

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

O NITRATO NA REDE DE MONITORAMENTO DE AQUÍFEROS NO ESTADO
DE SÃO PAULO

Fabio Luiz Lineu Pileggi

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Hirata

Co-Orientador: Dr. Bruno Pirilo Conicelli

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016/14)

SÃO PAULO

2016

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

O NITRATO NA REDE DE MONITORAMENTO DE AQUÍFEROS NO ESTADO
DE SÃO PAULO

Fabio Luiz Lineu Pileggi



Orientador: Prof. Dr. Ricardo Hirata

Co-Orientador: Dr. Bruno Pirilo Conicelli

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2016/14)

IGc-Instituto de Geociências



O nitrato na rede de monitoramento de aquíferos no
estado de São Paulo.

M27132

SÃO PAULO

2016

P637
FLL.m

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

O NITRATO NA REDE DE MONITORAMENTO DE AQUIFEROS NO ESTADO
DE SÃO PAULO



From the last page

Chairman Prof. Dr. Ricardo Lima
Co-Chairman Dr. Bruno Feres Costa

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FOMATUKA
(T-2014-0)

SÃO PAULO
2014

AGRADECIMENTOS

Agradeço todas às pessoas que colaboraram e ajudaram este trabalho a ser realizado, especialmente ao Prof. Dr. Ricardo Hirata pela oportunidade em realizar o trabalho de formatura sob sua orientação, além de todas as conversas, ensinamentos, cooperação e atenção, conjuntamente o Dr. Bruno Pirilo Conicelli, co-orientador deste projeto, por todas as opiniões, ajuda nas interpretações, conhecimentos transmitidos, experiências e trabalho de escritório. À toda equipe do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (CEPAS-USP) pelas reuniões e cafés nas horas mais precisas.

Minha gratidão também à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), principalmente à Rosângela Pacini Modesto, que possibilitou a realização da monografia através de todo material disponibilizado e sugestões de melhoria.

Quero agradecer à Hidrovias do Brasil, através dos meus chefes Leonardo Veras e Walter Aquino pela paciência e oportunidade em estagiar. Agradeço também ao Fernando Lavignatti, Sérgio Gonçalves e Luiz Giudice por toda ajuda.

Um abraço a todos os irmãos da GEO, obrigado pelos BIFEs, campos, festas, cervejadas, resenhas no CEPEGE, viagens e churrascos. Agradeço aos times de futsal e futcampo por todas as peladas, com destaque para os Amigos de Ronaldo FC.

Agradeço à minha família por todo apoio incondicional em decidir cursar geologia e dedicação em sempre me proporcionar o melhor. Sempre tive sorte de poder contar com a ajuda e sabedoria de vocês.

Por fim, um beijo para à Stefani. A cada dia que passa, me apaixono mais por você Pequena, obrigado por estar presente na minha vida e trazer consigo essa felicidade para dentro do meu mundo. Eu te amo.

RESUMO

O aumento nas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas paulistas é observado desde a instalação de sua rede de monitoramento, operada pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). O nitrato, além de ser um contaminante bastante insidioso em aquíferos, é também um bom indicador de influência antrópica nas águas subterrâneas, devido a sua grande mobilidade e persistência. Assim, o objetivo principal do trabalho era estabelecer se o padrão de ocupação urbana pode provocar a contaminação do aquífero em zonas de captura (ZOC), analisando a mudança na densidade populacional através dos anos, presença de rede de esgoto e características construtivas do poço. Para isso, utilizaram-se dados físico-químicos da rede de monitoramento da CETESB, identificando dez poços, em municípios diferentes, cujas variações nas concentrações de nitrato eram mais significativas.

Os poços selecionados tiveram suas zonas de captura calculadas através do método do raio fixo calculado (RFC), considerando um tempo de trânsito de 50 anos, visto que uma análise foto-aérea comparativa foi realizada com fotografias de 1962 e imagens satelitais de 2016. Tais procedimentos contribuíram para concluir que áreas urbanas densamente ocupadas, inseridas nas ZOC dos poços, incrementam as concentrações de nitrato nos respectivos aquíferos. Além disso, determinou-se outros fatores que influenciam diretamente as concentrações de nitrato nas águas subterrâneas paulistas, como: saneamento básico, rede coletora de esgoto, e uso e ocupação do solo ao longo dos anos.

ABSTRACT

The increase in nitrate concentrations on São Paulo State's groundwater has been observed since the setup of a monitoring network operated by CETESB (Environmental Company of São Paulo State). Nitrate is an insidious contaminant in aquifers and a good indicator of anthropogenic influence on groundwater due to its great mobility and persistence. Thus, the main objective of the study was to establish whether the pattern of urban settlement may cause contamination of the aquifer on capture zones (ZOC), assessing the modifications in population density over the years, presence of sewage network and construction features of the well.

In order to attain the proposal, physical-chemical data of CETESB's monitoring network were used, identifying ten wells in different counties, where variations in nitrate concentrations were more significant. The selected wells had their capture zones

calculated using the calculated fixed radius method (RFC), considering a transit time of 50 years, since comparative photo-shoots analysis was performed with aerial photographs of 1962 and 2016 satellite images. Such procedures contributed to conclude that densely populated urban areas, located within the ZOC of the chosen wells, increase nitrate concentrations on its respective aquifers. Furthermore, it has been determined other factors that directly influence the nitrate concentrations in groundwater of Sao Paulo, such as: sanitation, sewage disposal system and terrain use and occupation throughout the years.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	2
3.1. Ciclo do nitrogênio nas águas subterrâneas	2
3.2. Monitoramento de águas subterrâneas	4
3.2.1. Contaminação de nitrato nos aquíferos paulistas	5
3.2.2. Programa de monitoramento da CETESB	7
3.3. Zonas de captura (ZOC).....	10
3.4. Uso e ocupação do solo nas cidades escolhidas.....	11
4. MATERIAIS E MÉTODOS	13
4.1. Dados físico-químicos da rede de monitoramento.....	13
4.2. Identificação dos poços	14
4.3. Traçado das zonas de captura nos poços (ZOC)	16
4.3.1. Raio fixo calculado	16
4.3.2. Definição dos parâmetros para zona de captura.....	16
4.4. Análise foto-aérea e imagens.....	17
5. RESULTADOS OBTIDOS.....	18
5.1. Dados físico-químicos da rede de monitoramento.....	18
5.1.1. Tendências das concentrações de nitrato.....	18
5.1.2. Correlações entre os parâmetros.....	21
5.2. Zonas de captura (ZOC).....	24
5.3. Análise foto-aérea e imagens.....	24
5.3.1. Urbanização	26
6. DISCUSSÃO	29
7. CONCLUSÃO	31
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

ANEXOS

ANEXO I. Parâmetros químicos, físicos e biológicos.....	36
ANEXO II. Curvas de tendências dos poços.....	39
ANEXO III. Dados gerais e hidrogeológicos dos poços nas zonas de captura.....	45
ANEXO IV. Fotografias aéreas de 1962.....	47
ANEXO V. Imagens de satélite 2016.....	53

1. INTRODUÇÃO

Devido à crescente demanda por água em um cenário de mudanças climáticas, os aquíferos vêm se tornando uma solução estratégica, já que vários fatores contribuem para sua exploração, dentre eles: seu imenso armazenamento, o que possibilita o aquífero fornecer água mesmo em grandes períodos de estiagem, além do seu baixo custo de captação e melhor qualidade natural, quando comparado às águas superficiais, entre outras (Hirata & Conicelli, 2012).

Ao longo das últimas décadas, cidades brasileiras têm se deparado com problemas relacionados ao aumento drástico na concentração de poluentes em aquíferos, dentre eles, o nitrato. Este poluente é resultado de atividades agrícolas e da falta do esgotamento sanitários, sendo o contaminante com maior frequência de observação em aquíferos no mundo (Foster & Hirata, 1988; Reynolds-Vargas *et al.*, 2006).

A despeito dos inúmeros casos de nitrato descritos no Estado de São Paulo, como em Marília (Varnier *et al.*, 2010), São José do Rio Preto (Barcha, 1980) e Bauru (Hirata, 2000; Giafferis & Oliveira, 2006), vê-se que ele ainda é subestimado pelo poder público e até mesmo pela população (Varnier *et al.*, 2010).

Fatores favoráveis ao combate da presença do nitrato em aquíferos são observados no estado paulista, como por exemplo, a presença de rede de esgoto, que atende a 87,4% de sua população, aquíferos de média vulnerabilidade à poluição antrópica (Hirata, 2000). Porém, de acordo com dados da rede de monitoramento da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), estes não têm sido suficientes para prevenir o avanço do problema.

Desta maneira, o nitrato é um poluente com potencialidade para causar sérios danos à sociedade, tendo em vista que todas as cidades paulistas (ou uma grande parcela) já possuíram ou possuem algum tipo de contaminação por nitrato (Hirata, 2013). A preservação de aquíferos é essencial para o sistema de abastecimento, uma vez que, de acordo com dados da CETESB (2013), 80% das cidades têm o fornecimento público total ou parcial feito por águas subterrâneas.

Importante ressaltar que esse trabalho é pioneiro com o foco em entender o que provoca o aumento de nitrato na rede de monitoramento paulista. Este incremento é uma função da mudança do uso e ocupação do solo na zona de captura que contribui diretamente para o fornecimento de água no poço.

2. OBJETIVOS

A hipótese de trabalho é que a presença do nitrato em águas dos poços de monitoramento é função de mudanças no uso e ocupação do terreno na zona de captação. Assim, o objetivo principal do trabalho é quantificar essa relação e entender como a ocupação do terreno causa o aumento da concentração de nitrato nos poços, analisando a mudança na densidade populacional, presença de rede de esgoto e características construtivas do poço.

Objetivos específicos:

- Avaliar e tratar estatisticamente os dados da rede de monitoramento da CETESB, tentando estabelecer até que ponto há controle sazonal na variação observada da concentração de nitrato nos poços de monitoramento.
- Avaliar as mudanças de uso e ocupação do terreno (densidade e idade da urbanização, presença da rede coletora de esgoto) em áreas de contribuição (ZOC) dos poços de monitoramento, através de fotografias aéreas e imagens de sensores remotos ao longo do tempo.

3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Para a confecção deste trabalho foram usadas teses, livros, artigos e relatórios científicos que tangem o escopo proposto. Através das leituras, foi possível ter melhor compreensão sobre: i) o ciclo do nitrogênio nas águas subterrâneas; ii) os métodos de monitoramento de águas subterrâneas; iii) contaminação de nitrato nos aquíferos paulistas; iv) o programa de monitoramento da CETESB; v) a aplicação e traçado da ZOC nos poços de produção de água; e vi) o uso e ocupação do solo nas cidades escolhidas.

3.1. Ciclo do nitrogênio nas águas subterrâneas

A série de nitrogênio (amônia, amônio, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato, nitrogênio nitrito, nitrogênio orgânico e nitrogênio gasoso) tem suas transformações e conceitos resumidos conforme na Figura 1, que exemplifica as interações entre solo e água subterrânea via fonte agrícola, podendo ser aplicado em fonte urbana.

Primeiramente, o nitrogênio penetra no solo na forma de vários compostos, como por exemplo, o amônio (NH_4^+), onde muitos sedimentos e solos apresentam cargas negativas, possibilitando a troca catiônica e fazendo com que o mesmo possa ser geoquimicamente remobilizado, via absorção, para os sedimentos do aquífero.

Lee *et al.* (2006) explica que, caso isto não ocorra, o amônio pode ser oxidado para nitrito (NO_2^-), representando a primeira etapa (de duas) do processo de nitrificação, que é controlado por bactéria autotrófica oxidante de amônia (o gênero mais comum é *Nitrosomonas*). Na segunda etapa, a bactéria autotrófica oxidante de nitrito oxida o nitrito, transformando o em nitrato (NO_3^-).

Ressalta-se que a eficácia das bactérias na conversão de amônia para nitrito é elevada, porém este último é muito instável, favorecendo sua oxidação ou redução. Logo, o nitrato é a forma estável final do nitrogênio no processo de nitrificação, sendo que este é altamente solúvel na água e não é absorvido de maneira significativa por solos argilosos devido ao fato de ser um ânion (Lee *et al.*, 2006).

Segundo Harter *et al.* (2012), ao atingir o nível freático, o nitrato pode ser reduzido para nitrogênio, na forma de gás, via processo de desnitrificação. Vale ressaltar que o processo de desnitrificação só ocorre quando há baixa presença de oxigênio e fonte doadora de elétron (carbono, ferro, enxofre, etc.). Logo, é assimilado pelo lençol freático na maioria dos casos, uma vez que o nível freático é geralmente oxidante. Quando o gás nitrogênio tenha atingido sua saturação na água subterrânea, este tende a migrar para fora da zona saturada.

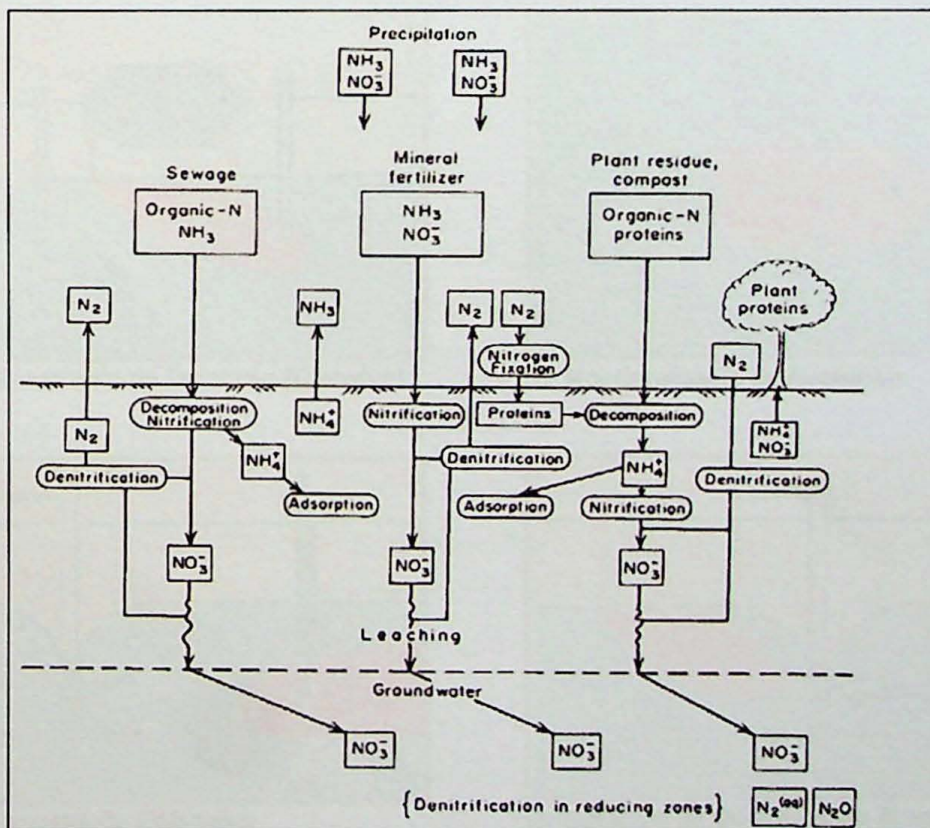


Figura 1: Modelo conceitual para o ciclo do nitrogênio no solo e água subterrânea, considerando múltiplas fontes (Freeze & Cherry, 1979).

3.2. Monitoramento de águas subterrâneas

Para o controle da qualidade da água em aquíferos são usados poços de monitoramento que tem como objetivo garantir a qualidade das águas subterrâneas. Segundo Foster & Gomes (1989), para o desenvolvimento de um programa de monitoramento de águas subterrâneas é importante a definição dos objetivos. Estes objetivos são descritos (Figura 2) a seguir:

- Monitoramento de detecção ofensiva ao redor da suposta contaminação a fim de delimitar sua ocorrência e magnitude;
- Monitoramento de detecção defensiva em torno das fontes importantes de águas subterrâneas para proporcionar um aviso oportuno da possível chegada de uma frente ou pulso de água subterrânea contaminada;
- O monitoramento de avaliação, cujo objetivo é determinar o grau de extensão e migração de uma pluma de contaminação de água subterrânea;
- Vigilância de qualidade do abastecimento de água potável para confirmar sua adequação a um propósito determinado ou a fim de definir os processos de tratamento necessário antes de seu uso.

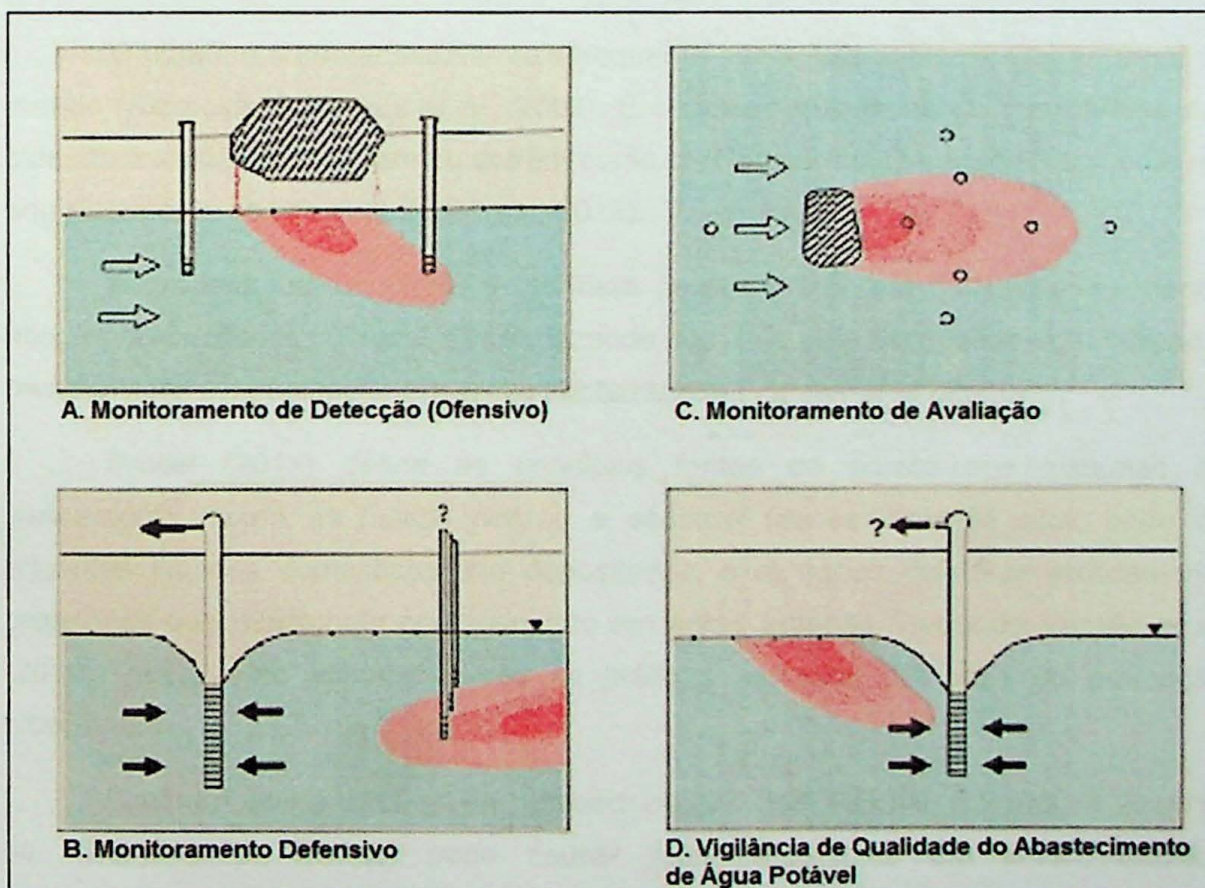


Figura 2: Resumo esquemático dos objetivos do monitoramento da qualidade de águas subterrâneas. i) A: monitoramento de detecção (ofensivo); ii) B: Monitoramento defensivo; iii) Monitoramento de avaliação; iv) D: Vigilância de qualidade do abastecimento de água potável. Adaptado de Foster & Gomes, 1989.

A caracterização e determinação dos fatores que influenciam o monitoramento da qualidade devem ser descritos visando obter informações representativas da condição das águas subterrâneas (Washington State Department of Health, 2010). Há impactos de diferentes intensidades que devem ser considerados desde a construção e instalação dos poços até a compilação dos resultados das análises.

Portanto, a escolha do método que será usado para prevenção e identificação da contaminação é vital para combater o problema e/ou preveni-lo. Foster & Hirata (1988) definem dois guias para avaliação do nível de risco de contaminação em aquíferos, tendo como variáveis: situação na qual o aquífero se encontra; componentes chaves, como necessidade de amostragem, análises, disponibilidade de dados, programa de perfuração etc.; e escala de trabalho. A avaliação do risco de contaminação de águas subterrâneas corresponde à etapa inicial do programa de monitoramento, cujo trabalho é desenvolvido com informações disponíveis e ausência de trabalho de campo, diminuindo o custo do projeto e indicando diretrizes e ações que devem ser realizadas para prevenir o aquífero de ser contaminado por algum poluente (Foster & Hirata, 1988).

3.2.1. Contaminação de nitrato nos aquíferos paulistas

O nitrato é o contaminante mais frequente nas águas subterrâneas ao redor do mundo (Reynolds & Vargas *et al.*, 2006). É estimado que todas ou boa parcela das cidades paulistas já sofreram ou sofrem como problemas relacionados ao poluente em seu sistema de abastecimento (Hirata, 2013).

A propagação do nitrato é facilitada devido a sua alta mobilidade, podendo atingir áreas extensas (Procel, 2011), fazendo com que este seja usado com indicador mundial para contaminação em áreas subterrâneas (Varnier *et al.*, 2010).

Procel (2011) define as principais fontes de nitrato nos sistemas de saneamento, como as fossas negras e sépticas (saneamento *in situ*), onde os efluentes líquidos domésticos são depositados, e as redes coletoras erradamente projetadas que ocasionam contaminação em áreas urbanas. Segundo Varnier *et al.* (2010), outra fonte importante são as práticas agrícolas adotadas de adubação nitrogenada.

O nitrato acima do nível de potabilidade (10 mg/L NO₃-N, Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde) pode causar metahemoglobina em recém-nascidos ("síndrome do bebê azul") e câncer de estômago em adultos, sendo que nas mulheres aumenta a suscetibilidade para o desenvolvimento de câncer de mama. O valor

apresentado é considerado o Valor de Intervenção proposto pela CETESB (Varnier *et al.*, 2010).

É importante ressaltar que o poluente em questão é subestimado pelas autoridades responsáveis pelo seu controle e avaliação, até mesmo pela população (Varnier *et al.*, 2010). Os padrões encontrados permitem o uso da água subterrânea para abastecimento, porém é necessária uma ação integrada entre gestores públicos e sociedade para combatê-lo (Iritani & Ezaki, 2012).

Durante os últimos vinte anos, o nitrato apresenta tendência no aumento de sua concentração em aquíferos paulistas. Relatórios recentes da CETESB atestam que a maior preocupação está voltada para o Aquífero Bauru que mostra as maiores concentrações no Estado de São Paulo (Figura 4), outros aquíferos demonstram o mesmo contratempo, como Serra Geral e Pré-Cambriano.

Pode-se destacar trabalhos que relacionam padrões de ocupação urbana e concentrações de nitrato em águas subterrâneas através de diferentes métodos, como Cagnon (2004), Drake & Bauder (2005), Reynolds-Vargas *et al.* (2006) e Xu *et al.* (2007). Além destes, destaca-se o trabalho de Procel (2011) na cidade de Presidente Prudente, que mostrou as relações entre variáveis de densidade de ocupação, localização e profundidade dos poços expansão da malha urbana e em relação à concentração de nitrato (Figura 3). Os estudos corroboram que o nitrato tem concentrações mais elevadas em locais cuja rede coletora de esgoto é limitada e ocorre saneamento *in situ*, porém há necessidade de uma gama maior de estudos para o entendimento completo e mais detalhado desta relação entre nitrato e urbanização.

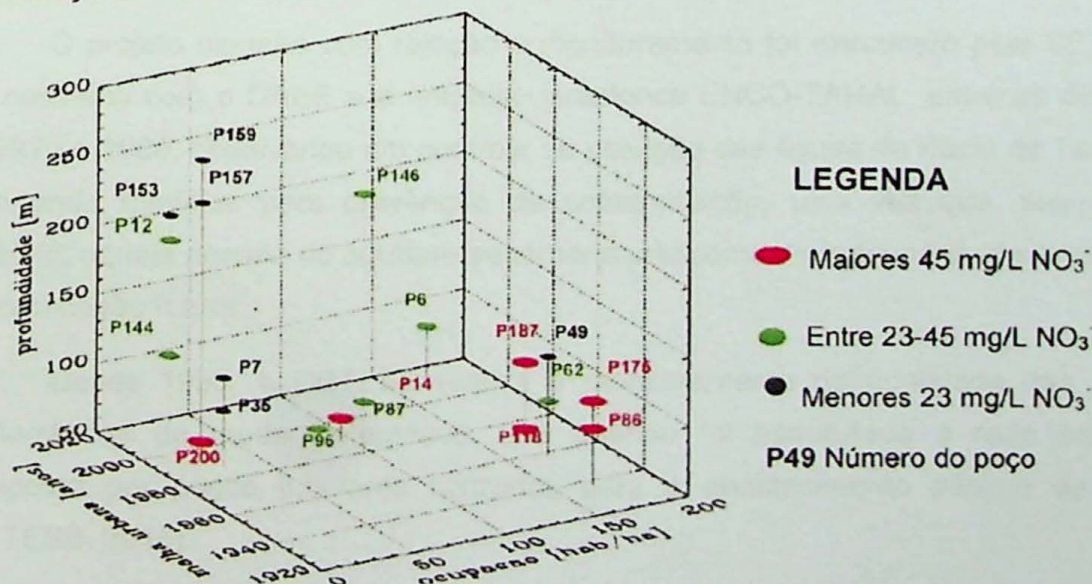


Figura 3: Concentrações de nitrato em função da densidade de ocupação, expansão da malha urbana, localização e profundidade dos poços (Procel, 2011).

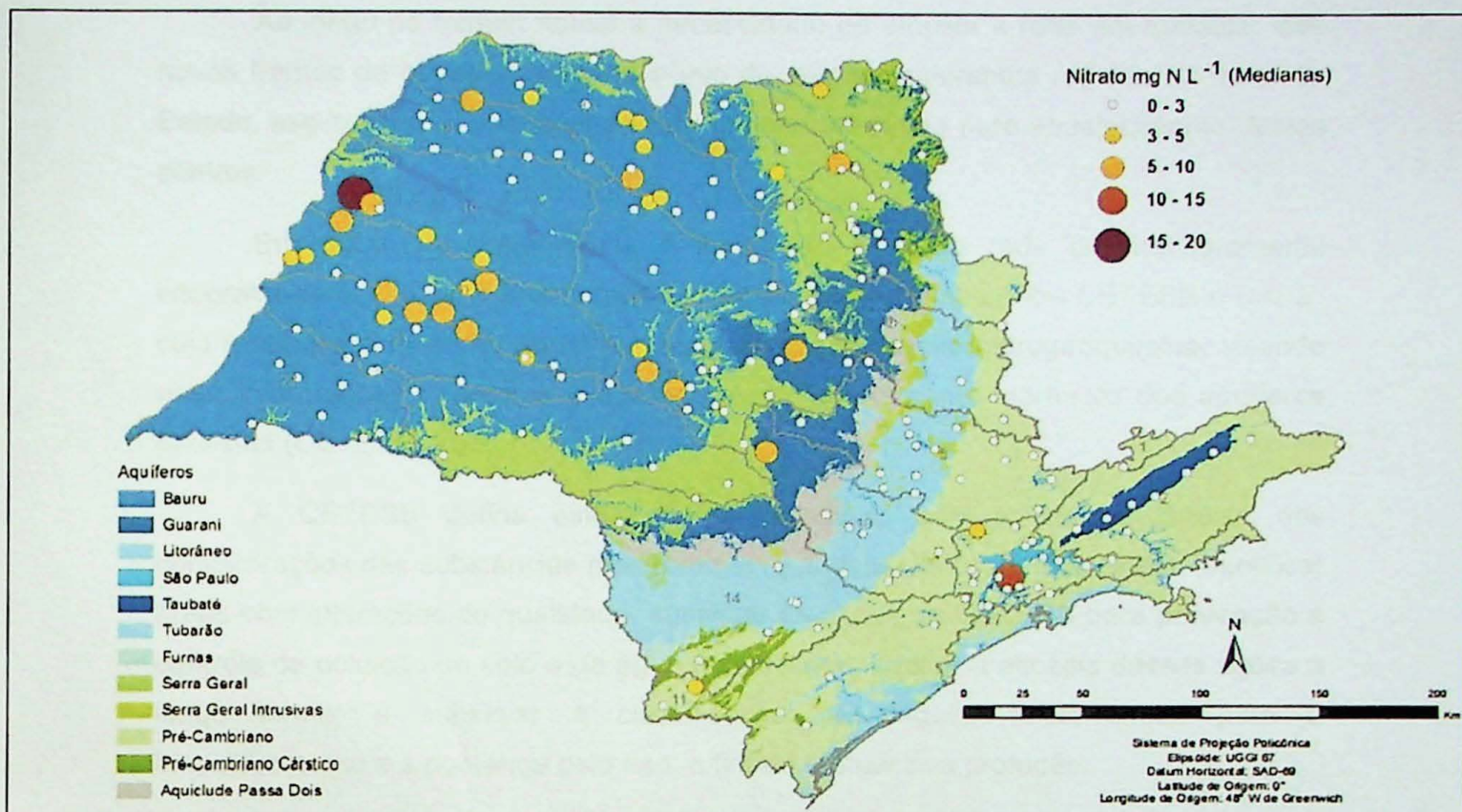


Figura 4: Pontos da rede de monitoramento da CETESB identificados com concentrações significativas de nitrato. Fonte: CETESB, 2013.

3.2.2. Programa de monitoramento da CETESB

Desde 1977, cabe à CETESB monitorar e fiscalizar a qualidade dos aquíferos no Estado de São Paulo via Decreto Estadual nº 8468/76 e a Lei Estadual 6.134/88. A rede de monitoramento foi implantada somente em 1990, até então os relatórios e estudos ambientais eram embasados nos cadastros junto à CETESB e ao DAEE.

O projeto pioneiro com relação a monitoramento foi executado pela CETESB, em convênio com o DAEE e a empresa israelense ENCO-TAHAL, entre as décadas de 1970 e 1980, objetivando um controle de poluição das águas da Bacia de Taubaté, reportando medidas para prevenção de contaminação, uma vez que, segundo o relatório, aquela parcela do aquífero se tornaria praticamente irrecuperável em caso de contaminação futura.

Desde 1990, a CETESB realiza o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas de modo sistemático, ano quando foi estruturada a rede estadual composta por poços tubulares utilizados para o abastecimento público de água (CETESB, 2016).

Ao longo do tempo, houve a necessidade de ampliar a rede em questão, vide novas frentes de ocupação urbana e uso do solo em diferentes regiões ao redor do Estado, assim como o uso extensivo da fonte subterrânea para abastecimento destes centros.

Em 2009, foi determinada a instalação de uma rede de monitoramento integrada de qualidade e quantidade das águas subterrâneas entre CETESB e DAEE, cuja meta era a medição do nível d'água e caracterização hidrogeoquímica, visando obter informações referentes à qualidade e comportamento hidráulico dos aquíferos paulistas (CETESB, 2013).

A CETESB define ainda outros objetivos: analisar as tendências das concentrações das substâncias monitoradas (químicas, físicas e biológicas); identificar áreas com alterações de qualidade; subsidiar as ações da CETESB para prevenção e controle da poluição do solo e da água subterrânea; avaliar a eficácia dessas ações a longo termo; e subsidiar a classificação das águas subterrâneas para o enquadramento e a cobrança pelo uso, a fim de efetuar sua proteção.

Segundo dados da CETESB (2016), a Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas apresenta 282 pontos de monitoramento (Figura 5), abrangendo os aquíferos e sistemas de aquíferos Guarani, Bauru, Serra Geral, São Paulo, Taubaté, Tubarão e Pré-Cambriano. Sua distribuição atual é função da utilização dos aquíferos para abastecimento público e sua vulnerabilidade à contaminação.

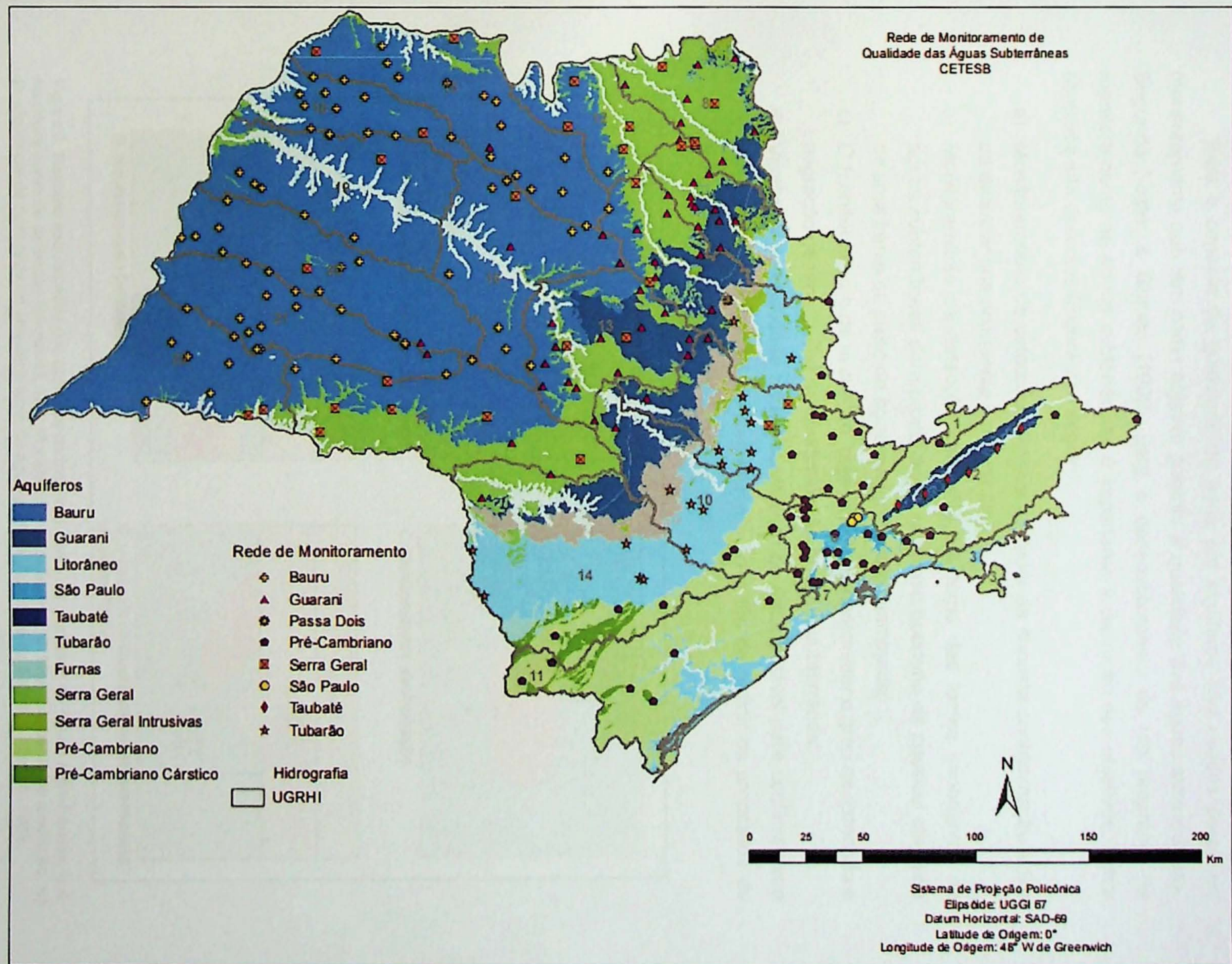


Figura 5: Rede de Monitoramento de Qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Fonte: CETESB, 2016.

3.2. Monitoramento de águas subterrâneas

Para o controle da qualidade da água em aquíferos são usados poços de monitoramento que tem como objetivo garantir a qualidade das águas subterrâneas. Segundo Foster & Gomes (1989), para o desenvolvimento de um programa de monitoramento de águas subterrâneas é importante a definição dos objetivos. Estes objetivos são descritos (Figura 2) a seguir:

- Monitoramento de detecção ofensiva ao redor da suposta contaminação a fim de delimitar sua ocorrência e magnitude;
- Monitoramento de detecção defensiva em torno das fontes importantes de águas subterrâneas para proporcionar um aviso oportuno da possível chegada de uma frente ou pulso de água subterrânea contaminada;
- O monitoramento de avaliação, cujo objetivo é determinar o grau de extensão e migração de uma pluma de contaminação de água subterrânea;
- Vigilância de qualidade do abastecimento de água potável para confirmar sua adequação a um propósito determinado ou a fim de definir os processos de tratamento necessário antes de seu uso.

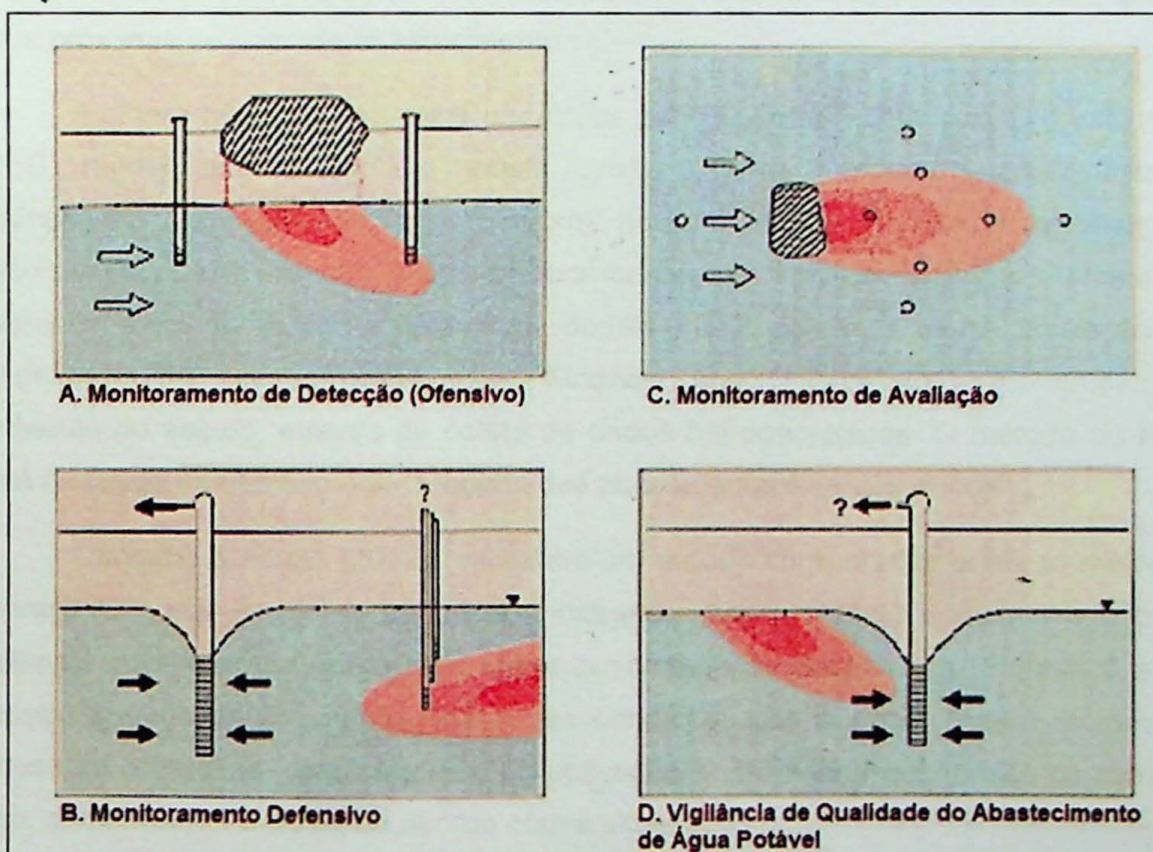


Figura 2: Resumo esquemático dos objetivos do monitoramento da qualidade de águas subterrâneas. i) A: monitoramento de detecção (ofensivo); ii) B: Monitoramento defensivo; iii) Monitoramento de avaliação; iv) D: Vigilância de qualidade do abastecimento de água potável. Adaptado de Foster & Gomes, 1989.

3.3. Zonas de captura (ZOC)

Em 1994, a *United States Environmental Protection Agency* (USEPA), elaborou um manual informando os métodos de delimitação e planejamento para proteção de poços, com alguns estudos de casos a fim de delinear as zonas de captura e avaliar a interação do poço com atividades inseridas nas mesmas.

Carvalho & Hirata (2012) definem que a proteção dos recursos hídricos subterrâneos deve ser embasada no zoneamento do terreno em questão, utilizando duas técnicas distintas: cartografia da vulnerabilidade de aquíferos à contaminação, voltada para a proteção do recurso hídrico subterrâneo, e perímetros de proteção de poços (PPP), direcionados às fontes de captação de águas subterrâneas, produzindo, assim, o controle de ocupação do solo e atividades potencialmente contaminantes ao redor da área de interesse.

As ZOC, portanto, são delimitadas de acordo com a degradação do contaminante com o tempo e também conforme a diluição do contaminante não degradável, levando-se em conta, entre outros fatores, as características do aquífero (Foster *et al.*, 2006). Assim, as restrições ao uso da área seriam mais rígidas quanto mais próximas do poço de abastecimento.

Existem três métodos mais populares para traçar as ZOC: raio fixo calculado (RFC), modelo analítico (MA) e modelo numérico (MN). O modelo analítico utiliza a equação de fluxo uniforme (mais comum), proporcionando um rápido resultado de definição da ZOC de um poço de bombeamento em condições de superfície potenciométrica inclinada, enquanto o modelo numérico consiste na aplicação de modelagem 3-D via softwares, como Modflow, que possibilitam a reprodução do ambiente de estudo, através da coleta de dados hidrogeológicos. O método do RFC será discutido no capítulo 4.3. "Traçado das zonas de captura dos poços".

Carvalho & Hirata (2012) realizaram um estudo comparativo entre os métodos supracitados nos aquíferos paulistas, mostrando que o modelo numérico é o mais indicado, pois leva em conta uma maior quantidade de parâmetros (Figuras 6 e 7), possibilitando o entendimento efetivo das condições sob o poço. Porém, o mesmo apresenta limitações, como o tempo de aplicação e viabilidade econômica do estudo, logo, cada método é viável de acordo com a situação.

Método	Q (m ³ /dia)	Tempo de operação do poço (dia)	k (m/dia)	b (m)	i	n (%)	n _{ef} (%)	Recarga e evapotranspiração (mm/ano)	Condição de contorno
RFC	X	X				X			
MA	X	X	X	X	X				
MN	X	X	X	X	X	X	X	X	X

k: condutividade hidráulica; b: espessura saturada; i: gradiente hidráulico; n: porosidade total; n_{ef}: porosidade efetiva.

Figura 6: Dados necessários para aplicação dos métodos raio fixo calculado, modelo analítico e modelo numérico. Fonte: Carvalho & Hirata, 2012.

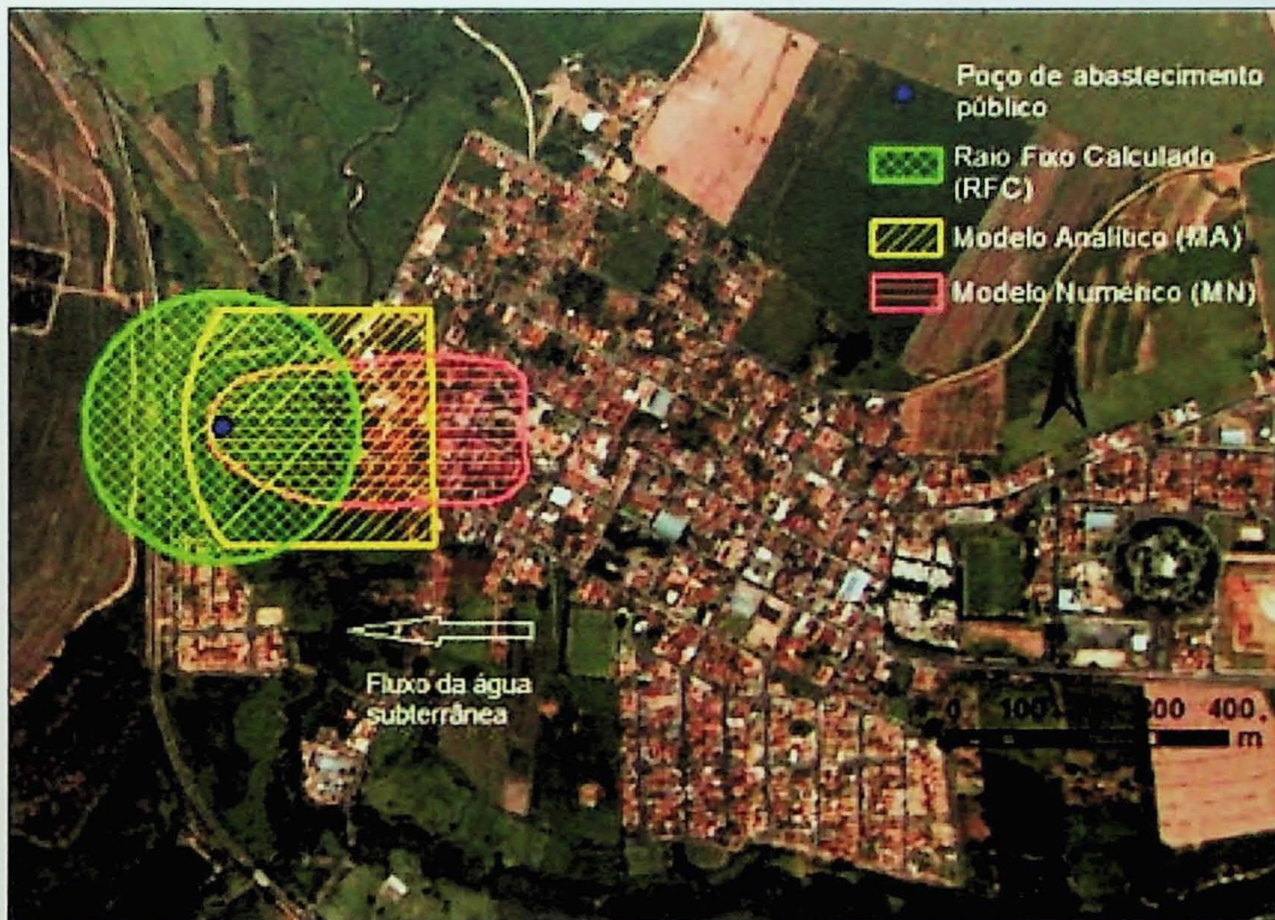


Figura 7: Comparação entre zonas de contribuição delimitadas por diferentes métodos no Sistema Aquífero Guarani para o tempo de trânsito de cinco anos. Fonte: Carvalho & Hirata, 2012.

3.4. Uso e ocupação do solo nas cidades escolhidas

O uso e ocupação do solo afeta diretamente as águas subterrâneas, através de atividades características de cada local, podendo ser distribuídas da seguinte forma: urbana (e.g. vazamentos de esgotos), industrial (e.g. lagoa de efluentes), agricultura (e.g. agrotóxicos) e mineração (e.g. lixiviação de resíduos). A caracterização das potenciais atividades causadoras de poluição na subsuperfície é uma etapa importante entendimento da contaminação em aquíferos, pois permitem uma avaliação mais precisa e facilita a definição de medidas eficazes para controlar os componentes

perigosos da carga contaminante, deste modo, a água subterrânea estará sujeita a um risco menor (Foster & Hirata, 1988).

No Estado de São Paulo é possível que o intenso processo de ocupação urbana seja um condicionante para as altas concentrações de nitrato nas águas subterrâneas, tendo como exemplo a rede de saneamento básico, cuja estrutura não acompanhou o aumento demográfico nas cidades, provocando o lançamento direto de efluentes e resíduos sólidos no solo. Nas últimas décadas, a população do Estado de São Paulo cresceu de maneira notável, passando de 9 milhões de habitantes em 1950 para mais de 40 milhões em 2010, segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O mesmo ocorreu com a taxa de urbanização, que alcança nos dias atuais 93% (Figura 8).

As cidades escolhidas foram: Andradina, Cajobi, Clementina, Flórida Paulista, Inúbia Paulista, Jales, Murutinga do Sul, Nova Independência, Pompéia e São José do Rio Preto, localizadas na porção centro-oeste do Estado de São Paulo. Suas características gerais podem ser observadas na Tabela 1. A escolha das cidades é discutida no capítulo 4.2. "Identificação dos poços".

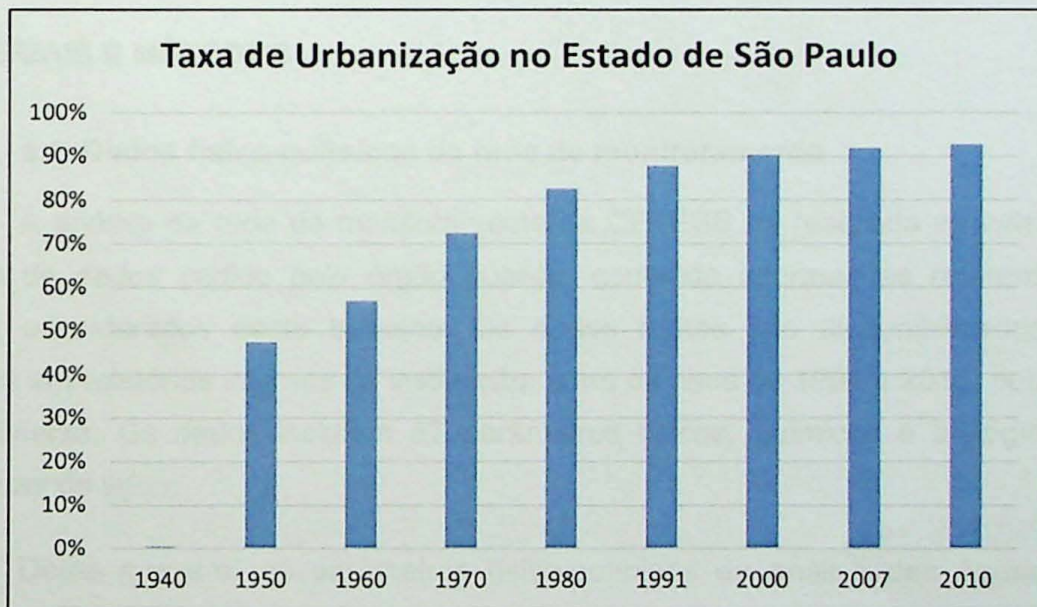


Figura 8: Evolução da taxa de urbanização no Estado de São Paulo (IBGE, 2012).

Tabela 1: Informações gerais das cidades escolhidas referentes a uso e ocupação do solo.

Município	Área da Unidade Territorial (km ²)	População Estimada	Densidade demográfica (hab/km ²)	Uso do Solo	Saneamento Básico (% população atendida)
Andradina	964	57.300	59,43	Residencial e serviços	88,5
Cajobi	177	10393	58,74	Agrícola e residencial	92
Clementina	169	8.124	48,19	Residencial e serviços	99
Flórida Paulista	524	14.143	26,98	Residencial e serviços	97
Inúbia Paulista	87	3.907	44,85	Residencial e serviços	95
Jales	369	49.017	132,99	Residencial e serviços	99
Murutinga do Sul	251	4.434	17,67	Residencial e agrícola	99,5
Nova Independência	265	3.667	13,84	Residencial e agrícola	99
Pompéia	785	21.526	27,43	Residencial e serviços	95
São José do Rio Preto	432	446.649	1034,04	Residencial e serviços	98

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Dados físico-químicos da rede de monitoramento

A análise da rede de monitoramento da CETESB foi realizada através de um banco de dados cedido pelo órgão público, contendo informações referentes aos poços considerados neste trabalho. Os dados brutos são disponibilizados como anexos em relatórios internos da instituição, entre os anos de 1994 e 2016, publicados trienalmente. Os dados incluíam 67 parâmetros físicos, químicos e biológicos das amostras de água.

Desta maneira, os parâmetros físico-químicos de análise das águas foram analisados estatisticamente, não se restringindo ao nitrato. Para esta parte, foi necessário tabular os principais dados químicos e físicos das análises de água, localização do poço, avaliação do perfil construtivo, geologia, etc.

O método usado para tratamento dos dados foi o MS Excel. Assim, pode-se calcular, na forma de planilha e gráficos, a variação da concentração de nitrato nos aquíferos paulistas ao longo do tempo. A frequência da coleta de água subterrânea efetuada pela CETESB varia, em média, duas vezes ao ano, por vezes uma ou três

coletas anuais. Quando o número de coletas realizadas é maior ou igual a dois no ano, usa-se um intervalo de tempo entre 3 e 6 meses para coletar dados em diferentes épocas (inverno e verão, seco ou chuvoso). Ressalta-se que os poços da rede de monitoramento foram instalados em diferentes épocas, gerando escalas temporais distintas entre as datas de coleta, quando comparado um poço instalado na década de 90 e outro nos anos 2000.

Ademais, ferramentas estatísticas auxiliaram na interpretação dos dados tangíveis ao nitrato e seus associados, via diagramas de correlação entre todos os parâmetros selecionados para cada poço. Os diagramas podem ser interpretados pelos valores gerados da análise, ou seja, indicando uma correlação positiva, negativa ou nula, segundo método descrito por Pearson.

4.2. Identificação dos poços

Para identificação dos poços foram utilizados os relatórios prévios da CETESB e foi estabelecido quais poços seriam inicialmente avaliados, uma vez que o trabalho identificou concentrações de nitrato ao longo de décadas. Desta maneira, foi criada uma lista para tabular os poços elegíveis para o projeto.

Através de planilhas, os dados foram selecionados de acordo com poços que apresentam variabilidade maior na concentração do poluente, possibilitando correlacionar dados desde 1992 até o presente.

As características identificadas para designar cada poço foram: município de localização do poço, agência ambiental reguladora, identificação do poço (nome), aquífero pertencente, profundidade, localização em coordenadas UTM, valores para cada parâmetro usado e data de coleta.

Logo, foram selecionados 35 poços para avaliação individual (Tabela 2), via relatórios da CETESB que destacam os principais poços no Estado de São Paulo com altas concentrações de nitrato. Fixou-se um total de 10 poços como factível para a conclusão deste trabalho, dado o tempo de projeto.

Para atingir o número proposto, os poços supracitados foram submetidos à análise temporal da variação da concentração de nitrato nas águas subterrâneas paulistas, cujos dados foram plotados na forma de gráficos. Desta maneira, foi possível identificar comportamentos diferentes entre eles, condicionando uma segregação em três grupos distintos: incremento na concentração, estabilidade na concentração e diminuição da concentração.

A escolha definitiva dos 10 poços teve como base: variações significativas nas concentrações de nitrato, buscando mostrar valores próximos do índice de potabilidade; informações completas referentes às datas de coleta dos poços, visto que possibilita uma compreensão melhor da evolução das medições; e diferentes comportamentos identificados nos gráficos produzidos para cada poço, segundo sua curva de tendência.

Tabela 2: Seleção dos 35 poços cujas concentrações são destaques no relatório da CETESB (2016) e os 10 poços estudados, na cor amarela.

AQUÍFERO	PONTO CETESB	MUNICÍPIO
Bauru	BA0002P	ALFREDO MARCONDES
	BA0006P	ANDRADINA
	BA0010P	AVAÍ
	BA0014P	BILAC
	BA0023P	CAJOBI
	BA0028P	CLEMENTINA
	BA0031P	CATIGUÁ
	BA0040P	FLÓRIDA PAULISTA
	BA0050P	INDIANA
	BA0052P	INÚBIA PAULISTA
	BA0054P	IRAPURU
	BA0059P	JALES
	BA0065P	MACEDÔNIA
	BA0073P	MONTE CASTELO
	BA0076P	MURUTINGA DO SUL
	BA0079P	NOVA INDEPENDÊNCIA
	BA0090P	PARAPUÁ
	BA0095P	PEDRANÓPOLIS
	BA0103P	POTIRENDABA
	BA0104P	PRESIDENTE ALVES
	BA0107P	QUATÁ
	BA0117P	SAGRES
	BA0123P	SANTA MERCEDES
	BA0127P	SÃO JOSÉ DO RIO PRETO
	BA0146P	TUPÃ
	BA0147P	UCHOA
	BA0149P	VALPARAÍSO
	BA0158P	ÁLVARES MACHADO
	BA0203P	POMPÉIA
	BA0219P	GENERAL SALGADO
Guarani	GU0013P	BAURU
	GU0016P	BOTUCATU
	GU0086P	ORLÂNDIA
	GU0111P	RIBEIRÃO BONITO
Serra Geral	SG0033P	DOURADO

4.3. Traçado das zonas de captura nos poços (ZOC)

4.3.1. Raio fixo calculado

A fim de determinar a zona de captura nos poços, o método empregado neste trabalho foi o raio fixo calculado (RFC), definido através do tempo de trânsito de 50 anos, concordante com o tempo de comparação entre as imagens da década de 60 e os dias atuais (2016).

O método do raio fixo calculado (RFC) baseia-se em uma abordagem geométrica, definindo uma área circular ao redor do poço (Carvalho & Hirata, 2012), como mostrado na Figura 9. Ressalta-se que a metodologia do RFC, apesar da fácil aplicação, o método não considera as condições de heterogeneidade, anisotropia, recarga, fluxo do aquífero e particularidades dos contornos de fluxo. O RFC define uma ZOC que corresponde a uma realidade muito simplificada, comprometendo sua eficácia na proteção de áreas importantes que contribuem para a captação. Por outro lado, pode proteger outras áreas que não tenham relação com o poço e é uma alternativa válida quando há pouca disponibilidade de dados hidrogeológicos locais (Carvalho & Hirata, 2012).

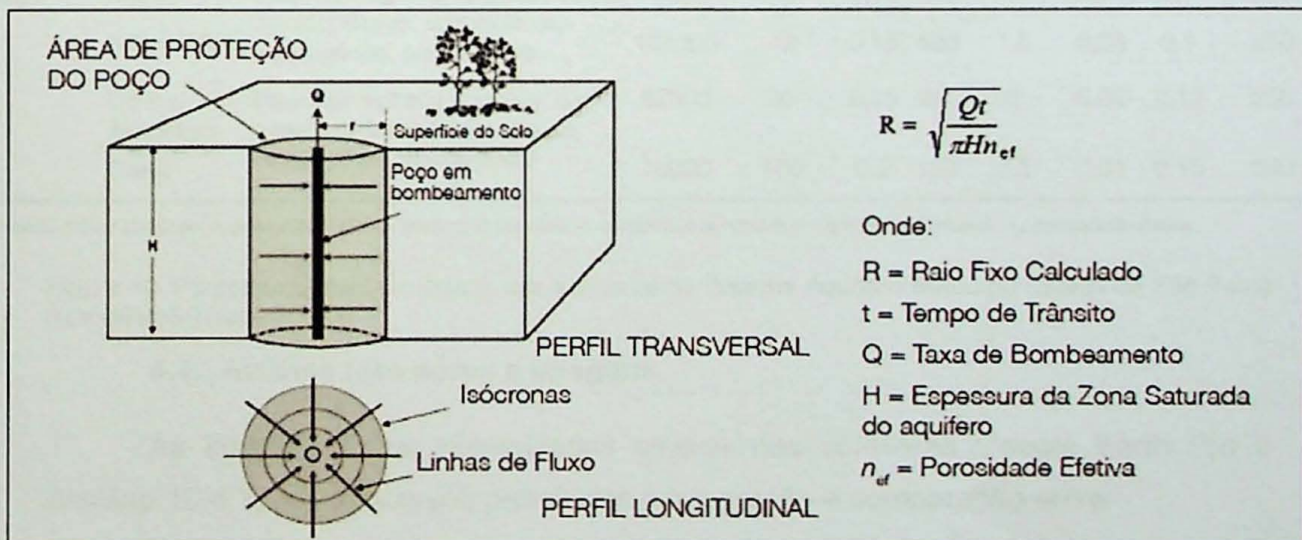


Figura 9: Delineação do perímetro de proteção de poço utilizando o método do raio fixo calculado (adaptado de USEPA, 1994).

4.3.2. Definição dos parâmetros para zona de captura

A aplicação da metodologia necessitou de informações, como: vazão do poço e porosidade efetiva e espessura da zona saturada do aquífero, que foram retirados dos perfis construtivos dos poços selecionados, bem como da geologia das unidades litoestratigráficas.

Assim, utilizando o *software* ArcMap 10.4.1, os 10 poços escolhidos foram plotados sobre o mapa geológico georreferenciado do Grupo Bauru, confeccionado pelo IPT (1981), para identificar qual o aquífero correspondente no Sistema Aquífero Bauru (SAB) em cada poço, conjuntamente com o relatório emitido pela CETESB em 2016.

O mapa gerado (Figura 12) indica que, majoritariamente, os poços selecionados estão situados sob o aquífero Adamantina, além disso, encontram-se nos aquíferos Santo Inácio e Caiuá, com o aquífero Marília ausente. Tais afirmações corroboram com os dados disponibilizados pela CETESB no relatório “Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2013 – 2015” (2016).

Uma vez os poços classificados, procedeu-se o cálculo das ZOC utilizando-se a porosidade efetiva média dos respectivos aquíferos (Figura 10), uma vez que a vazão e espessura média dos respectivos aquíferos foram coletadas dos perfis construtivos dos poços correspondentes.

Sistema aquífero	Aquífero	Descrição	Área (km ²)	Propriedades hidrogeológicas						
				Q (m ³ /h)	n (%)	b (m)	k (m/d)	i	n _{ef} (%)	Recarga (mm/ano)
Bauru	Marília	Extensão regional, granular, livre a semiconfinado, descontínuo,	15000	7,5	0,13	120	1	0,04	0,1	250
	Adamantina	heterogêneo, anisotrópico	104000	19	0,15	130	1,5	0,03	0,1	250
	Santo Anastácio	Extensão limitada, granular, livre a semiconfinado, descontínuo,	67000	35	0,25	80	2	0,02	0,12	250
	Caiuá	heterogêneo, anisotrópico	13000	100	0,2	100	2,5	0,01	0,15	350

Q: vazão média por poço; n: porosidade total; b: espessura saturada; k: condutividade hidráulica; i: gradiente hidráulico; n_{ef}: porosidade efetiva.

Figura 10: Parâmetros hidrogeológicos dos aquíferos do Sistema Aquífero Bauru no Estado de São Paulo (Carvalho & Hirata, 2012).

4.4. Análise foto-aérea e imagens

As imagens foram manipuladas através dos *softwares* Google Earth Pro e ArcMap 10.4.1, cujos recursos permitiram a integração e comparação entre:

- a) fotografias aéreas pancromáticas na escala 1:25.000, do levantamento aerofotogramétrico de agosto de 1962, da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, gentilmente cedidas pelo Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto (LASERE) da Universidade de São Paulo;

- b) imagens de satélite atuais (anos 2000 em diante) provenientes do programa Landsat (Land Remote Sensing Satellite), pertencente ao governo norte americano, e extraídas do *software* Google Earth.

Assim, a comparação entre as imagens auxiliou a compreensão da evolução e padrões de ocupação nos entornos dos poços, no caso, das ZOC calculadas. Buscou-se estabelecer a variação na ocupação, com especial atenção: i) tipo de ocupação do terreno; ii) densidade da ocupação urbana (casas/km²), através da contagem de telhados; iii) presença e avaliação das áreas verdes (drenagens, rios, vegetação nativa).

5. RESULTADOS OBTIDOS

5.1. Dados físico-químicos da rede de monitoramento

5.1.1. *Tendências das concentrações de nitrato*

Um total de 67 parâmetros (ANEXO I), incluindo o nitrato, foi utilizado para identificar afinidades que o nitrato apresenta com outros compostos químicos, aspectos físicos e biológicos das águas. Após a organização dos dados, estes foram representados de maneira gráfica, através de planilhas, relacionando a variação da concentração do nitrato ao longo do tempo para cada um dos poços.

Os poços, de maneira geral, apresentavam dados completos com relação aos parâmetros definidos. Porém notou-se que alguns estavam desprovidos de informações, seja pela ausência de determinado parâmetro ou data de coleta não identificada, ocasionando um descarte desses dados.

Foi possível constatar que o principal aquífero afetado pela contaminação de nitrato entre os 35 poços, é o Sistema Aquífero Bauru (SAB), conforme pode ser visto na Tabela 2, seguido dos Sistemas Guarani e Serra Geral, sendo que os relatórios da CETESB destacam outros também.

A análise mostrou que alguns dados, de maneira isolada, possuem valores discrepantes com os outros obtidos para um determinado poço. Como exemplo, o poço BA0054P (7615500/464000), no município de Irapuru, mostrou valores anômalos em duas coletas (Figura 11). Tal comportamento é difícil de explicar, exceto por uma coleta) de água que não levou em conta a purga do poço e/ou problema de estratificação da contaminação e longo período de inatividade do poço (Foster & Gomes, 1989).

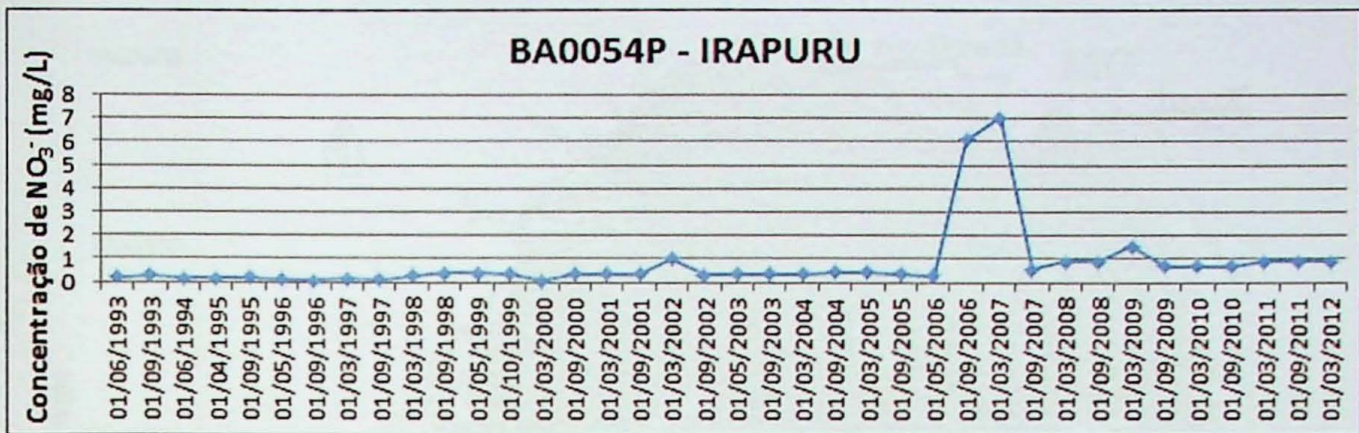


Figura 11: Gráfico da variação da concentração de nitrato ao longo do tempo, no poço BA0054P, em Irapuru (SP).

O grupo dos 10 poços selecionados é essencialmente localizado sob o SAB, principalmente o Aquífero Adamantina (Figura 11). As concentrações e profundidades desses poços podem ser observadas na Tabela 3.

Como dito anteriormente, foi feito um gráfico para cada um dos 35 poços a fim de avaliar quais seriam os 10 escolhidos para estudo mais aprofundado. Assim, pode-se observar três tipos de comportamentos diferentes entre estes poços, sendo: três poços com tendência na diminuição da concentração de nitrato; um poço apresentando comportamento estável; seis poços com tendência no aumento da concentração de nitrato (Tabela 3).

Pode-se concluir que os recursos hídricos subterrâneos, de maneira geral, apresentam baixas concentrações de nitrato se tratando do Estado de São Paulo. Porém, ressalta-se que há uma tendência ao incremento de nitrato nas águas, diferentemente do que foi constatado no relatório emitido pela CETESB, em 2016, como mostrado na Figura 13. O problema do gráfico em questão é que ele avalia a rede de monitoramento de maneira integrada, enquanto no caso do nitrato, deveriam ser avaliados somente os poços que a contaminação é evidente, uma vez que a rede de monitoramento do órgão ambiental aumenta gradativamente, fazendo com que poços instalados em locais completamente desprovidos de fontes de contaminação de nitrato produzam uma sensação errônea de redução nas concentrações.

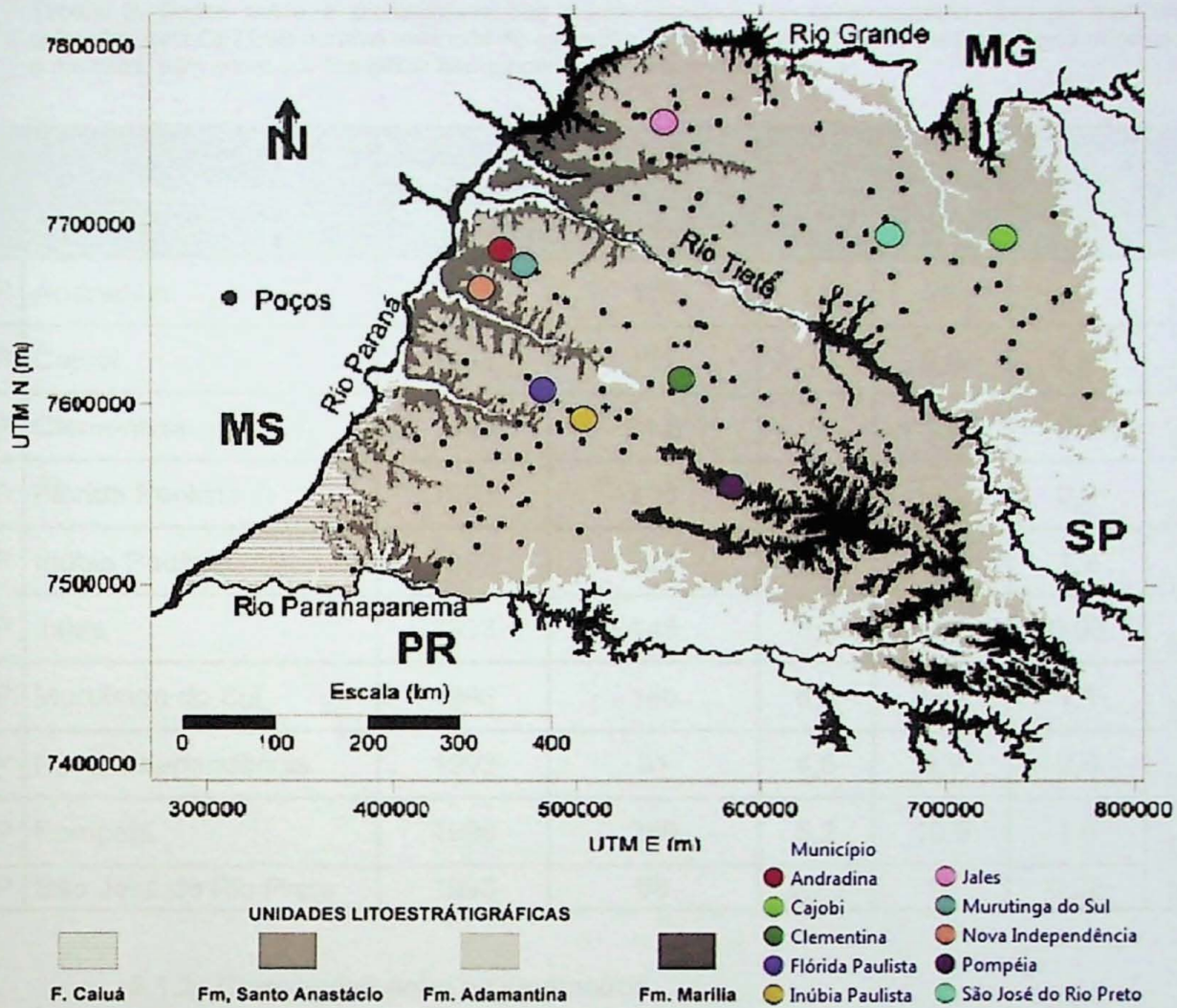


Figura 12: Ocorrência das unidades litoestratigráficas do Grupo Bauru em superfície e localização dos poços da rede de monitoramento escolhidos segundo seus municípios. Fonte: Adaptado de IPT, 1981

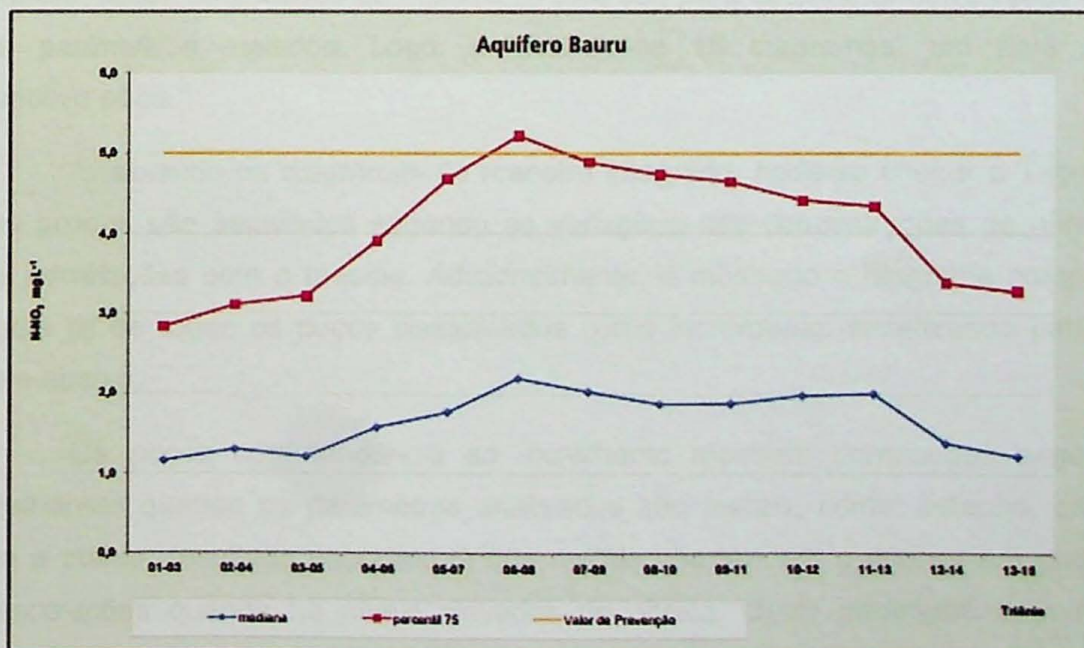


Figura 13: Tendência das concentrações de nitrato no Aquífero Bauru, no período de 2001 a 2015. Fonte: CETESB, 2016.

Tabela 3: Dados sobre a profundidade dos poços selecionados, conjuntamente com as medidas coletadas pela CETESB durante toda vida de operação de cada poço, indicando média, valores máximos e mínimos, bem como sua tendência nas concentrações ao longo do tempo.

Poço	Município	Início de Operação	Profundidade (m)	Média (mg/L)	Valor Máximo (mg/L)	Valor Mínimo (mg/L)	Variação
BA0006P	Andradina	1993	105	14	28	1	Incremento
BA0023P	Cajobi	1994	112	3	9,6	0,87	Diminuição
BA0028P	Clementina	1993	94,5	5	11	0,3	Incremento
BA0040P	Flórida Paulista	1993	200	4	11,2	0,3	Incremento
BA0052P	Inúbia Paulista	1992	220	8,4	18,4	1,2	Estável
BA0059P	Jales	1993	145	5,4	11,3	0,03	Incremento
BA0076P	Murutinga do Sul	1993	140	8,5	23,1	1,1	Diminuição
BA0079P	Nova Independência	1993	91	4,5	8,1	0,6	Incremento
BA0203P	Pompéia	1998	259	5,2	10,9	1,6	Diminuição
BA0127P	São José do Rio Preto	1993	68	5,23	10	0,38	Incremento

5.1.2. Correlações entre os parâmetros

Os grupos de poços identificados, segundo suas variações nas concentrações de nitrato, foram submetidos ao método de Pearson para determinar correlações entre seus parâmetros medidos. Logo, produziram-se 10 diagramas, um para cada respectivo poço.

Analisando os diagramas de maneira integrada, pode-se chegar a Tabela 4, cujos grupos são separados segundo as variações das concentrações de nitrato e suas correlações com o mesmo. Adicionalmente, é mostrado o diagrama compilado (Tabela 5) de todos os poços classificados como incremento, sintetizando parte da tabela abaixo.

Os poços com tendência ao incremento mostram correlações negativas semelhantes quando os parâmetros analisados são metais, como: estanho, cromo, prata e titânio, resultado esperado já que metais não tendem a ocorrer em grandes concentrações quando há níveis elevados de nitrato. Outro parâmetro com baixa correlação entre os grupos é a alcalinidade de bicarbonato.

O lítio apresenta uma relação inversa entre os poços que sofrem incremento e diminuição, onde no primeiro caso ele possui uma correlação negativo bem clara, e já no segundo mostra uma correlação positiva. Os sólidos dissolvidos totais são pertinentes nos dois conjuntos, ocorrendo em quase todos os casos, assim como o cloreto, indicando que o processo pertinente entre nitrato e cloreto é a diluição nas águas subterrâneas.

Apesar de não haver uma correspondência marcante entre bactérias e os poços selecionados, nota-se que as mesmas ocorrem com correlações moderadas no poço localizado no município de Cajobi, sendo que a presença destas é caracterizada por contaminação vinda através da cimentação sanitária danificada, ou seja, o poço BA0023P pode ter sido construído de maneira precária, porém o perfil construtivo do poço não possibilitada tal conclusão, somente que a cimentação é rasa, em torno de 10 metros.

Tabela 4: Parâmetros, com os principais valores positivos e negativos, analisados segundo as correlações de Pearson.

Variação	Município	Correlação	
		Positiva	Negativa
Incremento	Andradina	Resistividade total, sólidos totais e potássio	Lítio e titânio
	Clementina	Temperatura do ar	Urânio, lítio e vazão
	Flórida Paulista	Sólidos dissolvidos, potássio, nitrogênio kjeldahl, berílio, cálcio, cloreto e dureza	Temperatura de bombeamento, prata e cromo
	Jales	Antimônio	Fluoreto, crômio, potássio e alcalinidade de bicarbonato
	Nova Independência	pH campo	Estanho, temperatura d'água e prata
	São José do Rio Preto	Cloreto, cádmio e nitrogênio kjeldahl	Sulfato
Diminuição	Cajobi	Resistividade total, sólidos dissolvidos totais, urânio, cianeto, cloreto e potássio	Cromo
	Murutinga do Sul	Sólidos dissolvidos, e pH campo	Antimônio e estanho
	Pompéia	CO2 dissolvido, lítio e temperatura d'água	Fluoreto, potássio, alcalinidade de hidróxido e alcalinidade de carbonato
Estável	Inúbia Paulista	Potássio e sólidos dissolvidos totais	Estanho, boro, alcalinidade de hidróxido, alcalinidade de carbonato, lítio e titânio

5.2. Zonas de captura (ZOC)

O método empregado neste trabalho para o cálculo das zonas de captura foi o raio fixo calculado, RFC, como descrito no capítulo 4.3. "Traçado das zonas de captura nos poços (ZOC)". Assim, a Tabela 6 indica todos os parâmetros hidrogeológicos utilizados para calcular as ZOC. Ressalta-se que o tempo de trânsito utilizado foi de 50 anos (18250 dias).

O raio calculado para às zonas de capturas variou em função dos dados utilizados, sendo que, nestes casos, o principal agente que controla foi a vazão, como pode ser visto na tabela abaixo. Os valores estão contidos no intervalo de 314 a 799 metros, equivalentes aos municípios de Pompéia e Andradina, respectivamente. A espessura específica usada foi obtida junto aos perfis construtivos dos poços escolhidos, sendo que este material é de responsabilidade da CETESB.

Tabela 6: Informações necessárias para o cálculo das zonas de captura dos poços escolhidos, indicando o raio fixo calculado para um tempo de trânsito de 50 anos.

Ponto CETESB	Município	Q (m ³ /d)	b (m)	n _{ef} (%)	RFC (50 anos) (m)
BA0006P	Andradina	1032	94	0,1	799
BA0023P	Cajobi	312	49	0,1	608
BA0028P	Clementina	144	51	0,1	405
BA0040P	Flórida Paulista	384	110	0,1	450
BA0052P	Inúbia Paulista	432	162	0,1	394
BA0059P	Jales	744	123	0,1	593
BA0076P	Murutinga do Sul	264	115	0,1	365
BA0079P	Nova Independência	960	79	0,12	767
BA0203P	Pompéia	168	99	0,1	314
BA0127P	São José do Rio Preto	312	46	0,1	628

5.3. Análise foto-aérea e imagens

A avaliação de uso e ocupação do solo ao redor dos poços baseou-se na comparação de fotografias do ano de 1962, oriundas do projeto de levantamento aerofotogramétrico da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, e imagens de satélites atuais provenientes do Google Earth, bem como fotos dos anos 2000 via mesmo *software*.

Foi possível observar as mudanças que ocorreram ao redor do poço desde sua instalação e antes de sua construção, permitindo uma análise temporal quase completa de toda evolução do terreno. Devido à falta de imagens de décadas

subsequentes, não se obteve uma linha do tempo detalhada entre os anos de 1970 e 2000, porém vale ressaltar que as comparações feitas neste trabalho foram suficientes para se chegar a conclusões relevantes sobre o tema em questão.

As Figuras 14 e 15 mostram a comprovação do método, tendo como exemplo o município de Pompéia, correspondendo a 1962 e 2016, respectivamente. Este é um dos demais poços escolhidos, uma vez que metodologia foi replicada, visando analisar de maneira integrada os municípios que apresentam grandes variações nas concentrações de nitrato. É importante salientar que a maioria dos poços da rede de monitoramento da CETESB foram somente instalados a partir de 1980 em diante, logo, as figuras exibem a localização do poço plotado para entendimento do uso e ocupação do solo ao longo do tempo analisado, assim como a sua respectiva ZOC.

O poço BA0203P, situado na cidade de Pompéia, mostra de fato que a ocupação do terreno onde se encontra mudou, uma vez que na imagem pretérita sua localização não continha qualquer tipo de habitação ou mesmo construção. Porém, no ano de 2016, observa-se uma vasta massa populacional nos seus entornos. A mesma analogia pode ser feita para o extremo oeste da cidade supracitada, ao longo da rodovia SP-294.

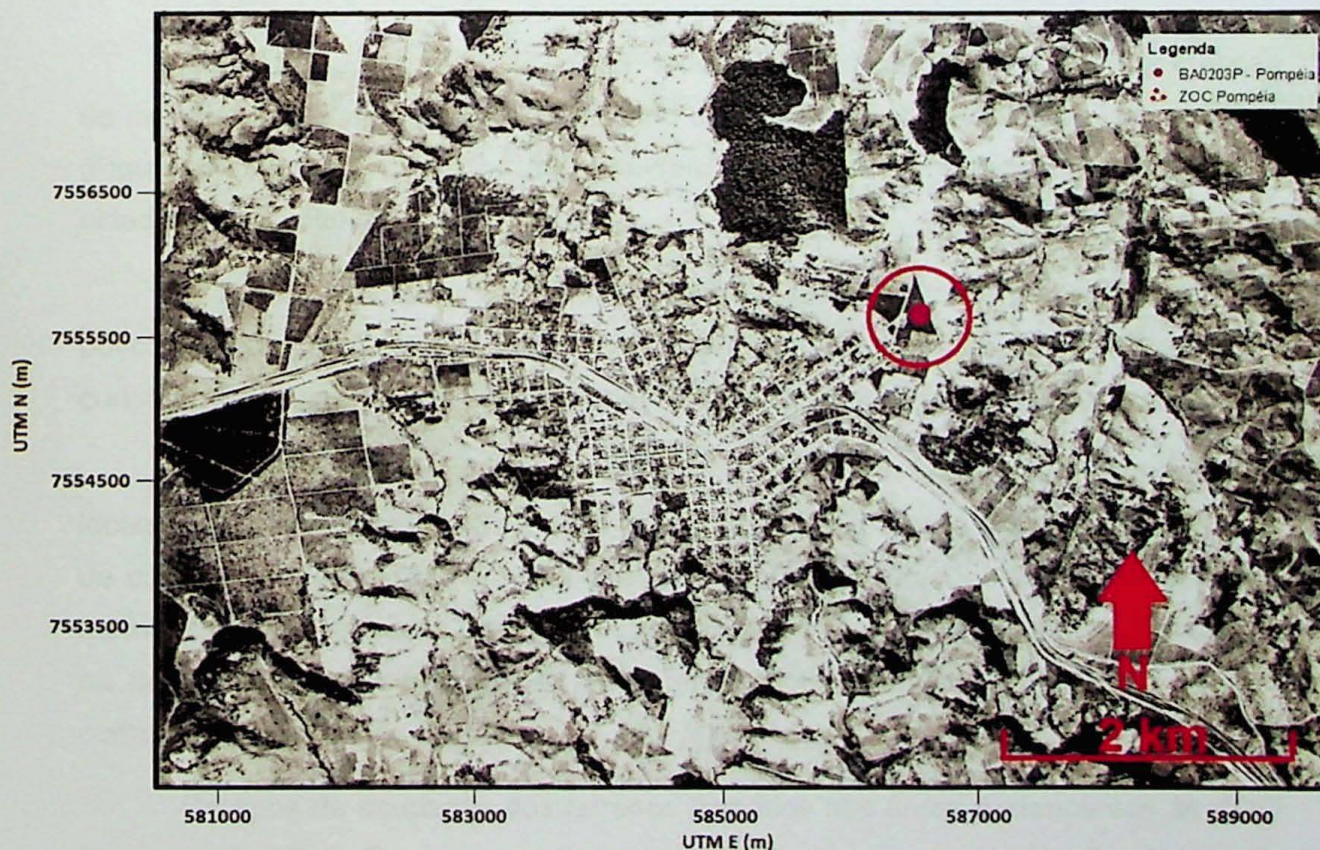


Figura 14: Imagem aérea do município de Pompéia (SP) em 1962, com a localização do poço e sua zona de captura calculada, cuja área encontrava-se desocupada. Fonte: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1962.

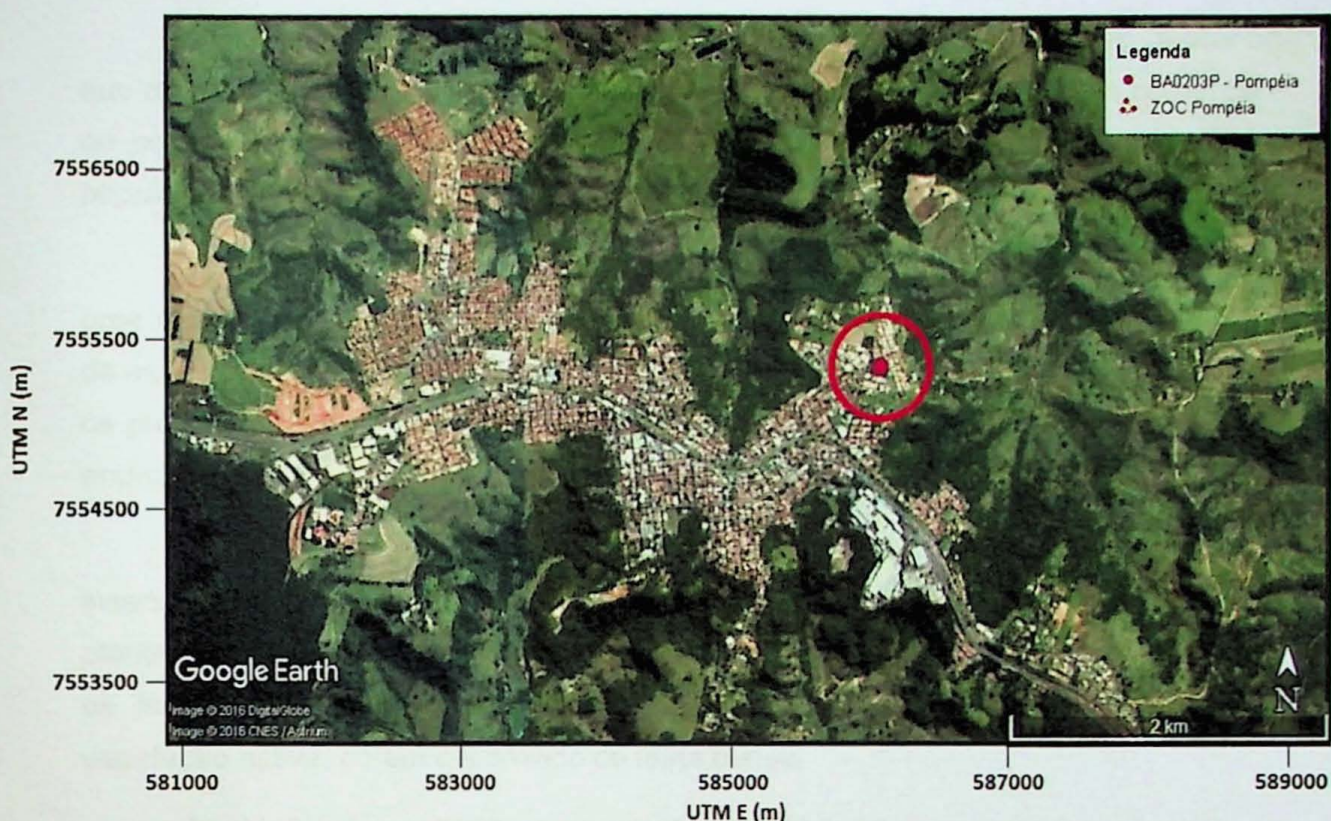


Figura 15: Imagem aérea do município de Pompéia (SP), com a localização do poço BA0203P e sua zona de captura calculada, mostrando um crescimento urbano na porção NE. Fonte: Google Earth, 2016

5.3.1. Urbanização

Segundo censo do IBGE (2012), a ocupação do centro-oeste paulista cresceu de maneira acentuada após 1970, fazendo com que a taxa de urbanização crescesse (Figura 8). As fotografias de 1962 mostram uma baixa densidade urbana entre as cidades escolhidas.

A Tabela 7 mostra a contagem de telhados feita nas zonas de captura de cada poço. Pode-se afirmar que nestas áreas, a densidade urbana sofreu um aumento considerável, cujos valores máximos e mínimos são 730% e 132%, respectivamente.

Os valores mais elevados de densidade urbana em 1962 são encontrados em locais cuja idade de ocupação é mais antiga, isto é, as porções próximas aos centros de cada cidade, fazendo com que a quantidade de construções seja mais elevada. Intrinsecamente, os poços instalados nesses lugares apresentaram a menor evolução na urbanização, uma vez que já eram densamente povoados no passado quando comparados aos outros casos.

Os tipos de ocupação dos terrenos inseridos nas áreas pertencentes às ZOC foram avaliados a fim de entender potenciais fontes de contaminação de nitrato baseadas nas construções identificadas.

As imagens aéreas pretéritas e atuais possibilitaram esta análise, indicando que os tipos de construções encontradas são restritos a residências e lojas comerciais de pequeno porte nas cidades de menor expressão. Para cidades cuja densidade populacional é mais elevada, prédios e indústrias são observados na ZOC.

Importante destacar que edificações de grande porte, como prédios, produzem uma quantidade expressiva de resíduos líquidos e necessitam de uma rede coletora de esgoto mais complexa quando comparada a domicílios. Ademais, há casos em que os prédios são recentes e possuem uma rede de saneamento adequada e moderna, enquanto casas mais antigas são desprovidas de qualquer tipo deste serviço.

Constatou-se que nas cidades fotografadas em 1962, boa parte das áreas inseridas nas ZOC correspondiam às atividades pecuárias e agrícolas como plantações de café (predominante), milho, arroz e batata, etc. O mesmo acontece com os locais de instalação dos poços escolhidos, por vezes eram plantações ou vegetação nativa, porém desprovido de mata densa.

As imagens de 2016 atestam que as ZOC são ocupadas totalmente ou parcialmente por áreas urbanas, dependendo do caso. Em certos municípios, as áreas verdes ocorrem de maneira expressiva e dominam boa parte da zona de captura, com taxas de ocupação urbana de 30% e 45%, correspondendo a Cajobi e Nova Independência, respectivamente. Nas situações de domínio completo por parte de construções, destacam-se São José do Rio Preto, Jales e Flórida Paulista.

As drenagens são restritas às cidades menores, como Murutinga do Sul e Nova Independência. Não há presença de rios que cruzam qualquer uma das ZOC, apenas em São José do Rio Preto, onde o Rio Preto faz parte da represa municipal, conhecida como Lago II.

Um levantamento paralelo feito junto às secretarias municipais de água e esgoto de todas as 10 cidades apontaram que a rede coletora de esgoto cobre boa parte das malhas urbanas, porém não foi possível obter informações precisas sobre data de instalação da rede de esgoto, porcentagem da população atendida pela rede dentro da ZOC e situação das fossas negras e sépticas nos locais.

Tabela 7: Informações urbanas principais inseridas nas zonas de captura dos poços selecionados, segregadas de acordo com o município.

Município	Construções 1962	Construções 2016	Área (km ²)	Densidade Urbana 1962 (casas/km ²)	Densidade Urbana 2016 (casas/km ²)	Evolução Densidade Urbana (%)	Ocupação Urbana Total na ZOC (%)	Tipo de Ocupação do Terreno
Andradina	1321	1902	2,003	660	950	143,98%	85%	Residencial e serviços
Cajobi	53	135	1,161	46	116	254,72%	30%	Agrícola e residencial
Clementina	125	304	0,515	243	590	243,20%	60%	Serviços e residencial
Flórida Paulista	262	543	0,637	411	853	207,25%	100%	Residencial e serviços
Inúbia Paulista	337	446	0,486	693	917	132,34%	90%	Residencial e serviços
Jales	562	817	1,103	509	740	145,37%	100%	Serviços e residencial
Murutinga do Sul	156	258	0,419	373	616	165,38%	50%	Residencial e agrícola
Nova Independência	132	488	1,847	71	264	369,70%	45%	Residencial e agrícola
Pompéia	63	273	0,310	204	882	433,33%	70%	Residencial
São José do Rio Preto	243	1775	1,237	196	1435	730,45%	100%	Residencial e serviços

6. DISCUSSÃO

A hipótese do projeto é que a presença do nitrato em águas dos poços de monitoramento é função de mudanças no uso e ocupação do terreno em áreas do entorno da captação. Logo, diferentes análises foram aplicadas para o entendimento dos fatores que contribuem para o incremento e diminuição nas concentrações de nitrato, assim como sua estabilidade. A Figura 16 representa a integração de todo trabalho realizado, resumindo os principais resultados obtidos.

Observa-se que entre as ZOC traçadas, os poços instalados em locais mais antigos das cidades e densamente povoados, mesmo nos dias atuais, indicam altos valores de nitrato nas coletas de água da CETESB, como Inúbia Paulista e Andradina. A ocupação encontrada é estritamente residencial desde 1962, desta maneira, pode-se relacionar a evolução da densidade urbana até 2016, inserida nas ZOC, com as concentrações de nitrato.

As cidades que apresentam tendência ao incremento do nitrato mostram relação direta com as densidades urbanas elevadas, a maioria dos locais densamente povoados na ZOC tiveram suas concentrações de nitrato pretéritas aumentadas. Outro fator levantado é o local de instalação do poço, que, caso seja em lugares mais antigos das cidades, a ocupação da zona de captura tende a ser maior em 1962 até os dias atuais.

Os poços situados em cidades cujas concentrações começaram a sofrer um incremento significativo somente na última década, sofreram uma redução considerável em suas áreas verdes, pois o local era previamente vegetação nativa ou mesmo atividades agropecuárias, sem a presença massiva de ocupação antrópica.

Ao longo do tempo, a maioria das cidades escolhidas passou por um intenso processo de crescimento populacional e urbanização dentro de sua ZOC, o que acarretou em uma maior geração de esgoto, assim, há um aumento de emissão de nitrato no solo, contribuindo para poluição dos aquíferos correspondentes, pertencentes ao SAB.

Na Tabela 8, é mostrada a variação das concentrações de nitrato nos poços com valores médios nos seus primeiros três anos de operação e médias dos últimos três anos. Pode-se observar que densidade urbana não possui controle único e exclusivo sobre o aumento nas concentrações de nitrato, uma vez que cidades que

apresentaram elevação na sua densidade urbana na ZOC, como Pompéia, não tiveram os valores de nitrato incrementados, e sim, reduzidos.

Logo, a taxa de urbanização dentro da ZOC é um fator importante a ser considerado, pois municípios com altas taxas de ocupação antrópica no terreno tendem a possuir elevadas concentrações de nitrato no respectivo poço. A redução nas concentrações de nitrato é favorecida quando há baixas taxas de ocupação antrópica, ou seja, uma densidade urbana reduzida quando comparadas com diferentes locais. Isto ocorre nos poços BA0023P e BA0076P (Cajobi e Murutinga do Sul, respectivamente), cujos níveis de nitrato têm mostrado uma tendência ao decréscimo.

Assume-se, também, que os sistemas de saneamento básico cobrem boa parte da demanda atual, sendo moderna e eficiente na maioria dos municípios, fato que ajuda a prevenir os vazamentos e fugas das redes de esgoto. Mesmo assim, há casos que necessitam de manutenção devido à precariedade das instalações coletoras e de tratamento, como no poço BA0006P, em Andradina.

A interpretação pode ser usada na situação do poço BA203P, em Pompéia, cuja ocupação não ocorria em sua ZOC em 1962, e mesmo havendo um crescimento substancial na densidade urbana, os níveis de contaminação máximos nos aquíferos são datados de 2003. Desde então, as concentrações de nitrato têm apresentado nítida queda no local, já que o município dispõe de uma rede coletora de esgoto de qualidade e moderna.

Tabela 8: Dados urbanos e variações nas concentrações de nitrato mostram suas respectivas evoluções.

Município	Densidade Urbana 1962 (casas/km ²)	Densidade Urbana 2016 (casas/km ²)	Média das Concentração de Nitrato Pretéritas (mg/L)	Média das Concentração de Nitrato Atuais (mg/L)	Varição das Concentrações de Nitrato	Evolução Densidade Urbana
Andradina	660	950	8,36	16,2	93,78%	143,98%
Cajobi	46	116	6,32	3,28	-48,10%	254,72%
Clementina	243	590	3,71	6,58	77,36%	243,20%
Flórida Paulista	411	853	1,48	6,31	326,35%	207,25%
Inúbia Paulista	693	917	8,08	7,57	-6,31%	132,34%
Jales	509	740	5,59	7,57	35,42%	145,37%
Murutinga do Sul	373	616	8,3	5,39	-35,06%	165,38%
Nova Independência	71	264	2,45	5,075	107,14%	369,70%
Pompéia	204	882	7,44	3,8	-48,92%	433,33%
São José do Rio Preto	196	1435	2,17	8,79	305,07%	730,45%

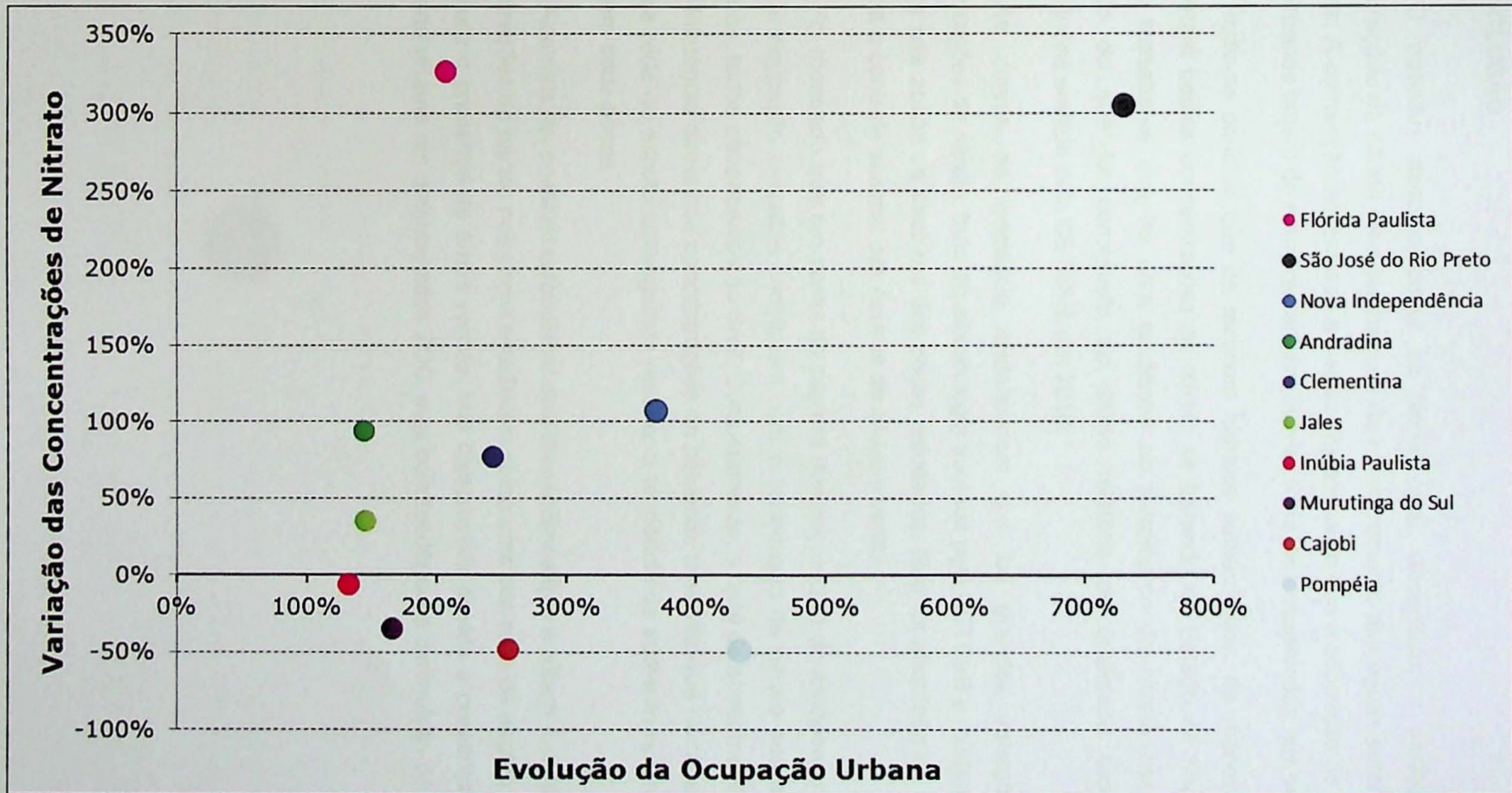


Figura 16: Variação das concentrações de nitrato em função da evolução da ocupação em cada poço analisado, segundo seu respectivo município.

7. CONCLUSÃO

O trabalho visou entender os fatores que influenciam a variação das concentrações de nitrato medidas na rede de monitoramento das águas subterrâneas paulistas. A correlação encontrada é que as mudanças de uso e ocupação do solo em áreas urbanas atuam de maneira decisiva com as variações observadas nos poços.

Pode-se concluir que os recursos hídricos subterrâneos, de maneira geral, apresentam baixas concentrações de nitrato se tratando do Estado de São Paulo. Porém, ressalta-se que há uma tendência ao incremento de nitrato nas águas, diferindo do que foi constatado no último relatório de qualidade das águas subterrâneas emitido pela CETESB, em 2016.

As curvas de tendência evidenciaram que há grandes variações nas concentrações de nitrato, fruto da metodologia adotada pela CETESB e mudanças que ocorrem nas zonas de capturas dos poços estudados. Não foi abordado de maneira profunda o controle sazonal das épocas de chuva e verão.

Foi mostrado que em zonas de captura dos poços com densidades urbanas e taxas de ocupação elevadas contribuem com o incremento de nitrato nos aquíferos estudados, todos pertencentes ao SAB. Conjuntamente, a rede de saneamento básico exerce influência direta nas concentrações do poluente, uma vez que municípios com uma boa rede de esgoto conseguiram reverter a tendência de aumento nos níveis de nitrato em seus poços.

Ademais, foi possível estabelecer dois mecanismos que auxiliam a redução das concentrações de nitrato nos poços estudados, como uma boa rede de esgoto na zona de captura e presença de áreas verdes, fato comprovado devido à presença de alta densidade urbana em determinadas ZOC, mas com tendência a diminuição de nitrato.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barcha, S. F. 1980. Aspectos gemológicos e províncias hidrogeológicas da Formação Bauru na região norte-ocidental do Estado de São Paulo. São José do Rio Preto: Universidade Estadual Paulista.

Carvalho, A.M.; Hirata, R. 2012. Avaliação para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 12, n. 1, p. 5-70.

Cagnon, F.A. 2003. Origem e Hidroquímica do nitrato nas Águas Subterrâneas do Aquífero Adamantina em Urânia, SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2013. Qualidade das águas subterrâneas do Estado de São Paulo 2010 – 2012. Relatório Técnico. São Paulo: Série de Relatórios/Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4103. 242p.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2016. Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo 2013 – 2015. Relatório técnico. São Paulo: Série de Relatórios/Secretaria de Estado do Meio Ambiente, ISSN 0103-4101. 308p.

Drake, V. M. & Bauder, J.W. 2005. Groundwater nitrate-nitrogen trends in relation to urban development, Helena Montana, 1971-2003. Groundwater Monitoring and Remediation, v.25, n.2, p. 188-130.

Foster, S. S. D. & Hirata, R. 1988. Groundwater pollution risk assessment: a methodology using available data. 2. ed. LIMA: Pan American Sanitary Engineering and Environmental Science Center (CEPIS/PAHO/WHO), 91p.

Foster, S. S. D. & Gomes, D.C. 1989. Monitoreo de la Calidad de las Aguas Subterrâneas: una evaluacion de métodos y costos. WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru.111p.

Foster, S.; Hirata, R.; Gomes, D.; Délia, M.; Paris, M. 2006. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Washington: Banco Mundial.

Freeze, R.A. & Cherry, J.A. 1979. Groundwater. Hemel Hempsted: Prentice-Hall International. XVIII. 604p.

Giafferis, G.; Oliveira, E. 2006. Investigação da qualidade de águas subterrâneas no município de Bauru. In: XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Curitiba. Anais Curitiba, ABAS. (CD-ROM).

Harter, T.; Boyle, D., King, A., Kourakos, G., Lockhart, K., Mayzelle, M., Fogg, G.E. 2012. Groundwater Nitrate Occurrence. Technical Report 4 in: Addressing Nitrate in California's Drinking Water with a Focus on Tulare Lake Basin and Salinas Valley Groundwater. Report for the State Water Resources Control Board Report to the Legislature. Center for Watershed Sciences, University of California, Davis. 277p.

Hirata, R. 2000. Estudo da contaminação por nitrato no Distrito de Tibiriça, Bauru. Departamento de água energia e esgoto. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Hirata, R. & Conicelli, B. 2012. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. Anais da Academia Brasileira de Ciências (Impresso), v. 84, p. 297-312.

Hirata, R. 2013. Nitrato nas águas subterrâneas: prevenção e mitigação do problema. Apresentação. Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

Iritani, M.A. & Ezaki, S. 2012. As águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Instituto Geológico, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 13ª edição. 104p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Estimativas populacionais para os municípios brasileiros. Relatório de Censos Demográficos. Rio de Janeiro, v3. 433p.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. 1981. Mapa geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000. São Paulo, IPT, v.1 e v.2.

Lee, M.; Lee, K.; Hyun, Y.; Clement, T. P.; Hamilton, D. 2006. Nitrogen Transformation and transport modeling in groundwater aquifers. Elsevier. Ecological Modelling, 192. p.143-159.

Procel, S. T. 2011. Contaminação por nitrato e sua relação com o crescimento urbano no Sistema Aquífero Bauru em Presidente Prudente (SP). Dissertação de Mestrado (inéd.), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

Reynolds-Vargas, J.; Fraile, J.; Hirata, R. 2006. Trends in nitrate concentrations and determination of their origin using stable isotopes (^{18}O and ^{15}N) in groundwater of the Western Central Valley, Costa Rica. *A Journal of the Human Environment*, v35, n.5, p229-236.

Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo. 1962. Levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo. Instituto Agrônomo, São Paulo.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. 1994. Ground water and wellhead protection. Handbook. USEPA, Office of Research and Development. EPA/625/R-94/001, Cincinnati, Ohio.

Varnier, C.; Ferreira, L. M. R.; Iritani, M. A.; Oda, G. H.; Viotti, M. 2010. Nitrato nas águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru, área urbana do município de Marília (SP). *Revista do Instituto Geológico, São Paulo*, 31 (1/2): 1-21.

Washington State Department of Health. 2010. Washington state wellhead protection program guidance document. Division of Environmental Health, Office of Drinking Water. Publication DOH 331-018.

Xu, Y.; Baker, L.A.; Johnson, P.C. 2007. Trends in groundwater nitrate contamination in the Phoenix, Arizona Region. *Groundwater Monitoring and Remediation*, v.27, n.2, p.49-56.

ANEXO I. Parâmetros químicos, físicos e biológicos

Parâmetros utilizados para avaliação físico-química da rede de monitoramento da CETESB.

Tipo	Parâmetro	Unidade
Biológico	Bactérias heterotróficas-48h	UFC/ml
Biológico	Bacteriófagos f.	UFP/ml
Biológico	C. Perfringens	UFC/ml
Biológico	Coliformes fecais-mf	MF/100ml
Biológico	Coliformes fecais-p/a	Presente ou ausente/100ml
Biológico	Coliformes totais - ttm	TTM/100ml
Biológico	Escherichia coli	UFC/ml
Físico	Condutividade hidráulica	uS/cm
Físico	Dureza cálcio	mg Ca/L
Físico	Dureza magnésio	mg Mg/L
Físico	Dureza total	mg CaCO ₃ /L
Físico	Resistividade total	mg/L
Físico	Resistividade filtrada 180°C	mg/L
Físico	Resistividade total 180°C	mg/L
Físico	Temperatura de bombeamento	° C
Físico	Temperatura da água	° C
Físico	Temperatura do ar	° C
Físico	Vazão	m ³ /h
Químico	Alcalinidade de bicarbonato	mg CaCO ₃ /L
Químico	Alcalinidade de carbonato	mg CaCO ₃ /L
Químico	Alcalinidade de hidróxido	mg CaCO ₃ /L
Químico	Alcalinidade total	mg CaCO ₃ /L
Químico	Alumínio total	mg Al/L
Químico	Antimônio total	mg Sb/L
Químico	Arsênio total	mg As/L
Químico	Bário total	mg Ba/L
Químico	Berílio total	mg Be/L
Químico	Boro total	mg B/L
Químico	Cádmio total	mg Cd/L
Químico	Cálcio total	mg Ca/L
Químico	Carbono orgânico dissolvido	mg C/L
Químico	Chumbo total	mg Pb/L
Químico	Cianeto	mg CN/L
Químico	Cloreto	mg Cl/L
Químico	Cobalto total	mg Co/L
Químico	Cobre total	mg Cu/L
Químico	Crômio total	mg Cr/L
Químico	Estanho total	mg Sn/L
Químico	Estrôncio total	mg Sr/L
Químico	Ferro total	mg Fe/L

Químico	Fluoreto total	mg F/L
Químico	Fósforo total	mg P/L
Químico	Lítio total	mg Li/L
Químico	Magnésio total	mg Mg/L
Químico	Manganês total	mg Mn/L
Químico	Mercúrio total	mg Hg/L
Químico	Molibdênio total	mg Mo/L
Químico	Nitrato	mg N/L
Químico	Nitrito	mg N/L
Químico	Níquel total	mg Ni/L
Químico	Nitrogênio amoniacal total	mg N/L
Químico	Nitrogênio kjeldahl total	mg N/L
Químico	O ₂ consumido em meio ácido	mg/L
Químico	pH (laboratório)	-
Químico	pH de campo	-
Químico	pH de saturação	-
Químico	Potássio total	mg K/L
Químico	Prata total	mg Ag/L
Químico	Selênio total	mg Se/L
Químico	Sódio total	mg Na/L
Químico	Sólidos dissolvidos totais	mg /L
Químico	Sólidos totais	mg /L
Químico	Sulfato total	mg SO ₄ /L
Químico	Titânio total	mg Ti/L
Químico	Urânio total	mg U/L
Químico	Vanádio total	mg V/L
Químico	Zinco total	mg Zn/L

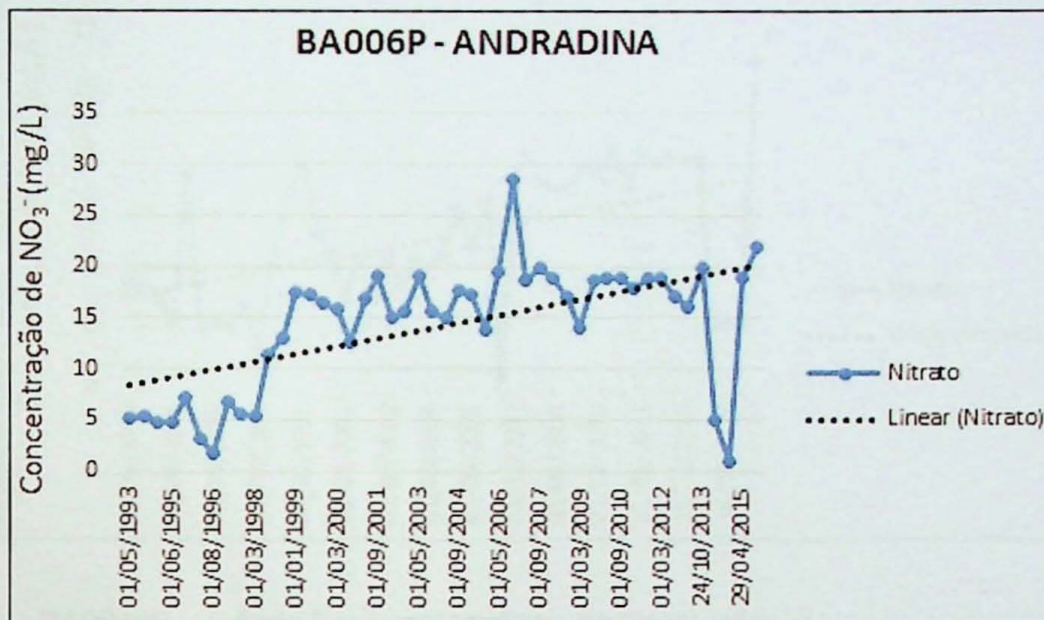


ANEXO II. Curvas de tendências dos poços

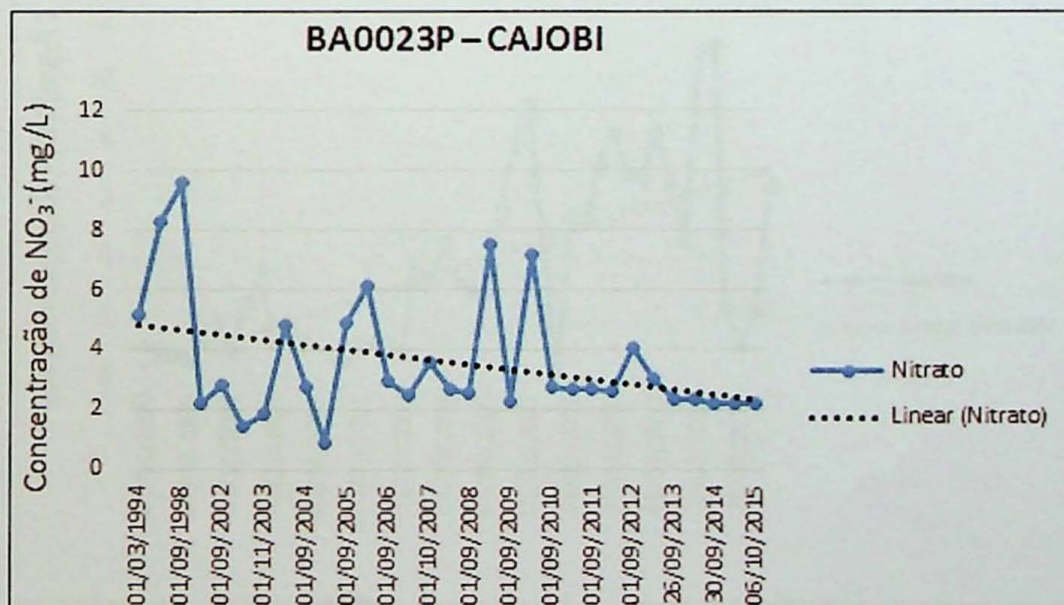


Curvas de tendência dos 10 poços selecionados.

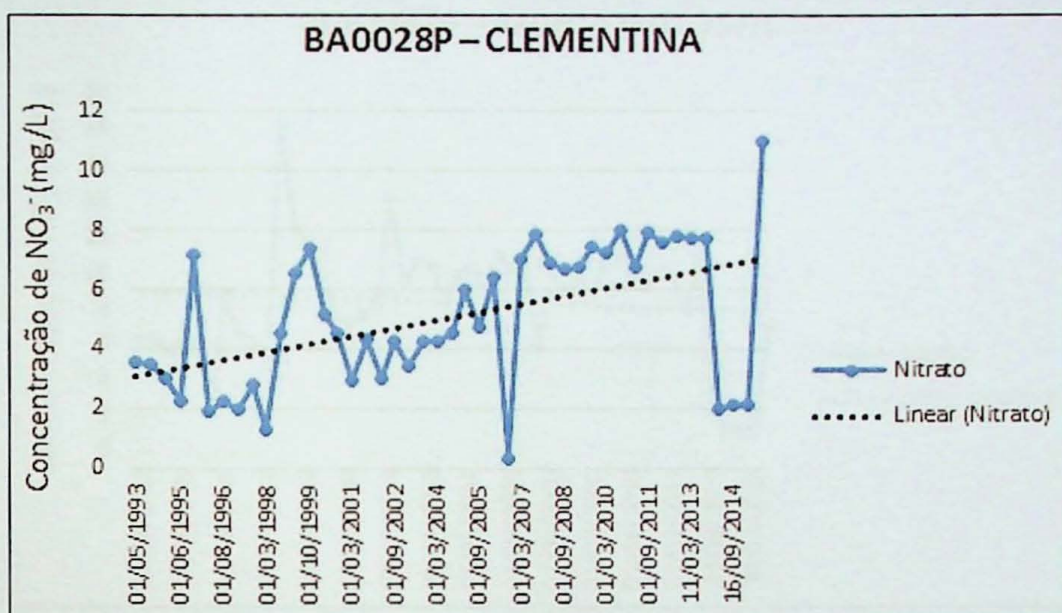
a) BA006P – Andradina: tendência de incremento;



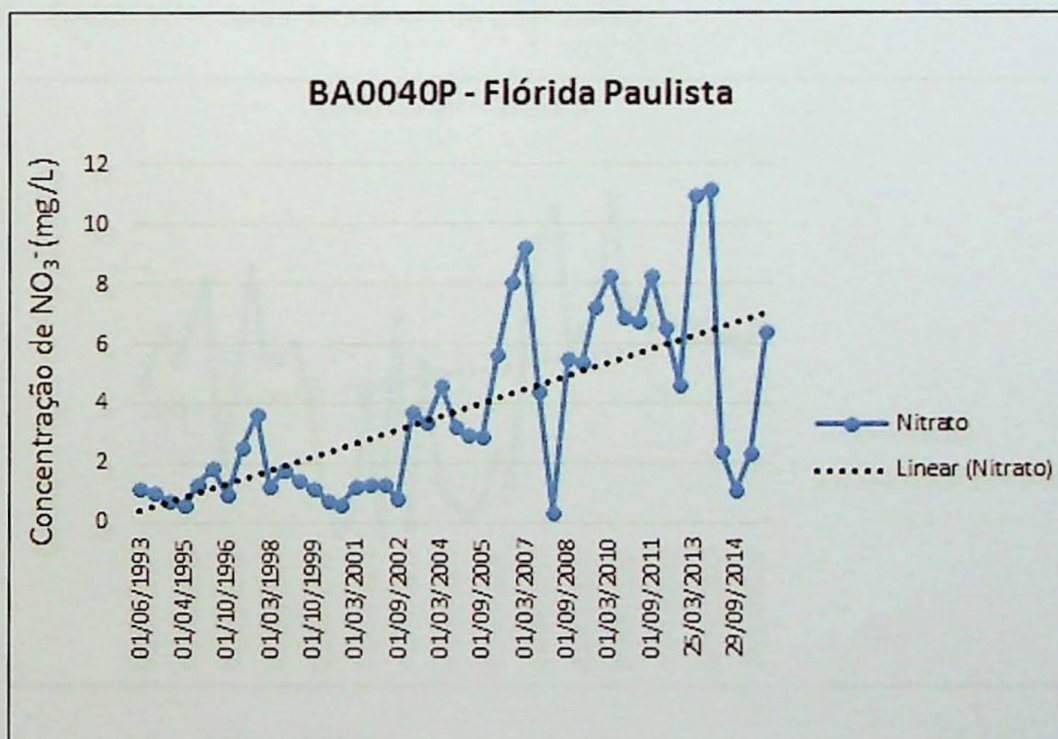
b) BA0023P – Cajobi: tendência de diminuição;



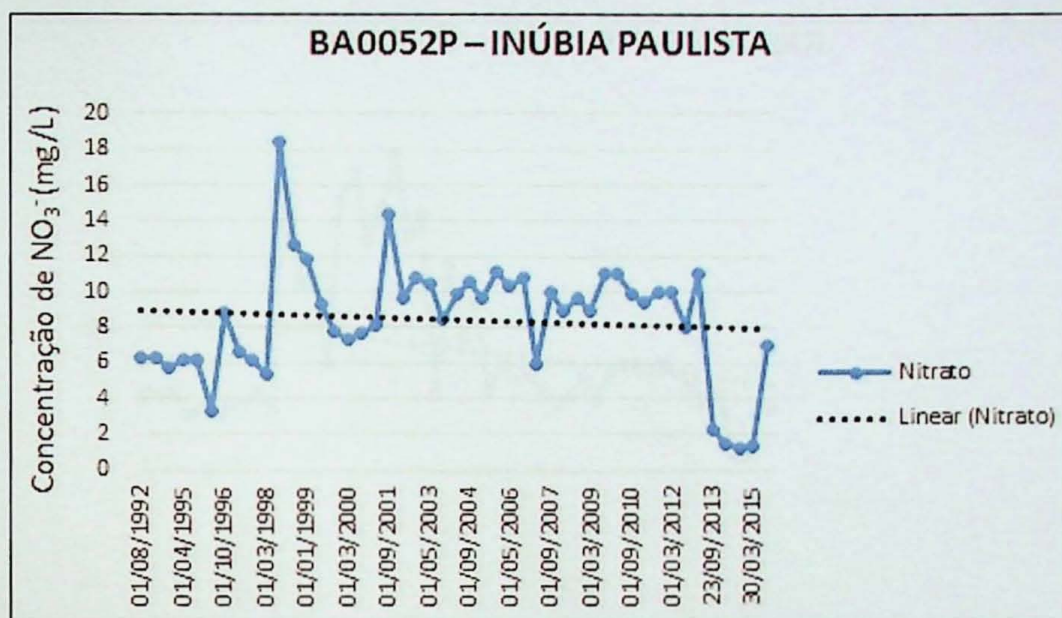
c) BA0028P – Clementina: tendência de incremento;



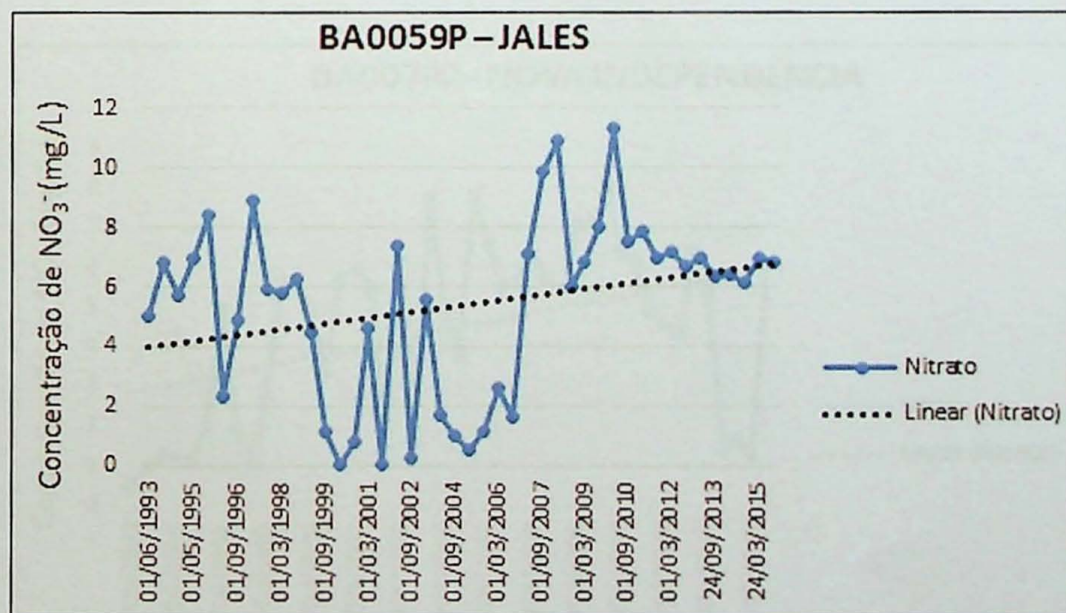
d) BA0040P – Flórida Paulista: tendência de diminuição;



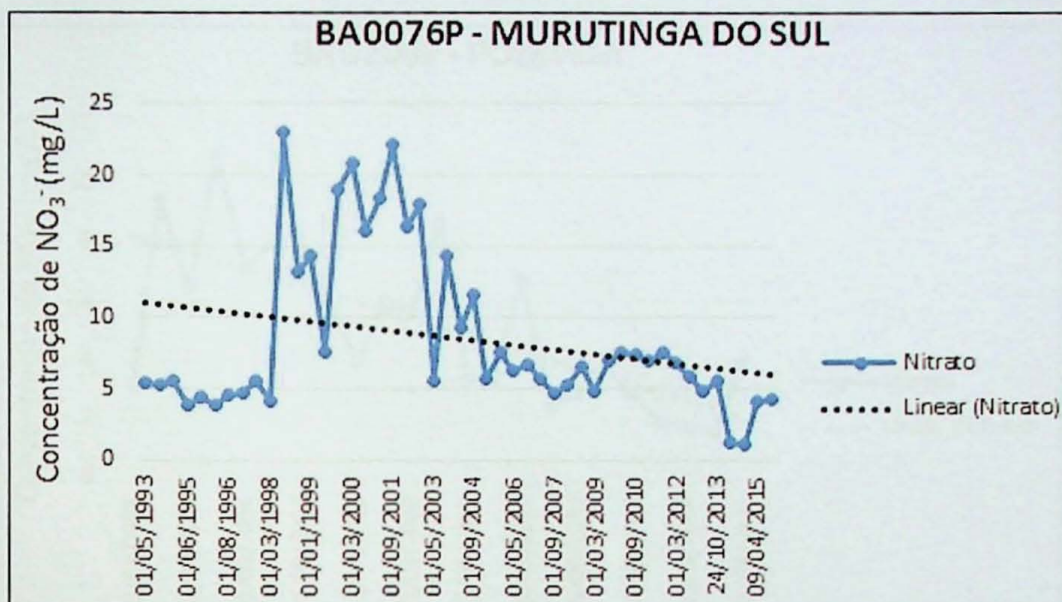
e) BA0052P – Inúbia Paulista: tendência de estabilidade;



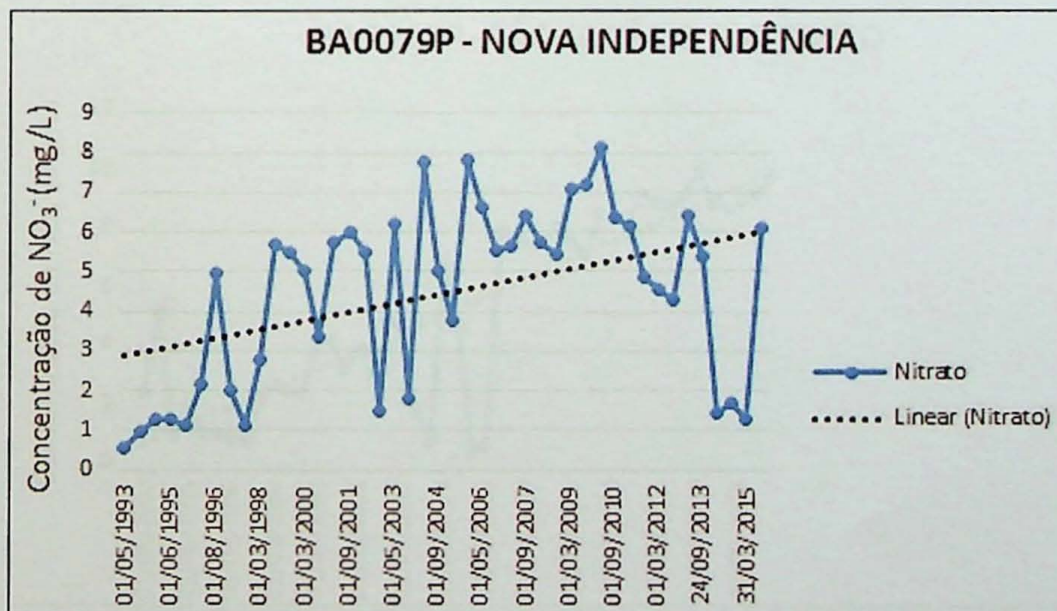
f) BA0059P – Jales: tendência de incremento;



g) BA0076P – Murutinga do Sul: tendência de diminuição;



h) BA0079P – Nova Independência: tendência de incremento;



i) BA0203P – Pompéia: tendência de diminuição;



j) BA0127P – São José do Rio Preto: tendência de incremento.



**ANEXO III. Dados gerais e hidrogeológicos
dos poços nas zonas de captura**

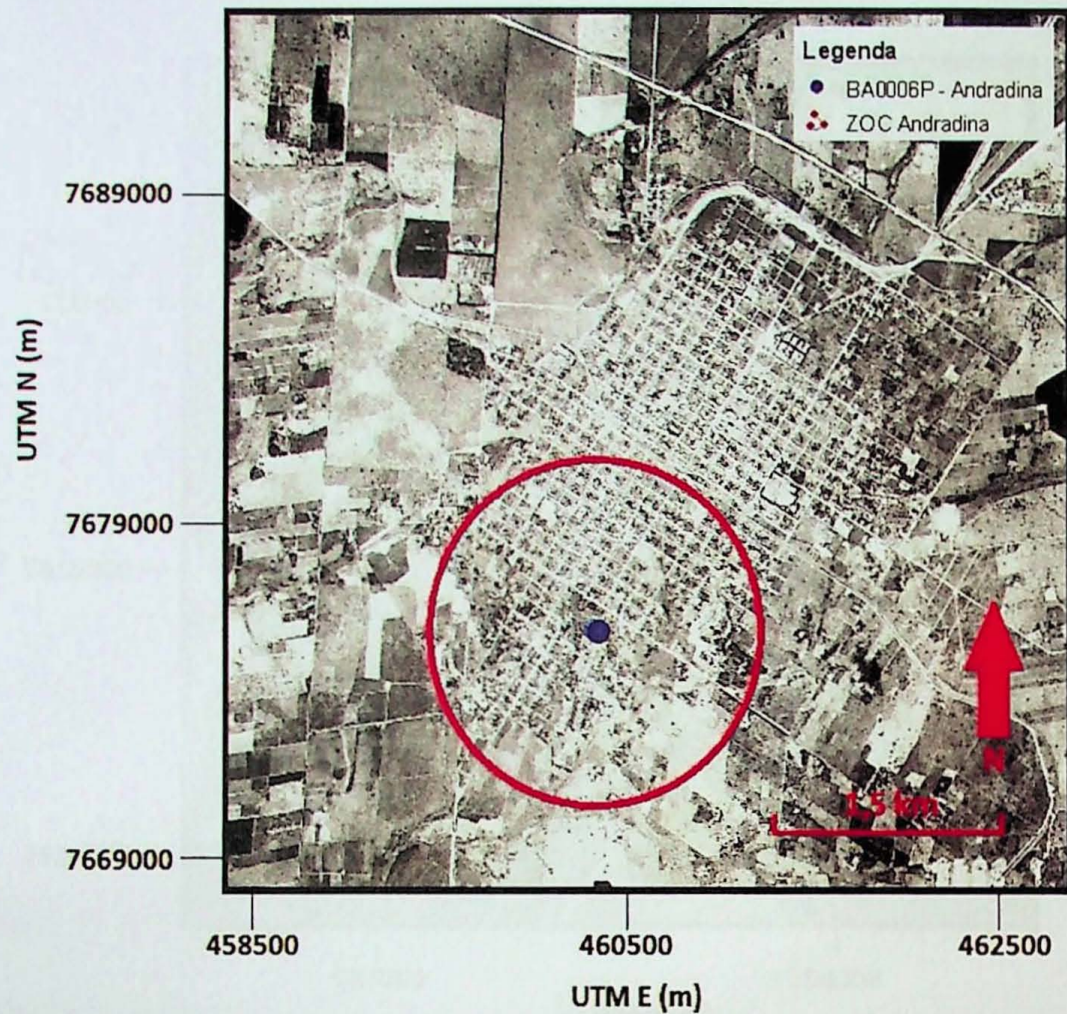
Aquífero	Ponto CETESB	Município	RFC (50 anos) (m)	Q (m ³ /d)	b (m)	k (m/d)	i	n _{ef} (%)	Recarga (mm/ano)	Prof. (m)	Nível Estático (m)	Prof.de Captação (m)	UTM N	UTM E	Variação
Bauru	BA0006P	Andradina	799	1032	94	1,5	0,03	0,1	250	105	26	54 a 102	7687350	459600	Incremento
	BA0023P	Cajobi	608	312	49	1,5	0,03	0,1	250	112	63	5 a 112	7693900	729750	Diminuição
	BA0028P	Clementina	405	144	51	1,5	0,03	0,1	250	94,5	33	22 a 84	7615650	557350	Incremento
	BA0040P	Flórida Paulista	450	384	110	1,5	0,03	0,1	250	200	14	81 a 195	7609600	482250	Incremento
	BA0052P	Inúbia Paulista	394	432	162	1,5	0,03	0,1	250	220	42	70 a 204	7592750	504050	Estável
	BA0059P	Jales	593	744	123	1,5	0,03	0,1	250	145	19	36 a 142	7759100	547675	Incremento
	BA0076P	Murutinga do Sul	365	264	115	1,5	0,03	0,1	250	140	15	35 a 130	7678650	471750	Diminuição
	BA0079P	Nova Independência	767	960	79	2	0,02	0,12	250	91	7	32 a 86	7665750	449100	Incremento
	BA0203P	Pompéia	314	168	99	1	0,04	0,1	250	259	134	52 a 233	7555540	584827	Diminuição
BA0127P	São José do Rio Preto	628	312	46	1,5	0,03	0,1	250	68	22	28 a 68	7695940	668800	Incremento	

Q: vazão; b: espessura saturada; k: condutividade hidráulica; i: carga hidráulica; n_{ef}: porosidade efetiva.

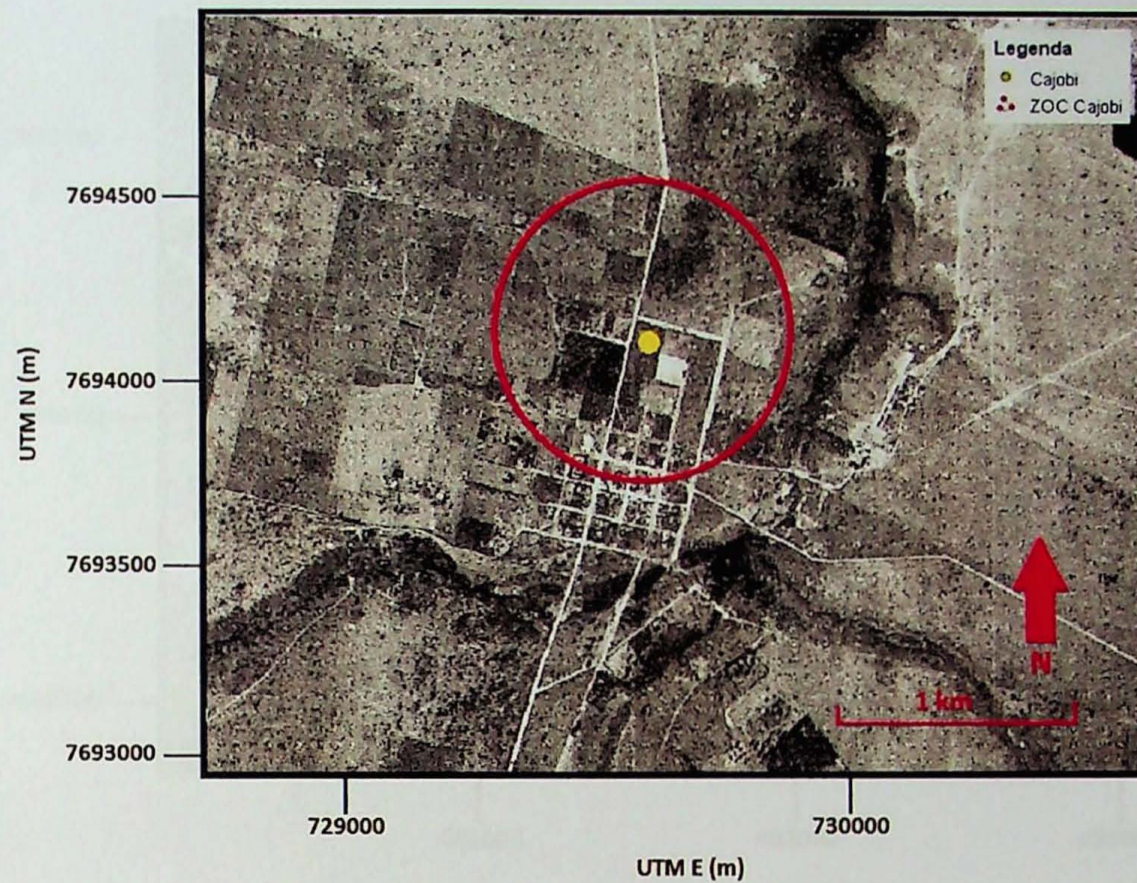
ANEXO IV. Fotografías aéreas de 1962

Fotos aéreas manipuladas de 1962, da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo.

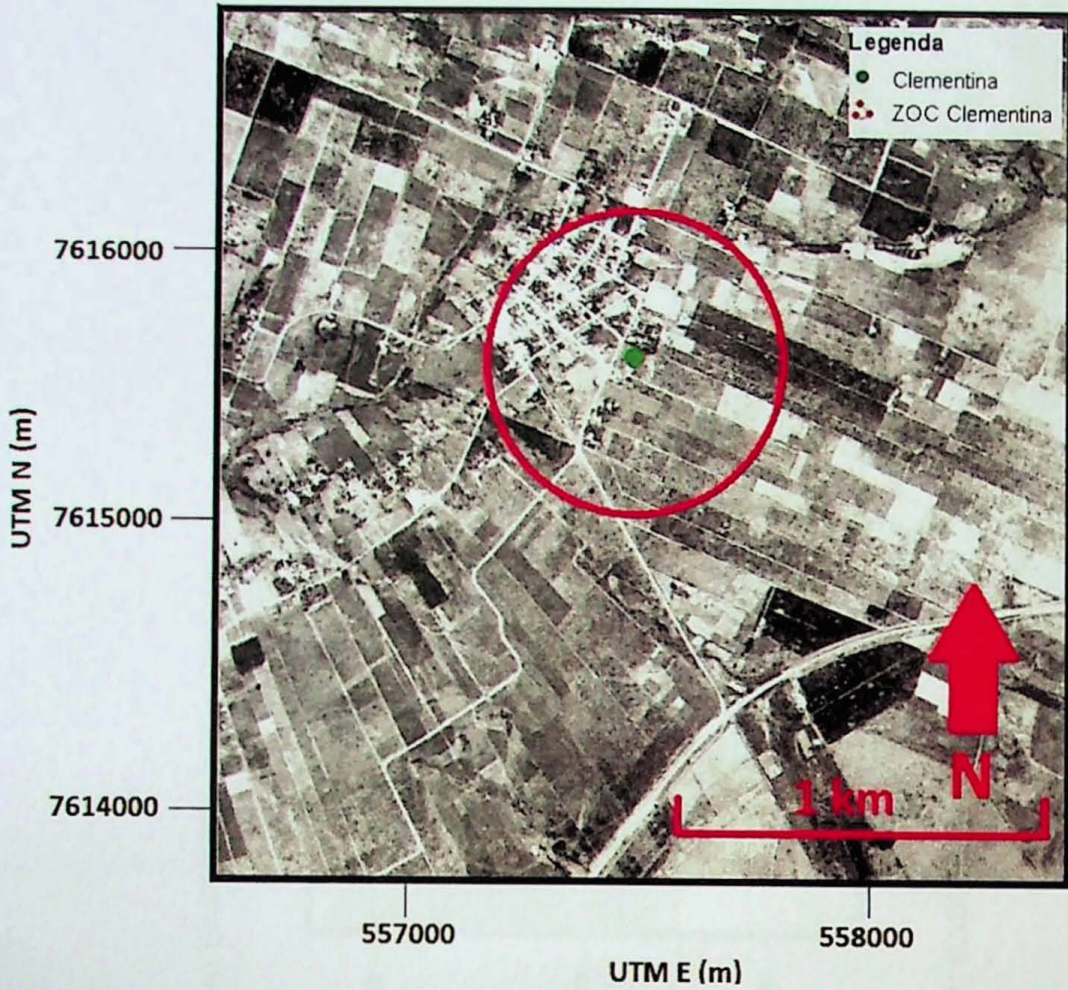
a) BA0006P – Andradina;



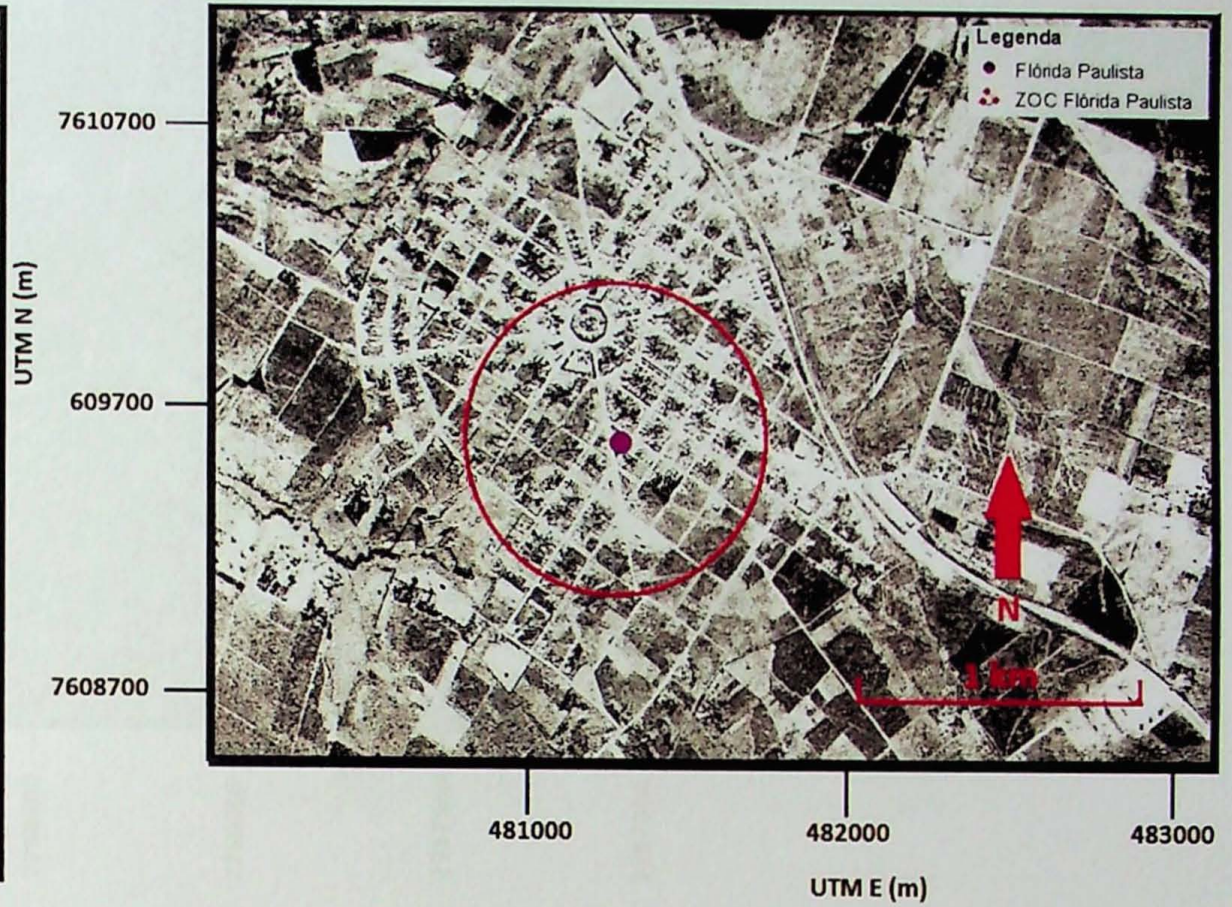
b) BA0023P – Cajobi;



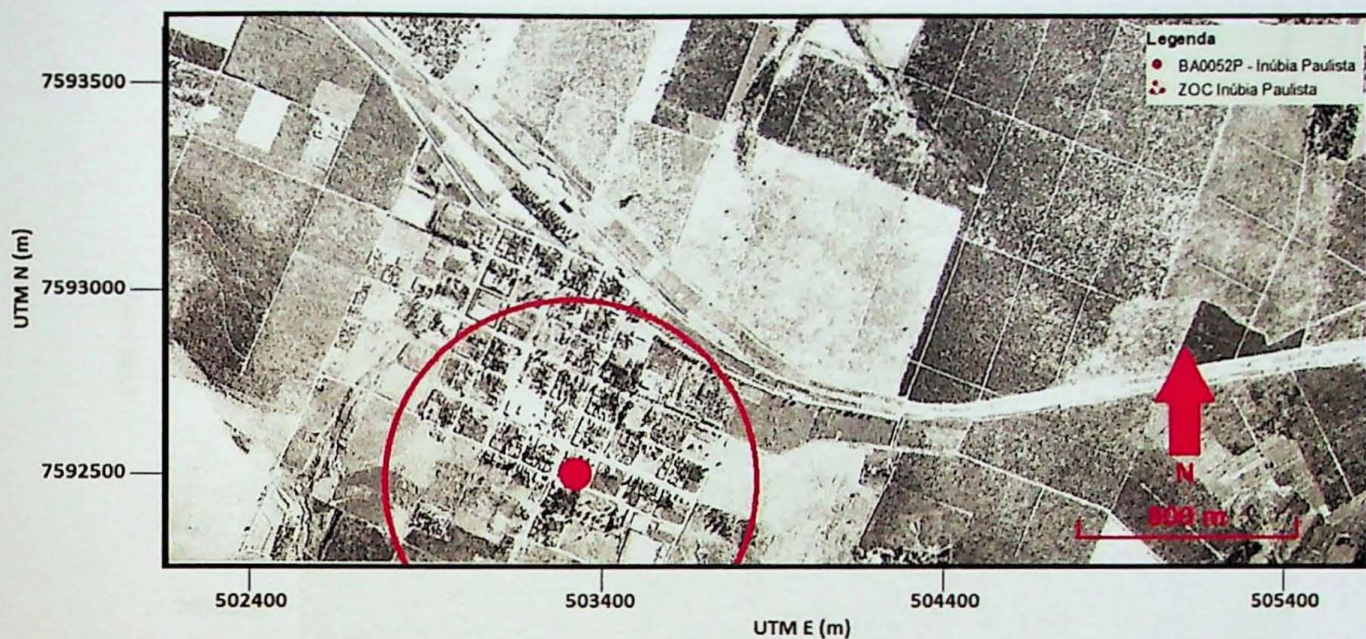
c) BA0028P – Clementina;



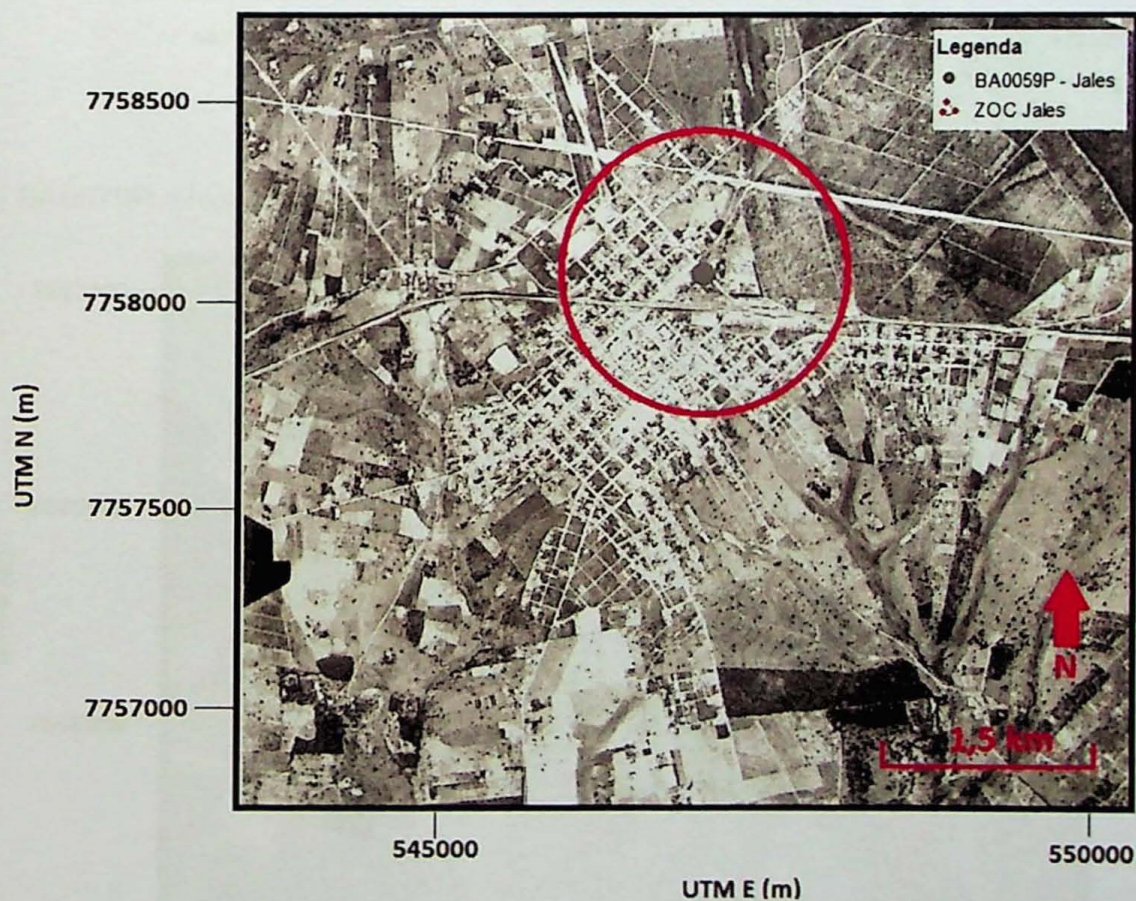
d) BA0040P – Flórida Paulista;



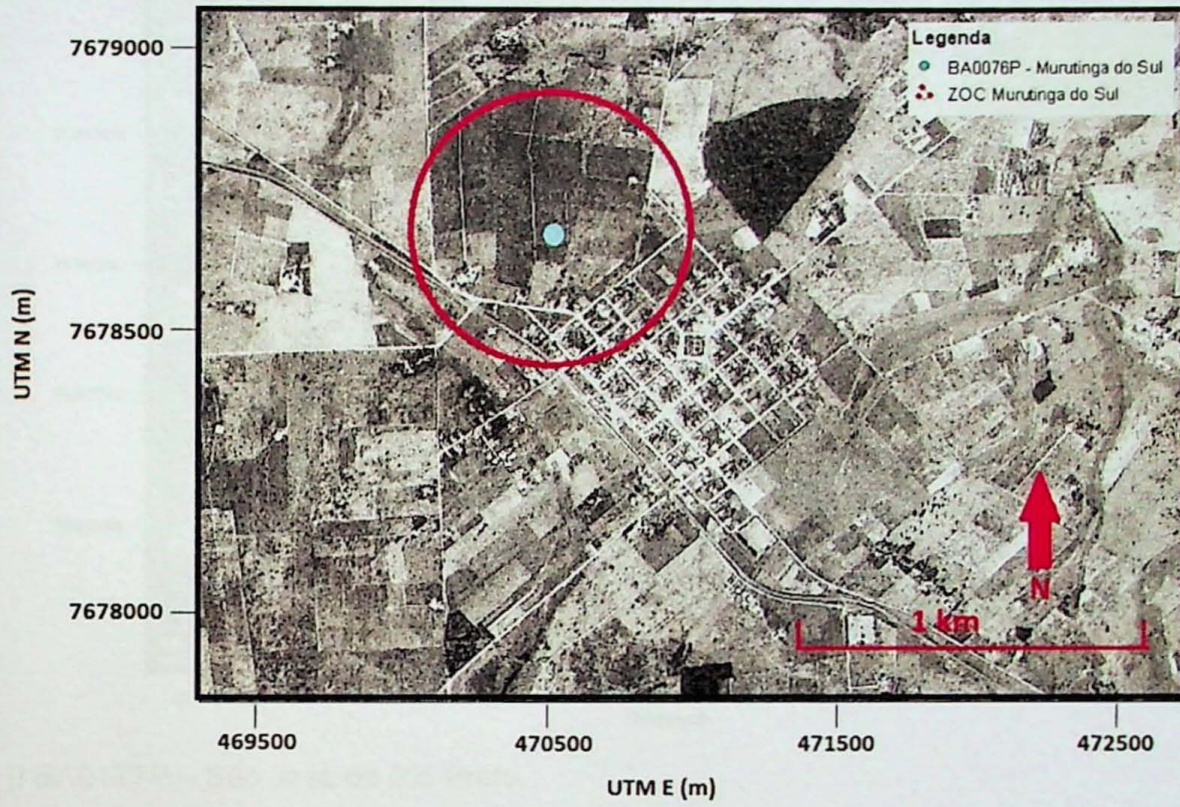
e) BA0052P – Inúbia Paulista;



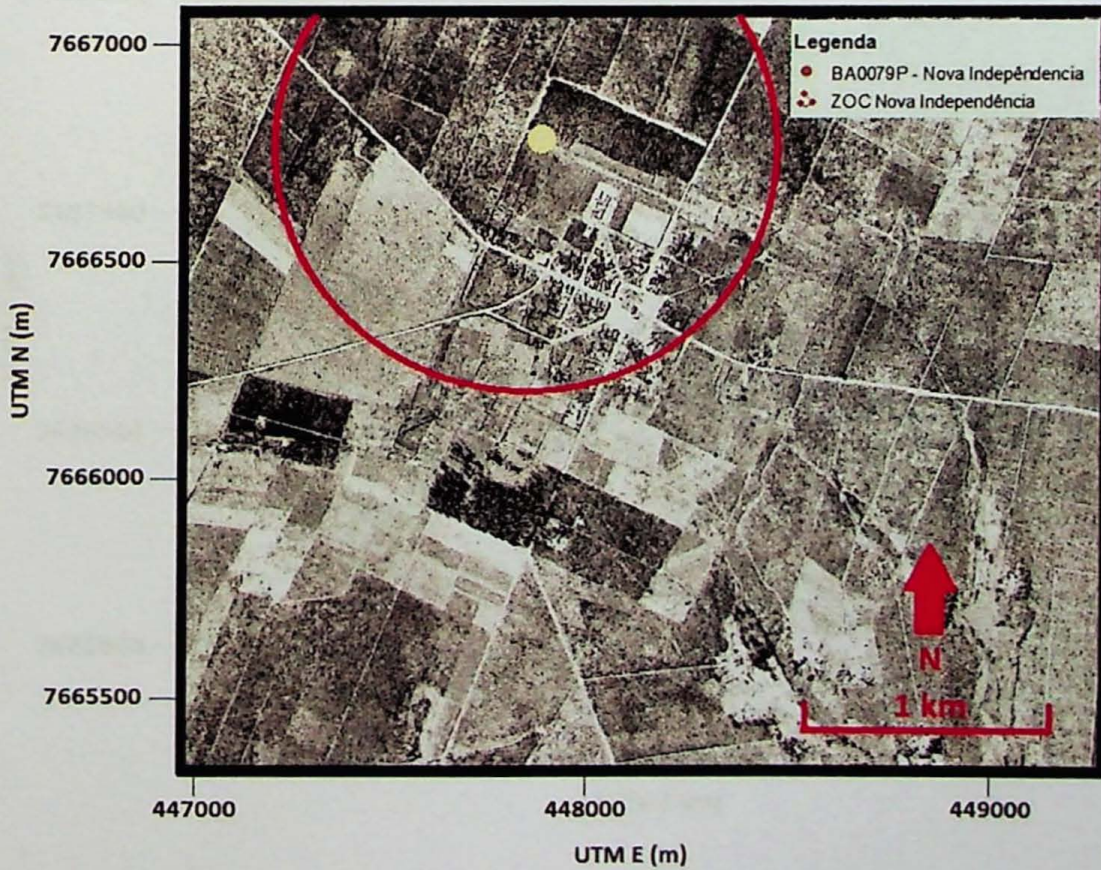
f) BA0059P – Jales;



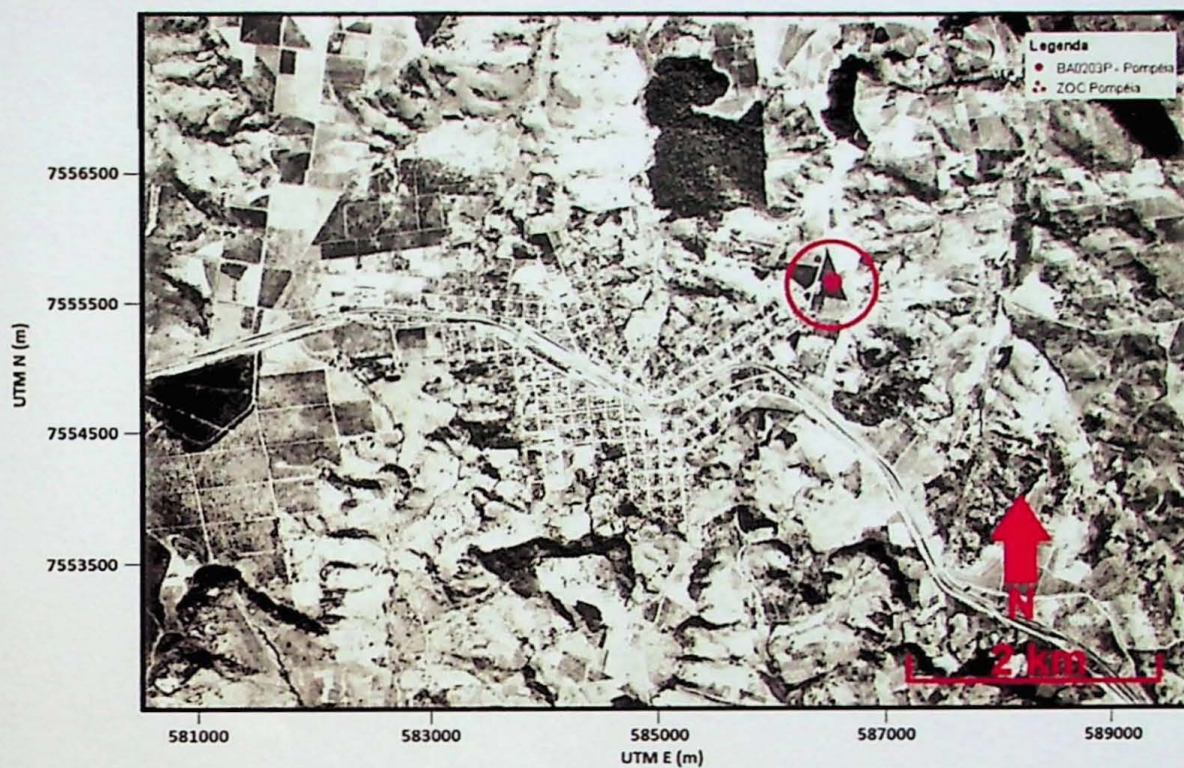
g) BA0076P – Murutinga do Sul;



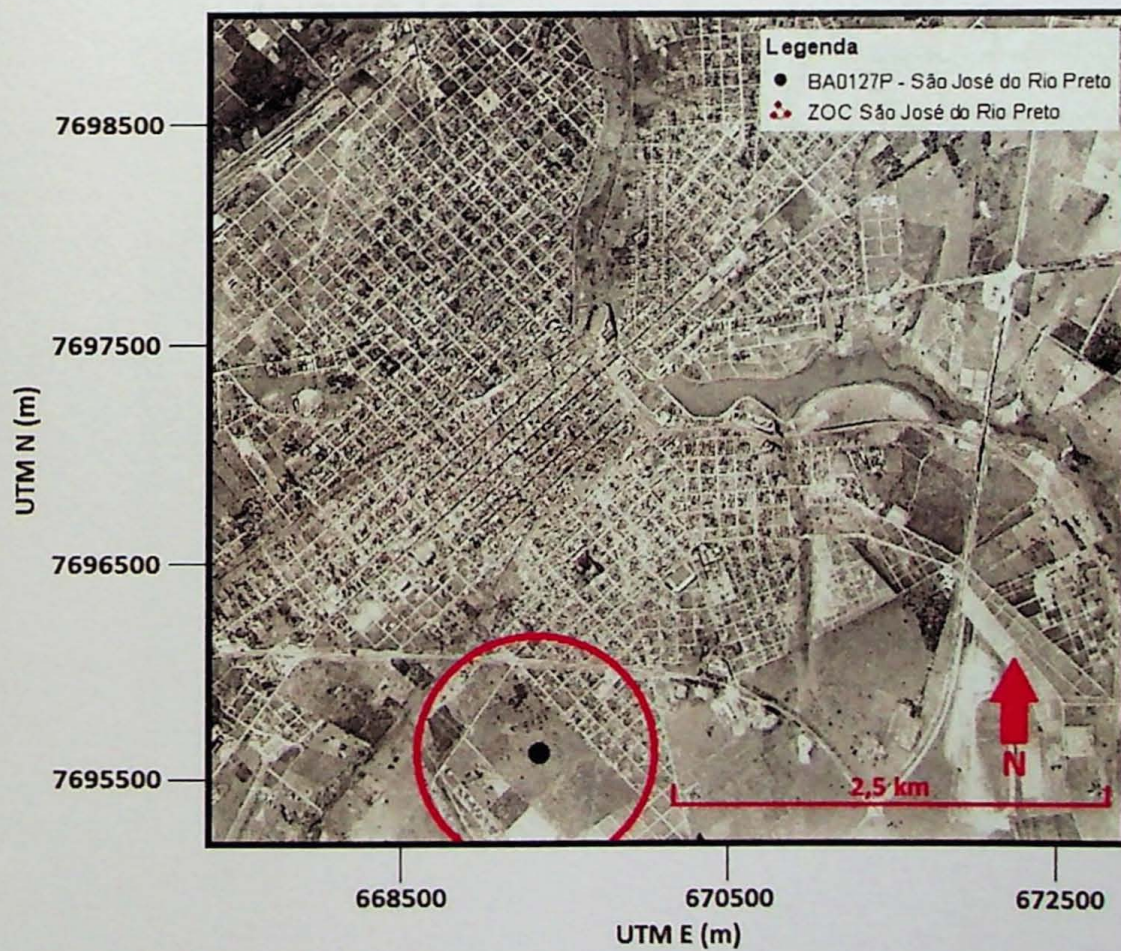
h) BA0079P – Nova Independência;



i) BA0203P – Pompéia;

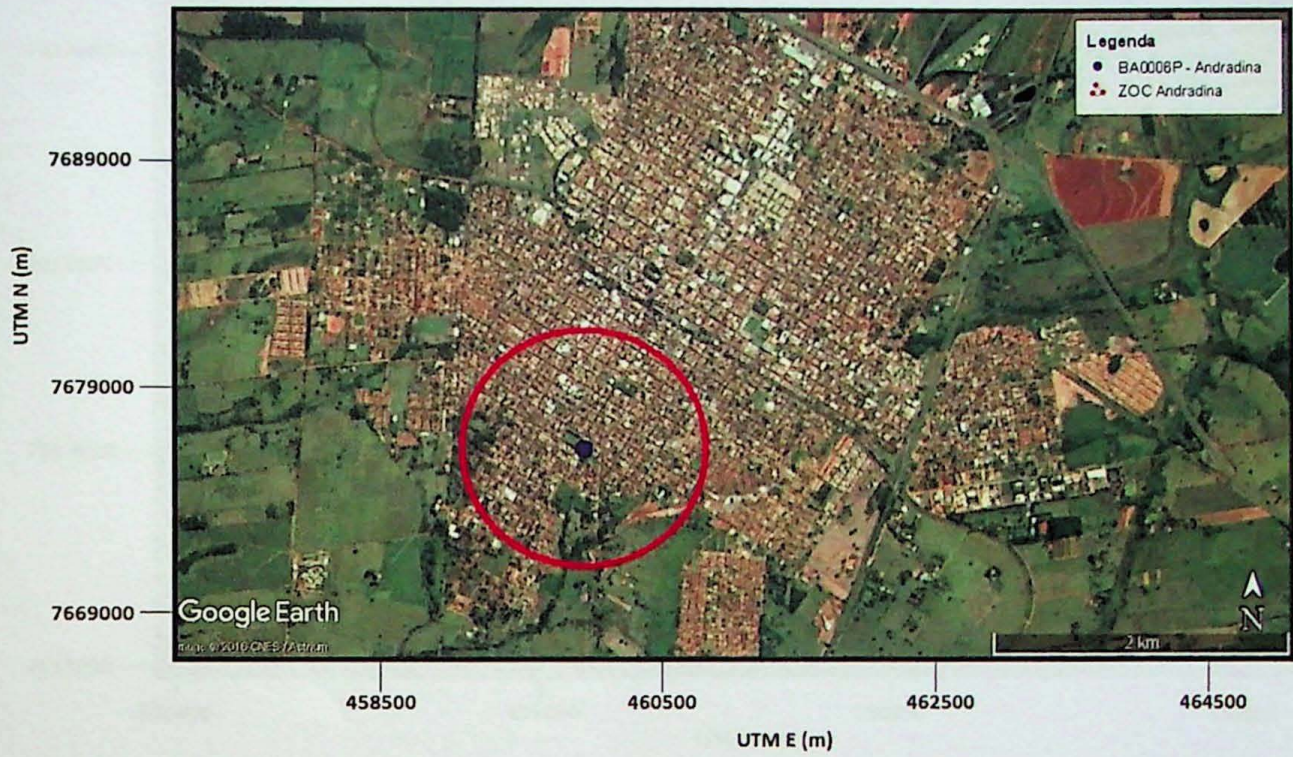


j) BA0127P – São José do Rio Preto.

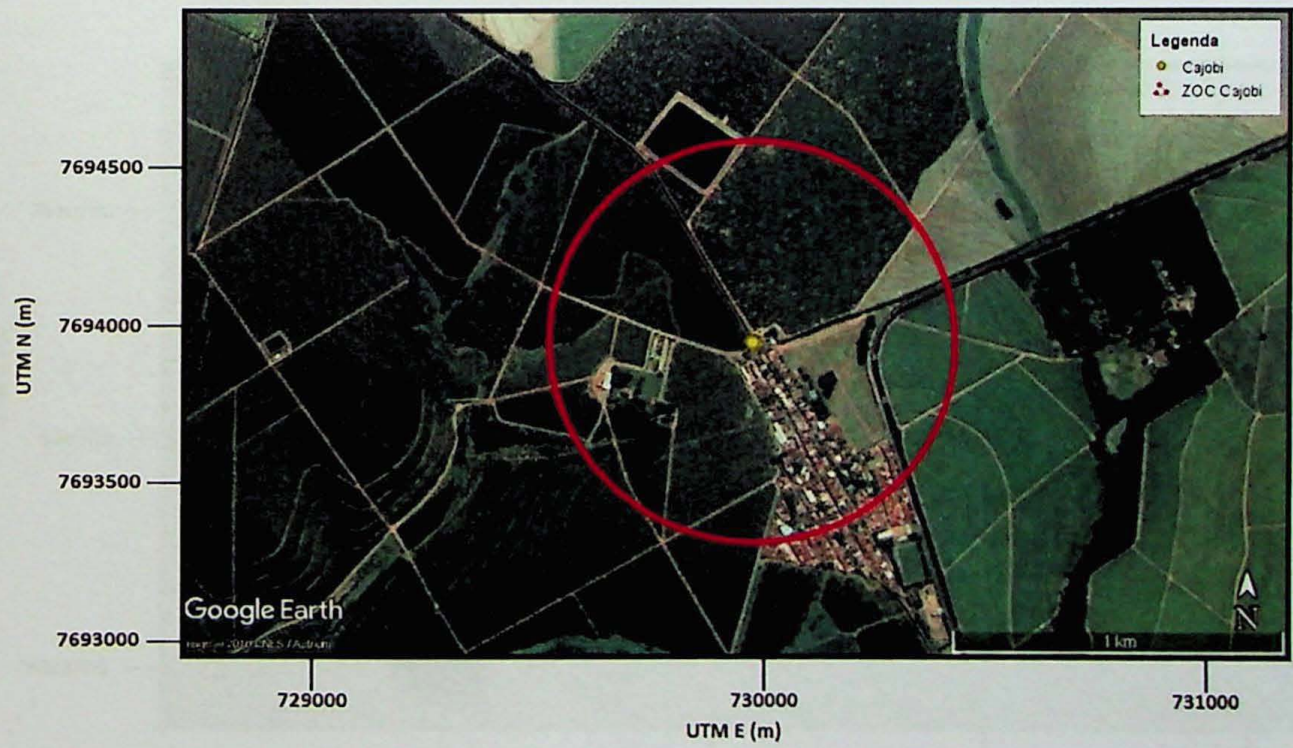


ANEXO V. Imagens de satélite 2016

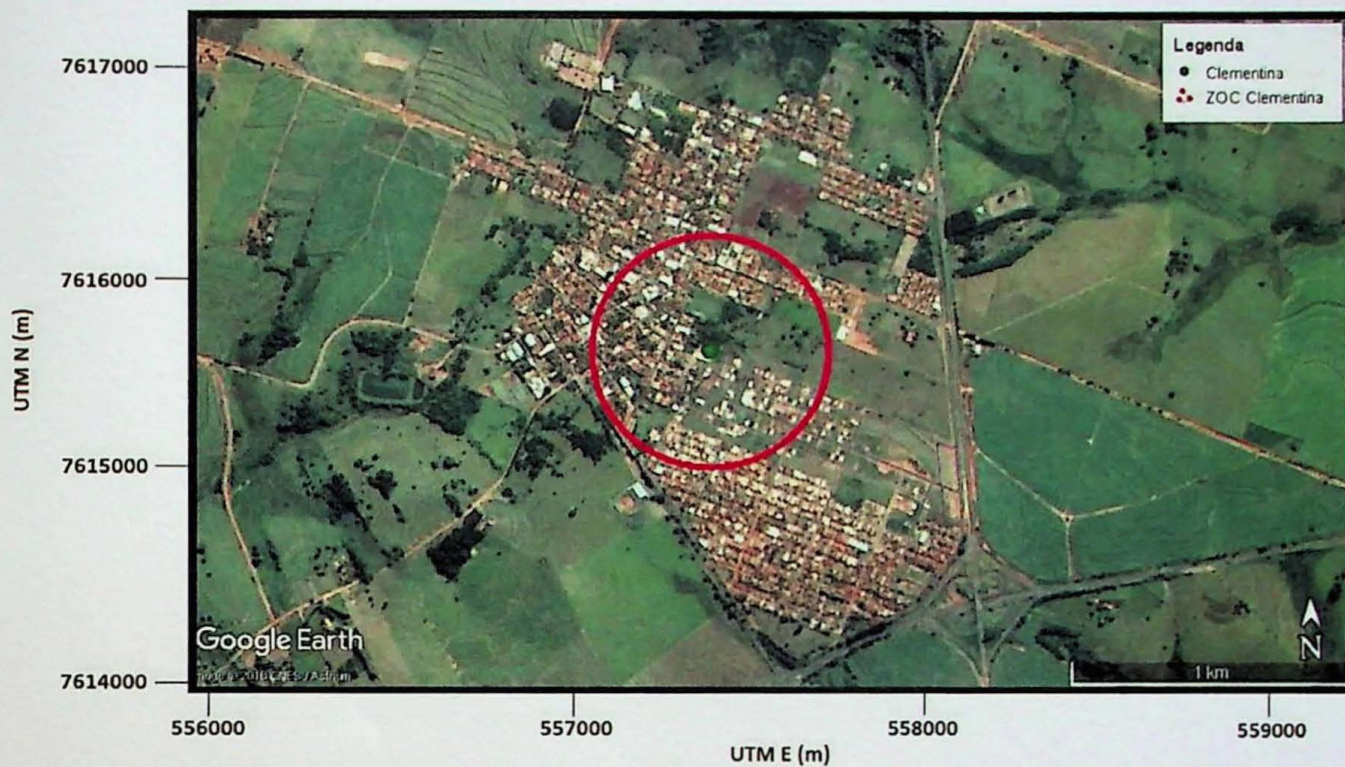
a) BA0006P – Andradina;



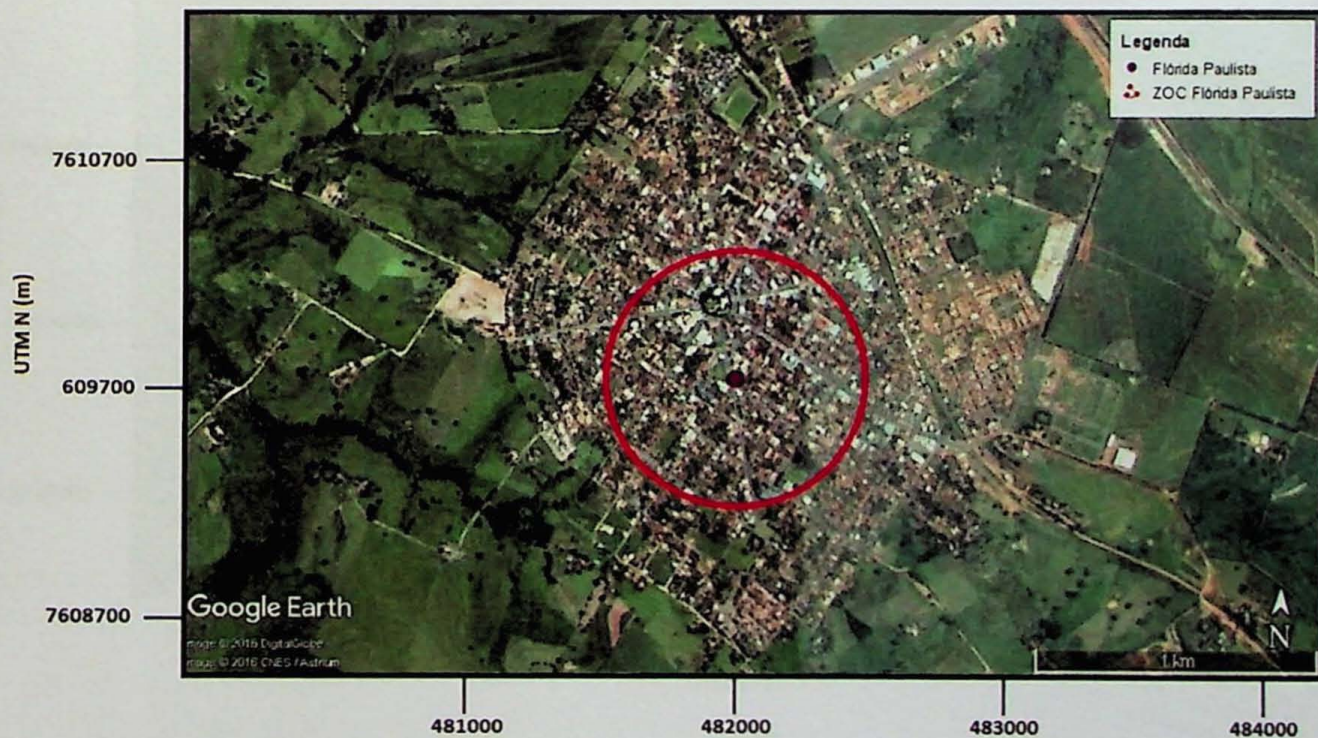
b) BA0023P – Cajobi;



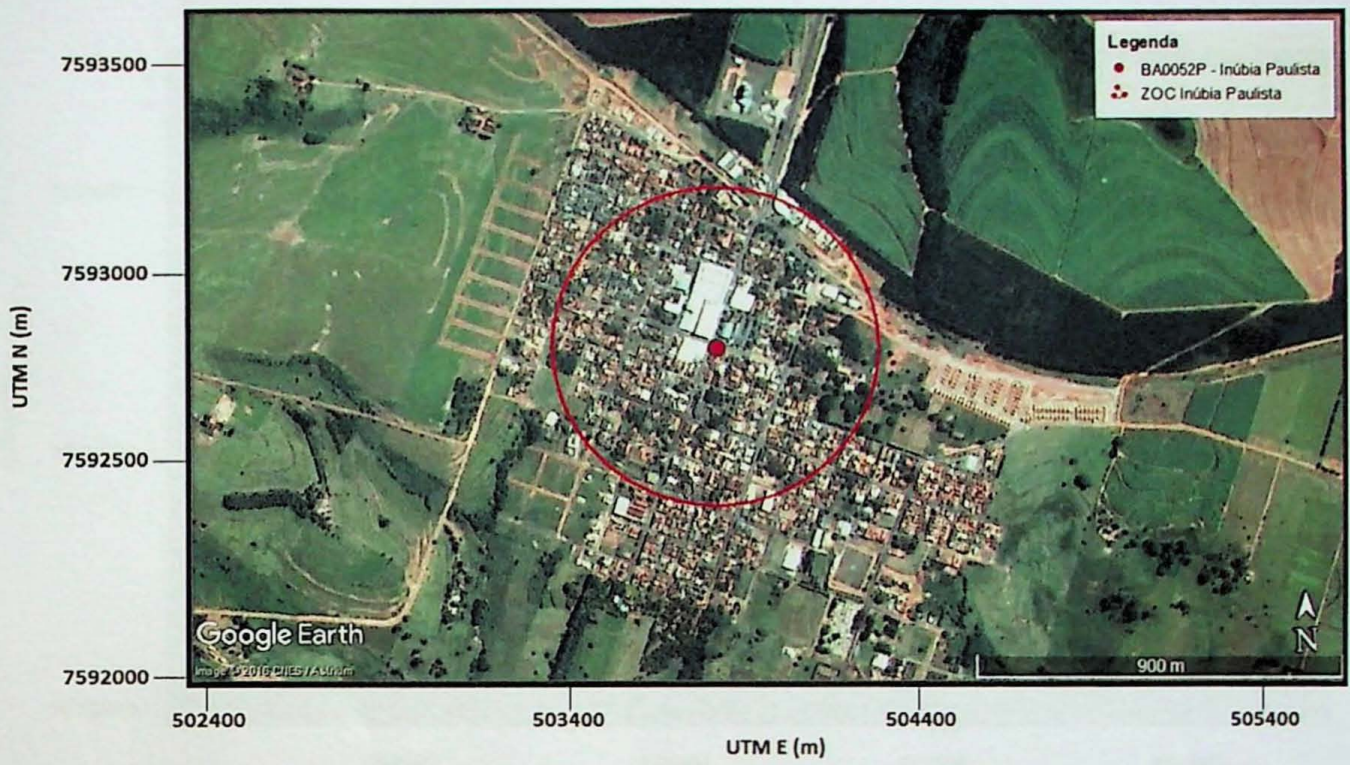
c) BA0028P – Clementina;



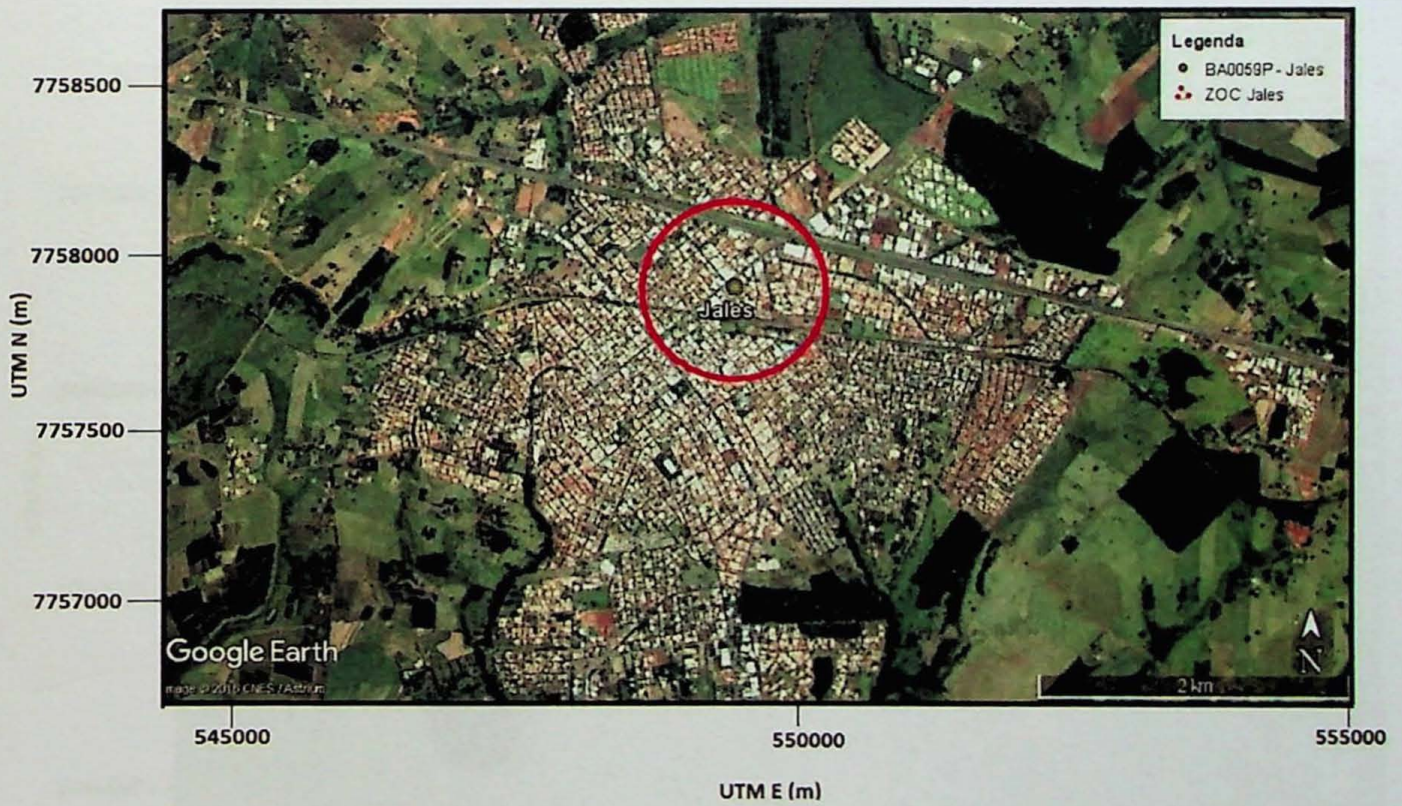
d) BA0040P – Flórida Paulista;



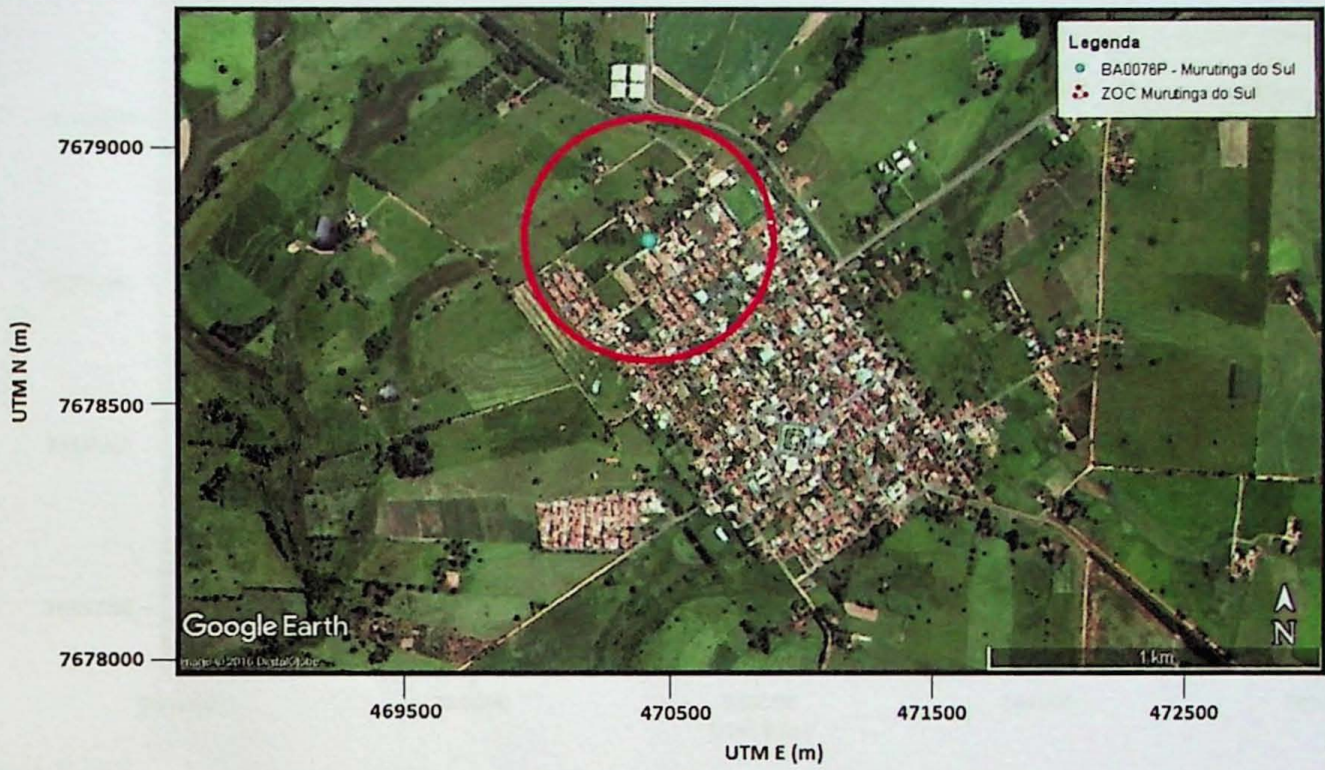
e) BA0052P – Inúbia Paulista;



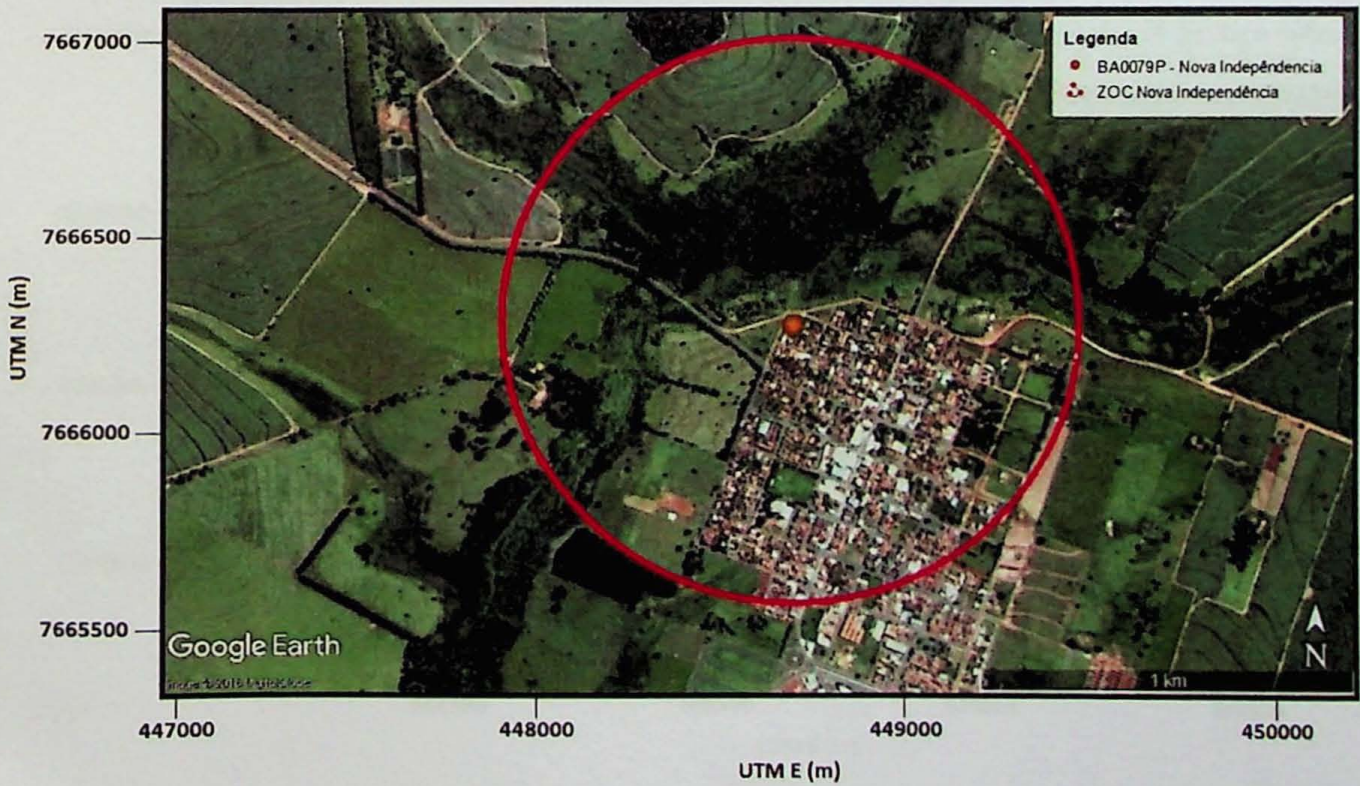
f) BA0059P – Jales;



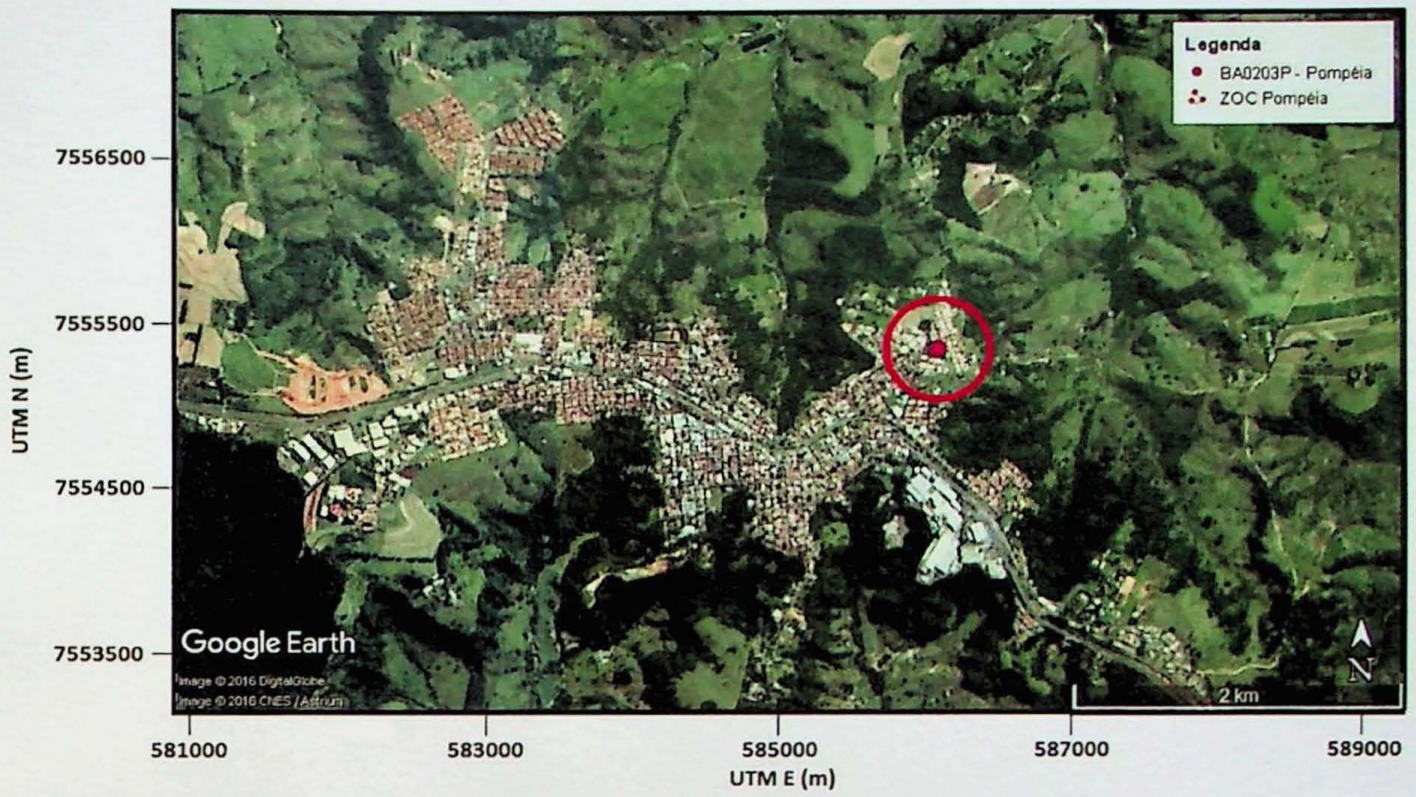
g) BA0076P – Murutinga do Sul;



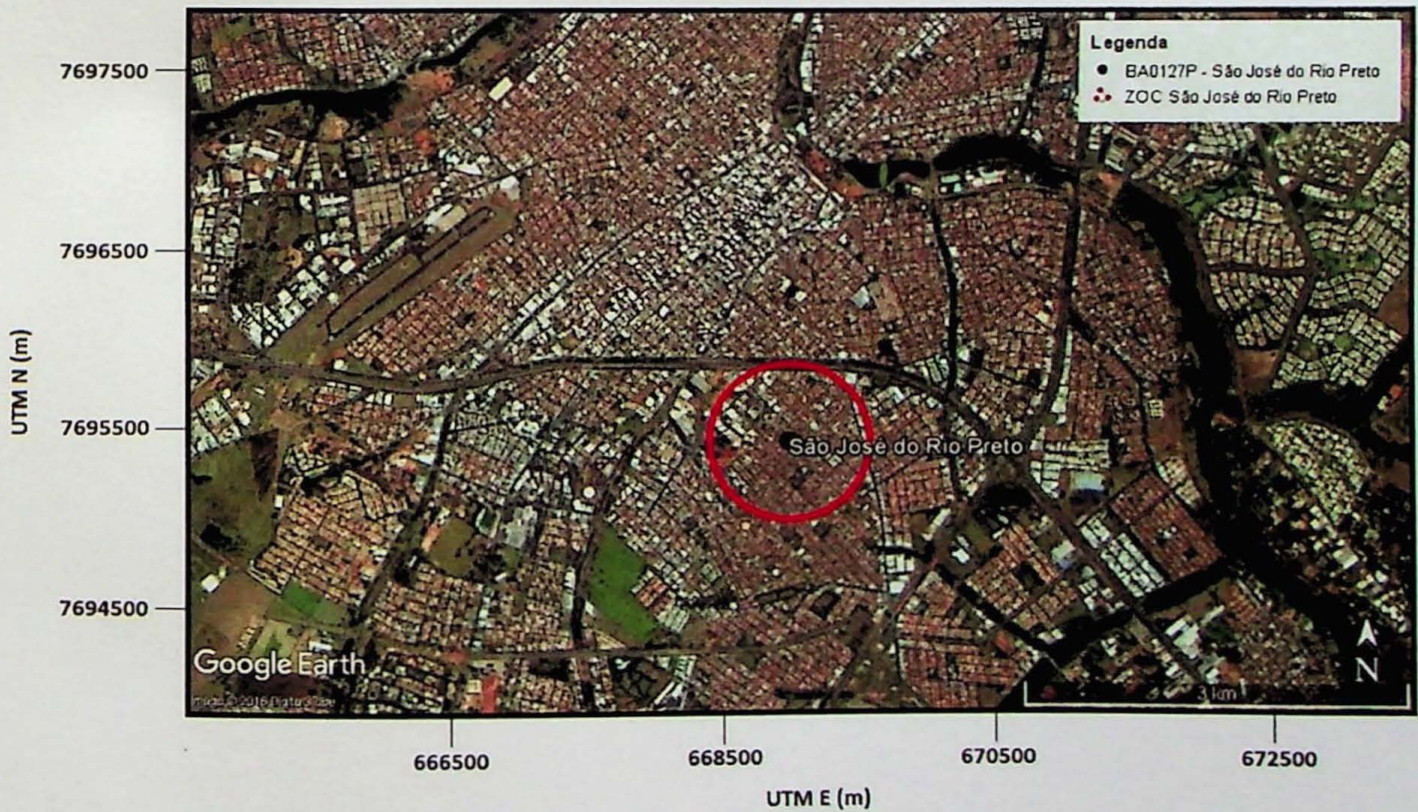
h) BA0079P – Nova Independência;



i) BA0203P – Pompéia;



j) BA0127P – São José do Rio Preto.



DOAÇÃO *Graduação*
IGe

Data: *29 03 / 18*

