |
|-------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| P01         | URBANA             | 87,4                | 3,5                  |
| P02         | URBANA             | 237,5               | 6,8                  |
| P03         | RURAL              | 300                 | 6,1                  |
| P04         | URBANA             | 350                 | 10,7                 |
| P05         | URBANA             | 100                 | 26                   |
| P06         | URBANA             | 100                 | 20,7                 |
| P07         | URBANA             | 90                  | 3,4                  |
| P08         | URBANA             | 114                 | 22,9                 |
| P09         | RURAL              | 150                 | 41,9                 |
| P10         | URBANA             | 280                 | 29,2                 |

Fonte: Sanepar

Tabela 1- Características dos poços

## 4. Resultados e Discussões

### 4.1 Avaliação da qualidade

As propriedades físicas, químicas e biológicas da água são utilizadas como parâmetros para verificar se apresentam características potáveis para o consumo humano. As características das águas subterrâneas refletem os meios percorridos, adquirindo propriedades devido ao contato com as rochas, ou com produtos das atividades antropogênicas no decorrer do percurso.

Para avaliar a qualidade da água dos sistemas produtivos em estudo, foram realizadas coletas de amostras de água, e analisados os parâmetros descritos conforme metodologia para cada parâmetro. Para verificação se estão sendo impactadas por atividades antropogênicas.

| <b>POÇO</b>  | <b>NITRATO</b> | <b>CLORETO</b> | <b>STD</b> | <b>PH</b> | <b>TUR</b> | <b>C. TOTAIS</b> | <b>E. COLI</b> |
|--------------|----------------|----------------|------------|-----------|------------|------------------|----------------|
| P 01         | 2,50           | 5              | 130        | 6,7       | 0,30       | ausência         | ausência       |
| P 02         | 0,15           | 5              | 185        | 9,5       | 0,29       | presença         | ausência       |
| P 03         | 1,90           | 5              | 149        | 9,4       | 0,26       | ausência         | ausência       |
| P 04         | 5,05           | 7              | 76         | 6,0       | 0,25       | presença         | ausência       |
| P 05         | 0,53           | 5              | 101        | 6,7       | 0,32       | ausência         | ausência       |
| P 06         | 3,90           | 5              | 115        | 6,2       | 0,37       | presença         | ausência       |
| P 07         | 0,50           | 5              | 121        | 6,7       | 0,38       | presença         | ausência       |
| P 08         | 0,45           | 5              | 109        | 8,4       | 0,25       | ausência         | ausência       |
| P 09         | 0,10           | 11             | 200        | 7,9       | 0,64       | presença         | ausência       |
| P 10         | 3,26           | 6              | 125        | 7,8       | 0,25       | presença         | ausência       |
| Port.2914/11 | 10 mg/L        | 250 mg/L       | 1000 mg/L  | 6,0 - 9,5 | 5 UT       | Ausência         | Ausência       |

Fonte: Sanepar

Tabela 01 – Resultado das análises

Observa-se através dos resultados das análises que os poços estão sendo impactados pelo uso do solo e atividades antropogênicas realizadas na superfície. O parâmetro evidenciado com maior alteração foi o nitrato em alguns poços, e que mesmo a profundidades consideradas apresentaram índice acima de 5,0 mg/L, sendo considerado um valor de alerta. Outro parâmetro que apresentou alteração foram os Coliformes totais, pois alguns poços apresentaram valores positivos para este parâmetro. Quanto aos demais parâmetros analisados atendem a Portaria quanto a potabilidade da água.

Segundo Foster et al., (2006) a contaminação das águas subterrâneas por nitrato tem causado uma crescente preocupação em diversos países, uma vez que esse composto representa um importante indicador de contaminação antropogênica, pois apresenta grande persistência e alta mobilidade, podendo atingir extensas áreas e permanecer dissolvido nas águas por muitas décadas, devido às condições oxidantes, que predominam na maior parte dos aquíferos.

A forma estável de nitrogênio em condições anaeróbias, por ser considerado persistente, a remoção da água para atender ao padrão de potabilidade, envolve altos investimentos, sendo tecnicamente inviável, assim prejudicando o abastecimento público e privado. A qualidade da água subterrânea está sob potencial ameaça de contaminação, especialmente em áreas agrícolas com aplicações intensivas de fertilizantes e pesticidas, assim como os aterros podem contribuir para a entrada permanente de contaminantes (BUVANESHWARI et al., 2017).

Conforme analisado o nitrato apresentou índices acima de 5,0 sendo assim foi realizada a análise de variação temporal da concentração de nitrato nas amostras dos poços e aplicação da análise da tendência para os próximos 10 anos.

No estudo de DRAKE & BAUDER (2005), analisaram dados de 1971 a 2003, observaram em Helena, no Estado de Montana (EUA), o aumento nas concentrações do nitrato em áreas com rápido crescimento populacional e concluíram que esse fato estaria associado à alta densidade de fossas e à má construção dos sistemas sépticos.

Os poços foram analisados separadamente, os que estão localizados no meio urbano e os que estão no meio rural para diferenciar as fontes de contaminantes. Foram coletados dados de análises semestrais realizadas pela Companhia de Saneamento que englobaram os anos entre 2007(1º semestre) e 2017 (1º semestre), perfazendo vinte e um semestres. As concentrações de nitrato obtidas, foram calculadas as médias de cada semestre e inseridas na figura 1.

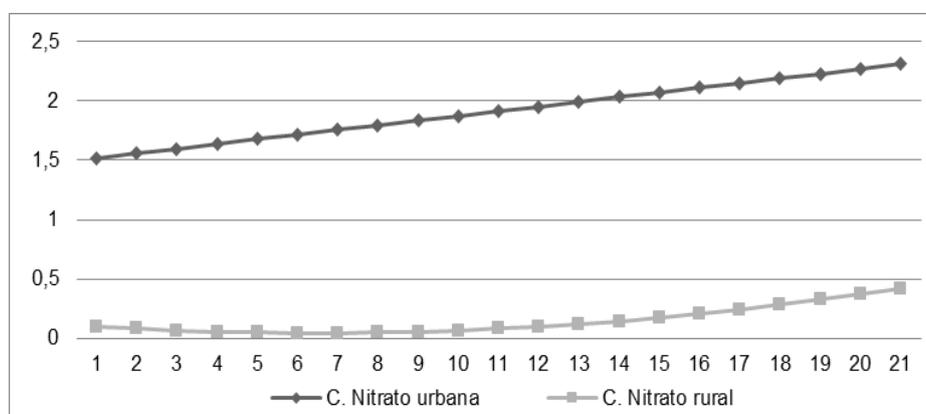


Figura 1 – Concentração de nitrato

Conforme analisado na figura 1 observa-se aumento da concentração média do nitrato na área urbana, bem como na área rural, onde observa-se o aumento na concentração a partir do 10º semestre, ou seja, de 2012 as concentrações estão aumentando nos poços situados em áreas rurais. Para verificar a tendência para os próximos dez anos, se esta situação permanecer e nada for feito, aplicando-se para as áreas urbanas, ajustado pelos últimos 10 anos a tendência linear (1): Concentração Nitrato =  $1,47982 + 0,0395357t$ , onde “t” representa períodos de seis meses (semestre). Este modelo pode prever os valores futuros de concentração de nitrato nas áreas urbanas, caso a situação atual permaneça. Os dados abrangem 20 semestres, com modelo de tendência linear, conforme figura 2.

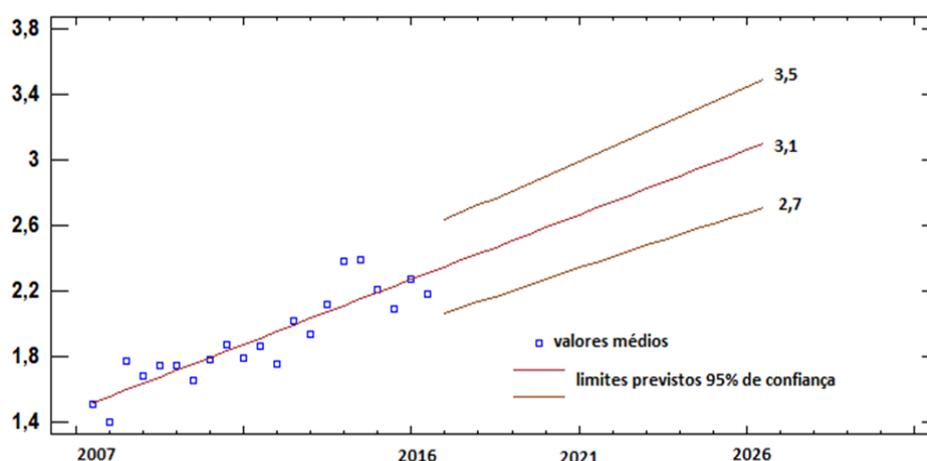


Figura 2 – Tendência urbana

O modelo linear para as áreas urbanas mostra claramente a degradação desses poços, conforme avaliado existe a tendência positiva para aumento da concentração de nitrato para os próximos 10 anos, nas áreas urbanas onde a média tende a 3,1 mg/L, podendo chegar a 3,5 mg/L. Como se trata da concentração média pode-se deduzir que parte dos poços, estarão próximo do limite de alerta.

Para os valores de concentração de nitrato para áreas rurais, o modelo selecionado foi tendência quadrática (2): Concentração de Nitrato =  $0,121439 + -00233128t + -0017895t^2$ , onde “t” também representa períodos de seis meses (semestre). A melhor previsão de dados futuros nesse caso é dada pela regressão quadrática ajustada a todos os dados anteriores e para os próximos 10 anos, conforme figura 3.

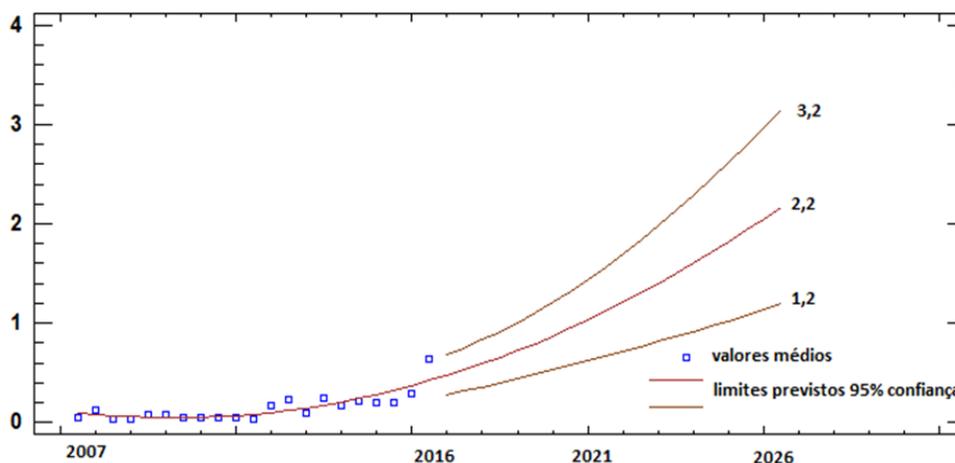


Figura 3 – Tendência rural

Os resultados de nitrato foram analisados e conforme observado ocorre o aumento em praticamente em todos os poços, alguns as concentrações são baixas, outros as concentrações estão próximas ao limite de alerta que é 5mg/L. A Portaria 2914/11 estabelece limite para nitrato de 10mg/L ( $\text{NO}_3^-$ -N), portanto, se a situação permanecer e medidas não são tomadas, alguns desses poços podem a curto prazo estarem comprometidos quanto à concentração de nitrato fora do padrão estabelecido pela Portaria.

Em se tratando de recursos hídricos, o período futuro de 10 anos pode ser considerado curto, cabendo aos gestores identificar as áreas de risco como as áreas de recargas e promover a preservação dessas áreas para evitar o comprometimento da qualidade e prejuízos futuros, devido à contaminação ou necessitar de altos investimentos para tornar essas águas potáveis.

## 5. Conclusão

Com base nos dados expostos e discutidos, conclui-se que os poços da região analisada, no geral, possuem boa qualidade de água, mas com pontos de alerta que devem ser tomadas medidas de proteção, ações de manejo para a recuperação da qualidade dessas águas. A presença significativa de valores de nitrato em alguns poços, demonstram degradação da qualidade da água, principalmente associada ao lançamento de esgotos domésticos devido aos resultados dos poços localizados nas áreas urbanas.

O modelo selecionado para concentração das áreas urbanas foi tendência linear e nas áreas rurais tendência quadrática, onde verificou-se uma tendência positiva de aumento nos níveis de nitrato nas duas áreas analisadas com tendência de maior aumento para as áreas rurais. As informações sobre as tendências temporais de concentração e a extensão da contaminação das águas subterrâneas, sem dúvida, são importantes para a gestão sustentável a longo prazo do sistema de águas subterrâneas.

Os poços situados meio urbano, estão recebendo cargas significativas de poluentes mesmo a profundidades consideradas como é o caso do poço 04 com profundidade de 350 metros, apresentando a maior concentração de nitrato entre os poços analisados e resultado positivo para coliformes totais. O poço 10 com profundidade de 280 m apresenta valores acima de 3,2 para nitrato e presença de coliformes totais.

Avaliação da qualidade para identificar as zonas de risco são importantes para gerar informações úteis para elaborar estratégias visando a proteção das águas subterrâneas da

contaminação. Delineando as áreas com maior degradação ajudam os gestores de recursos hídricos a desenvolver estratégias para proteção.

Informações adicionais são de suma importância, para a compreensão e o manejo sustentável dos recursos, requerendo diferentes perspectivas, incluindo dados disponíveis, as consequências econômicas e aplicabilidade da abordagem de gestão. A variabilidade e a identificação das fontes do nitrato são ações importantes para melhoria das práticas de gestão associadas à manutenção da qualidade da água subterrânea.

## Referências

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA)** Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Brasília, 2005 - Disponível em: < [http://www.ana.gov.br/sprtew/recursos\\_hidricos.asp](http://www.ana.gov.br/sprtew/recursos_hidricos.asp) > Acesso em: Julho 2018.

**ALVARADO, A. et al.** Multi-criteria decision analysis and GIS approach for prioritization of drinking water utilities protection based on their vulnerability to contamination. *Water resources management*, v. 30, n. 4, p. 1549-1566, 2016.

**A ONU e a água** - Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/agua> - Acesso em: 19 Abr. 2017.

**APHA, A. W. W. A. WEF. (2012).** Standard methods for the examination of water and wastewater, v. 22, 2012.

**ARAUZO, Mercedes; MARTÍNEZ-BASTIDA, Juan José.** Environmental factors affect diffuse nitrate pollution in the major aquifers of central Spain: groundwater vulnerability vs. groundwater pollution. *Environmental Earth Sciences*, v. 73, n. 12, p. 8271-8286, 2015.

**BRASIL.** Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Poder Executivo, Brasília, 14 de dezembro de 2011.

**BUVANESHWARI, Sriramulu et al.** Groundwater resource vulnerability and spatial variability of nitrate contamination: Insights from high density tubewell monitoring in a hard rock aquifer. *Science of the Total Environment*, v. 579, p. 838-847, 2017.

**COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ (SANEPAR)** – Relatório de qualidade da água – USAV-Curitiba PR.

**DO EGITO, Tuane Batista; FONTANA, Marcelle Elisa; MORAIS, Danielle Costa.** Seleção de alternativas de conservação de água no meio urbano utilizando abordagem multicritério. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, v. 19, n. 3, p. 209-221, 2015.

**DRAKE, Vivian M.; BAUDER, James W.** Ground water nitrate-nitrogen trends in relation to urban development, Helena, Montana, 1971–2003. *Groundwater Monitoring & Remediation*, v. 25, n. 2, p. 118-130, 2005.

**FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D. D'ELIAM.; PARIS, M.** Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Banco Internacional de Reconstrução e Desenvolvimento/Banco Mundial, 2006.

**HIRATA, Ricardo; FERNANDES, Amélia João; BERTOLO, Reginaldo.** As águas subterrâneas: longe dos olhos, longe do coração e das ações para sua proteção. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 29, n. 6, p. III-V, 2016.

**LAPWORTH, D. J. et al.** Urban groundwater quality in sub-Saharan Africa: current status and implications for water security and public health. *Hydrogeology Journal*, p. 1-24, 2017.

**LI, XiaoZhao et al.** Multiple resources and their sustainable development in Urban Underground Space. *Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 55, p. 59-66, 2016.

**MOCELLIN, Roderlei Cleber; FERREIRA, Francisco José Fonseca.** Conectividade e compartimentação dos sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani no sudoeste do estado do Paraná, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 3, p. 567-579, 2009.

**PIZZOL, Lisa et al.** Risk-based prioritization methodology for the classification of groundwater pollution sources. *Science of the Total Environment*, v. 506, p. 505-517, 2015.



## VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

*Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018*

**VEIGA, Marcelo Motta et al.** Análise da contaminação dos sistemas hídricos por agrotóxicos numa pequena comunidade rural do Sudeste do Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 22, p. 2391-2399, 2006.

**ZEIDAN, Bakenaz A.** Groundwater Degradation and Remediation in the Nile Delta Aquifer. 2017.