

**INTEGRAÇÃO ENTRE ÁREAS DE PROTEÇÃO DE POÇOS,
VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS E USO E COBERTURA DO SOLO
COMO PLANO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS:
Um Estudo de Caso dos Poços de Seropédica/RJ**

Talissa Miraⁱ

Gabriel Lousadaⁱⁱ

Décio Tubbs Filhoⁱⁱⁱ

Gustavo Mota de Sousa^{iv}

Resumo: A crescente exploração de águas subterrâneas vem se tornando um problema cada vez maior com o desenvolvimento das cidades. As leis que regulamentam a proteção dos poços necessitam de uma atualização de forma a evitar a contaminação deste recurso. Este trabalho propõe um plano de gestão através da integração das áreas de proteção de poços, com mapas de vulnerabilidade do aquífero e do uso e cobertura do solo. O método do Raio Fixo Calculado integrado aos mapas mostrou-se bastante eficaz quando aplicado ao Aquífero Piranema.

Palavras-chave: Raio fixo calculado, área de proteção de poços e proteção de água subterrânea.

**INTEGRATION BETWEEN WELLHEAD PROTECTION AREAS, AQUIFER
VULNERABILITY AND USE AND LAND COVER
AS A WATER RESOURCE MANAGEMENT PLAN:
A CASE STUDY OF THE SEROPÉDICA'S WELLHEAD**

Abstract: Uncontrolled exploitation of groundwater has been an usual problematic consequence of urban development. Wellhead protection laws need to be brought up to date in order to prevent contamination of that important resource. This paper suggests a strategy for the preservation of groundwater through the integration of wellhead protection areas with maps of aquifer vulnerability and land cover and use. The Calculated Fixed Radius method integrated with the maps was effective when applied to the Piranema Aquifer.

ⁱ Mestranda em Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Contato: talissatmt@hotmail.com.

ⁱⁱ Doutorando em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Contato: gabriel.lousada@gmail.com

ⁱⁱⁱ Professor, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Contato: dtubbs@uol.com.br.

^{iv} Professor, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Contato: gustavobond@gmail.com.

Keywords: Calculated Fixed Radius, wellhead protection areas and groundwater protection.

**INTEGRACIÓN ENTRE ÁREAS DE PROTECCIÓN DE POZOS,
VULNERABILIDAD DE ACUIFEROS Y USO Y LA CUBIERTA DEL SUELO
COMO PLAN DE GESTIÓN DE RECURSOS DE AGUA:
UN ESTUDIO DE CASO DE POZOS DE SEROPÉDICA / RJ**

Resumen: La creciente explotación de las aguas subterráneas está convirtiéndose en un problema cada vez más evidente con el desarrollo de las ciudades. Las leyes que rigen la protección de los pozos requieren una actualización para evitar la contaminación de este recurso. Este trabajo propone una estrategia para la conservación de las aguas subterráneas a través de la integración de las áreas de protección de pozos con mapas de vulnerabilidad del acuífero y del uso y cobertura del suelo. El método de radio fijo calculado integrado con mapas muestra ser eficaz, al ser aplicado al acuífero Piranema.

Palabras clave: Radio fijo calculado, área de protección de pozos y protección del agua subterránea.

1. Introdução

As áreas de proteção de poços são uma estratégia baseada em estudos hidrogeológicos que podem complementar um plano de gestão de recursos hídricos a nível municipal e estadual, limitando nas proximidades de poços de exploração de água certas atividades potencialmente contaminantes e que podem prejudicar a qualidade e integridade deste recurso. A adoção das áreas de proteção de poços é de interesse ambiental e de saúde pública tanto quanto uma questão econômica. Do ponto de vista ambiental, o objetivo é proteger o aquífero e a água subterrânea de possíveis desastres causados por atividades humanas. O cuidado com a saúde pública é devido à ingestão de água contaminada, podendo causar doenças em toda a população que a utiliza. Por fim, do ponto de vista econômico, existe a preocupação com os gastos gerados pela remediação de uma dada contaminação e a procura por uma fonte alternativa de água.

Embora a implementação das áreas de proteção de poços esteja prevista por lei em alguns estados brasileiros, sua aplicação não faz parte da realidade do país. O estado do Rio de Janeiro possui em sua legislação uma lei sobre proteção às águas subterrâneas, porém, de forma incompleta e sem importantes explicações, sendo necessária a

complementação do Projeto de Lei do Estado do Rio de Janeiro nº 408/2011, o qual tornaria a legislação mais rígida em relação à proteção da qualidade das águas subterrâneas.

O município de Seropédica faz parte da região metropolitana do Rio de Janeiro e que, reconhecidamente, apresenta sérios problemas socioambientais pela falta de saneamento e infraestrutura básica. Nos últimos anos, a região apresentou uma rápida e desordenada expansão territorial motivada por grandes investimentos na região da baía de Sepetiba e pela construção do Arco Metropolitano que liga a refinaria de petróleo do COMPERJ ao porto de Itaguaí. Essas características associadas à recente crise hídrica no sudeste motivaram a expansão do uso das águas subterrâneas através da perfuração de um número indeterminado de poços profundos. A região em que se localiza o município está inserida no contexto do “Aquífero Piranema”, que em diversos locais apresenta elevada vulnerabilidade e significativo risco de contaminação, tornando fundamental a implantação das áreas de proteção de poços.

A delimitação destas áreas de proteção de poços pode ser feita através de alguns métodos. Entretanto, para o presente estudo de caso foi escolhido o método do Raio Fixo Calculado (RFC) (ITGE, 1991) por ser de baixo custo, exigir dados que eram acessíveis sobre os poços d’água e porque pode ser utilizado como medida de proteção inicial em áreas onde não há qualquer plano de gestão, como é o caso de Seropédica. O que se propõe é um plano de ação para suprir a ausência de diretrizes previstas por lei para a preservação dos recursos hídricos de uma região. Tal plano de ação baseia-se em etapas relativamente simples e de baixo custo, mas que podem ser fundamentais em regiões onde nenhuma outra medida para proteção dos poços esteja em vigor.

2. Caracterização da área de estudo

A área de estudo é representada pelo município de Seropédica, localizado na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro, no sudeste do Brasil. A cidade faz parte da Baixada Fluminense e ocupa uma área de 283.794 Km² e tem passado por grandes

mudanças de infraestrutura que viabilizam uma considerável expansão urbana e desenvolvimento industrial.

Muitos dos investimentos em infraestrutura e industriais que vêm sendo implantados na região estão ligados à construção do Arco Metropolitano, que liga o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) ao porto de Itaguaí e à expansão deste mesmo porto. Como consequência, outros processos econômicos e sociais desencadeiam-se pela geração de empregos e condições mínimas de habitação.

Ao passo que a área de Seropédica vem sendo ocupada e urbanizada e sua população aumenta de forma bastante rápida, os investimentos em infraestrutura e planejamento urbano não ocorrem na mesma velocidade e intensidade, gerando problemas tanto sociais quanto ambientais. Um exemplo é a falta de saneamento básico. É neste contexto que se insere a preocupação ambiental com o Aquífero Piranema, que se localiza na subsuperfície da região de Seropédica. As águas subterrâneas do Aquífero Piranema representam um importante recurso para toda a região de influência direta, bem como para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, porém ações antrópicas como o excessivo bombeamento de água pelos moradores e a extração areeira em suas áreas de abrangência vem influenciando na variação de seu lençol freático e na possível contaminação das águas. Outra atividade potencialmente contaminante na região é o Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa, instalado em 2011, tornando alto o risco de contaminação do Aquífero Piranema caso ocorra vazamento do chorume.

A extração de areia ao longo da Reta de Piranema (RJ-099) configura uma atividade econômica que vem progressivamente acarretando um sério problema ambiental que atinge tanto Seropédica quanto Itaguaí. O polo de extração mineral em ambiente de cava submersa é o maior do Estado, abastecendo a indústria da construção civil da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Entretanto, muitas das empresas areeiras atuam ilegalmente ou com registros e permissões vencidos, sendo ausente também qualquer preocupação com o meio ambiente e a preservação da qualidade da água subterrânea (ALCÂNTARA, 2014).

A condição local estratégica da região abrangida pelo município de Seropédica é favorável ao seu crescimento econômico, entretanto, para que haja um

desenvolvimento equilibrado e sustentável deve-se levar em consideração o suporte geográfico onde as transformações possam ocorrer sem causar danos à sua integridade ambiental.

3. Revisão conceitual

Vulnerabilidade de Aquíferos - A vulnerabilidade de um aquífero depende das suas propriedades físicas, bem como de sua sensibilidade à impactos naturais e àqueles causados pelo homem. A ideia da vulnerabilidade baseia-se no fato de que o contexto físico dos aquíferos oferece certo grau de proteção às águas subterrâneas contra contaminações de diversas origens.

Segundo FOSTER (1987) e FERREIRA (1998), vulnerabilidade é diferente de risco de contaminação. O risco depende não só da vulnerabilidade, mas também da atividade humana como, por exemplo, a existência de cargas contaminantes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo.

Área de Proteção de Poços - A área de proteção de um poço é uma região geograficamente estabelecida com base em dados hidrogeológicos, para proteger contra ou pelo menos diminuir os riscos de contaminação da água subterrânea captada por determinado poço, garantindo sua qualidade para uso humano. Essa área é subdividida em zonas que são nomeadas e posicionadas de acordo com o tempo de trânsito, ou viagem, da água subterrânea e, conseqüentemente, da carga contaminante. Alguns autores como ADAMS e FOSTER (1992), FOSTER e SKINNER (1995) e FOSTER *et al.* (2003), avaliando a experiência de diversos países, sugerem a divisão da área total de proteção em 3 a 4 zonas. As principais zonas utilizadas pela maioria dos países são definidas de acordo com a distância em metros a partir do poço, com base no tempo de trânsito da água subterrânea/contaminante em dias e anos e podem ser divididas de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Principais zonas utilizadas em áreas de proteção de poços.

Adaptado de Adams e Foster (1992), Foster e Skinner (1995) e Foster et al. (2003).

	Definição	Características
Zona Operacional do Poço	Envolve toda a área ao redor da obra de captação; qualquer contaminação leva poucas horas para atingir a água.	Raio ideal de até 20 metros (Wahnfried e Hirata, 2005); precisa ser protegida por tela e o chão coberto por laje de cimento.
Zona de Proteção Microbiológica	Protege contra a ação microbiológica que ocorre nos aquíferos devido à água residual e esgoto, permitindo a proliferação de parasitas, bactérias e vírus patógenos que são causadores de doenças.	O raio é definido pelo tempo de trânsito da água na zona saturada do aquífero, sendo geralmente usado o tempo entre 10 e 100 dias, tempo médio de sobrevivência dos micro-organismos na água.
Zonas de Proteção à Longo Prazo	Objetiva a proteção à longo prazo visando o tempo necessário para remediação de acidentes que envolvam contaminantes químicos; o número das zonas é arbitrário.	O raio é definido pelo tempo de trânsito da água em anos; a escolha do tempo é arbitrária e depende do gestor, podendo ser, por exemplo, de 5 e 10 anos.
Zona Total de Captura do Poço	Abrange toda a área de água subterrânea que abastece o poço, ou seja, nessa área a proteção do poço seria total.	Devido ao intenso desenvolvimento urbano, é praticamente impossível delimitar e proteger uma área tão grande em regiões bastante habitadas.

Atualmente existem muitos métodos de determinação de áreas de proteção de poços, sendo os mais citados na literatura os métodos geométricos (Raio Fixo Arbitrário e Raio Fixo Calculado), analíticos (Fluxo Uniforme ou Método de Wyssling) e Modelagem

Matemática. Estes variam em preço, confiabilidade e disponibilidade de dados. O método escolhido para este estudo foi o do Raio Fixo Calculado que, apesar de sua baixa confiabilidade, mostrou-se adequado para a aplicação no município de Seropédica, devido à disponibilidade de dados, às características físicas do Aquífero Piranema e à geomorfologia da região.

O método do Raio Fixo Calculado baseia-se em uma abordagem geométrica em que é definido um círculo ao redor do poço. O raio deste círculo é estabelecido por uma equação analítica de fluxo volumétrico, sendo necessários dados do poço, tais como taxa de bombeamento, espessura da zona saturada e porosidade efetiva (Figura 1).

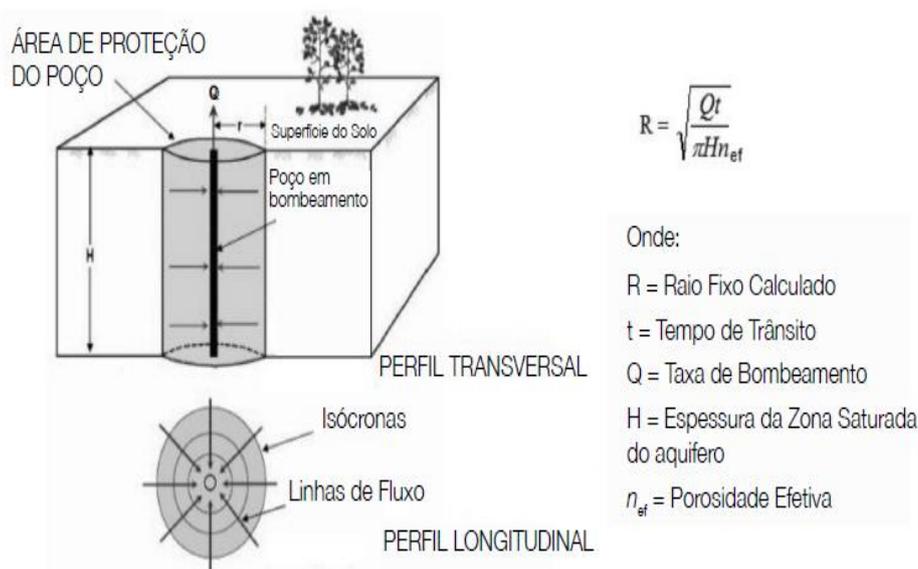


Figura 1. Delineação da área de proteção de poço utilizando o método do raio fixo calculado.

Fonte: Adaptado de USEPA (1994).

4. Metodologia

A determinação das áreas de proteção de poços seguida pela análise de acordo com o uso e cobertura do solo no município de Seropédica e a vulnerabilidade do Aquífero Piranema se deu segundo as etapas apresentadas no fluxograma abaixo (Figura 2).

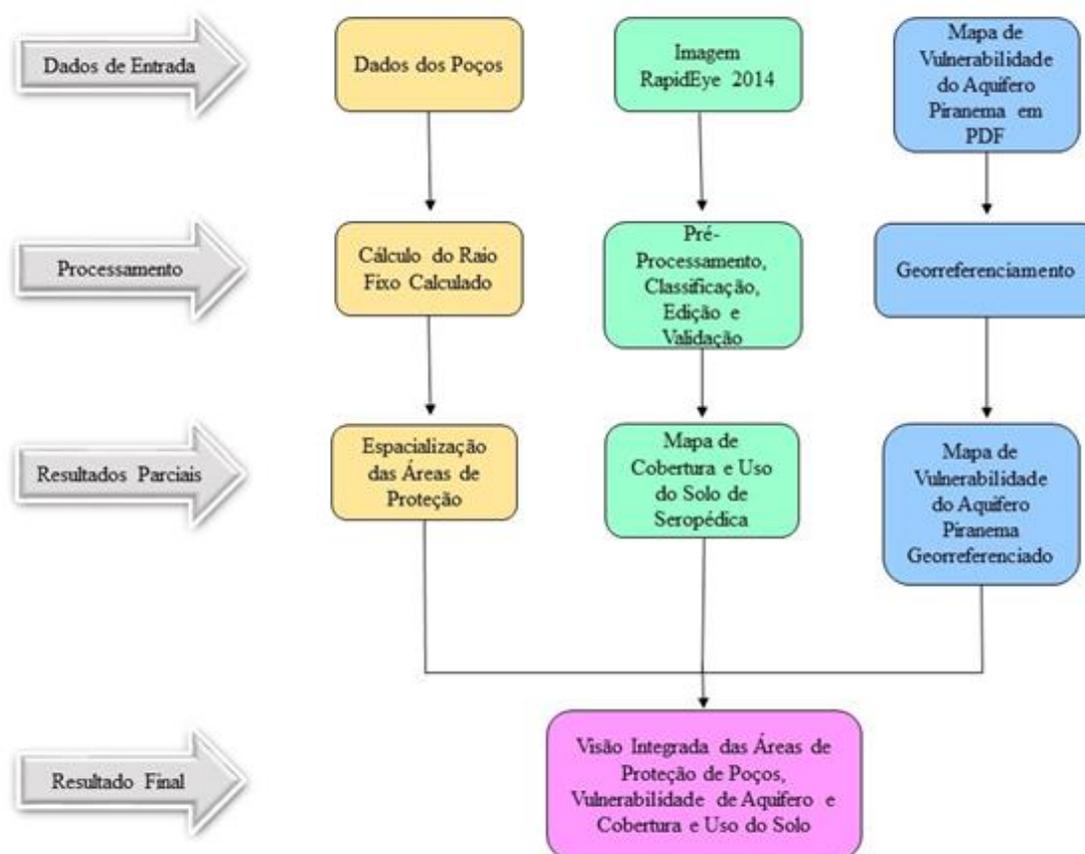


Figura 2. Fluxograma metodológico.

Mapeamento da Cobertura e Uso do Solo - O mapeamento de uso e cobertura do solo no município de Seropédica foi realizado a partir da classificação de duas cenas do sensor RapidEye de 2014 adquiridas gratuitamente pelo Geo Catálogo do Ministério do Meio Ambiente - MMA.

Na área que abrange o município de Seropédica foram encontradas classes de cobertura natural de vegetação densa, rasteira e os rios, e, como cobertura construída, enquadram-se os núcleos urbanos, seguindo as normas do IBGE (2006). Como atividades de uso do solo foram identificadas as classes de extração mineral de areia e a silvicultura (eucalipto).

Inicialmente foram executadas etapas de pré-processamento através da realização de correção atmosférica (*software Erdas Imagine 2014*, extensão *Atcor 2*), mosaicagem (*software ArcGis 10.1*, ferramenta *Mosaic to New Raster*) e extração da área da imagem

que contemple os limites do município (*software ArcGis 10.1*, ferramenta *Extract by mask*).

Para a realização da classificação, o processo utilizado foi o de “classificação supervisionada por regiões” (*software Envi 5.1*, ferramenta *Feature Extraction*). Após as configurações da segmentação, foi realizada uma varredura da imagem buscando por padrões para determinar as principais classes a serem usadas. De acordo com as características naturais e antrópicas do município de Seropédica, foram escolhidas as classes de vegetação densa, vegetação rasteira, eucalipto, solo exposto, água, lagoa de areal, urbano médio e urbano rarefeito. O algoritmo utilizado pela ferramenta *Feature Extraction* para a classificação foi o do “vizinho mais próximo” (KNN – K Nearest Neighbor).

O mapa foi produzido na escala de 1:25.000 e a área mínima escolhida para ser mapeada, objetivando a permanência de importantes detalhes da imagem, foi de 2.500 m², ou seja, 0,25 hectares. Após a criação do mapa de uso e cobertura do solo do município de Seropédica, foi realizada a sua validação para confirmar sua qualidade de classificação. Para tal, no *ArcGis 10.1*, foram plotados 30 pontos aleatórios para cada classe presente no mapeamento e com a aquisição destes pontos foi possível construir a matriz de confusão onde a classificação pôde ser confrontada com a interpretação visual. Posteriormente, foi calculado o índice de exatidão global e o índice Kappa que atingiram os valores de 0,84 e 0,811, respectivamente. O resultado do índice Kappa se enquadra dentro qualidade de classificação “excelente” segundo ROVEDDER (2007).

Cálculo das Áreas de Proteção de Poços - Para o cálculo dos raios foram necessárias informações específicas sobre os poços tubulares profundos do município de Seropédica. A vazão da água do poço (Q) em m³/dia foi obtida através de um banco de dados do ano de 2013 liberados pelo Comitê Guandu; Para medida de tempo em dias (t) foram escolhidos o período de trânsito de 100 dias para zona de proteção microbiológica, 5 e 10 anos para as zonas de proteção à longo prazo. A porosidade efetiva do aquífero na Região de Piranema (n), de acordo com ELETROBOLT (2003), é de

23%, ou 0,23; A espessura saturada do Aquífero Piranema (H), de acordo com TUBBS *et al.* (2007), é de 20 metros em média.

Assim sendo, para a aplicação de um sistema mais completo de proteção aos poços d'água, foram determinadas quatro zonas de proteção e calculados seus respectivos raios, sendo R1) Zona operacional do poço, equivalente a 10 metros; R2) Zona de proteção microbiológica, sendo 100 dias de trânsito da água subterrânea; R3) Zona de proteção à longo prazo I, sendo 5 anos de viagem da água subterrânea; R4) Zona de proteção à longo prazo II, equivalente a 10 anos de viagem da subterrânea.

Espacialização das Áreas de Proteção de Poços –

Os quatro raios que compõem a área de proteção foram calculados no *software* Microsoft *Excel* para 24 poços tubulares profundos do município e, posteriormente, espacializadas e geradas através de ampliação pela ferramenta *Buffer*, do *software* *ArcGis 10.1*. Como foram escolhidas quatro zonas de proteção, foram realizados quatro processos diferentes de *Buffer*, cada um com seu respectivo raio.

“A delimitação das áreas de proteção de poços mostrou-se um importante meio de discussão sobre proteção às águas subterrâneas quando integrado ao conhecimento do uso e cobertura do solo e à vulnerabilidade de aquíferos”.

5. Resultados

Os *buffers* realizados para cada um dos 24 poços representam espacialmente as áreas de proteção de poços contendo cada uma delas quatro zonas circulares com raios calculados pelo método do Raio Fixo Calculado. Como os raios possuem poucas dezenas de metros e o mapa utilizado foi na escala de 1:25.000, não foi possível ter uma visão crítica da área em geral, ou seja, cada poço foi analisado separadamente.

Optou-se por selecionar três cenários diferentes para discussão e análise integrada das áreas de proteção geradas com as informações sobre uso e cobertura do solo (Figura 3) e sobre a vulnerabilidade do aquífero (Figura 4). Os cenários foram escolhidos com base

na proximidade às atividades potencialmente contaminantes e em locais onde o aquífero apresenta maior vulnerabilidade.

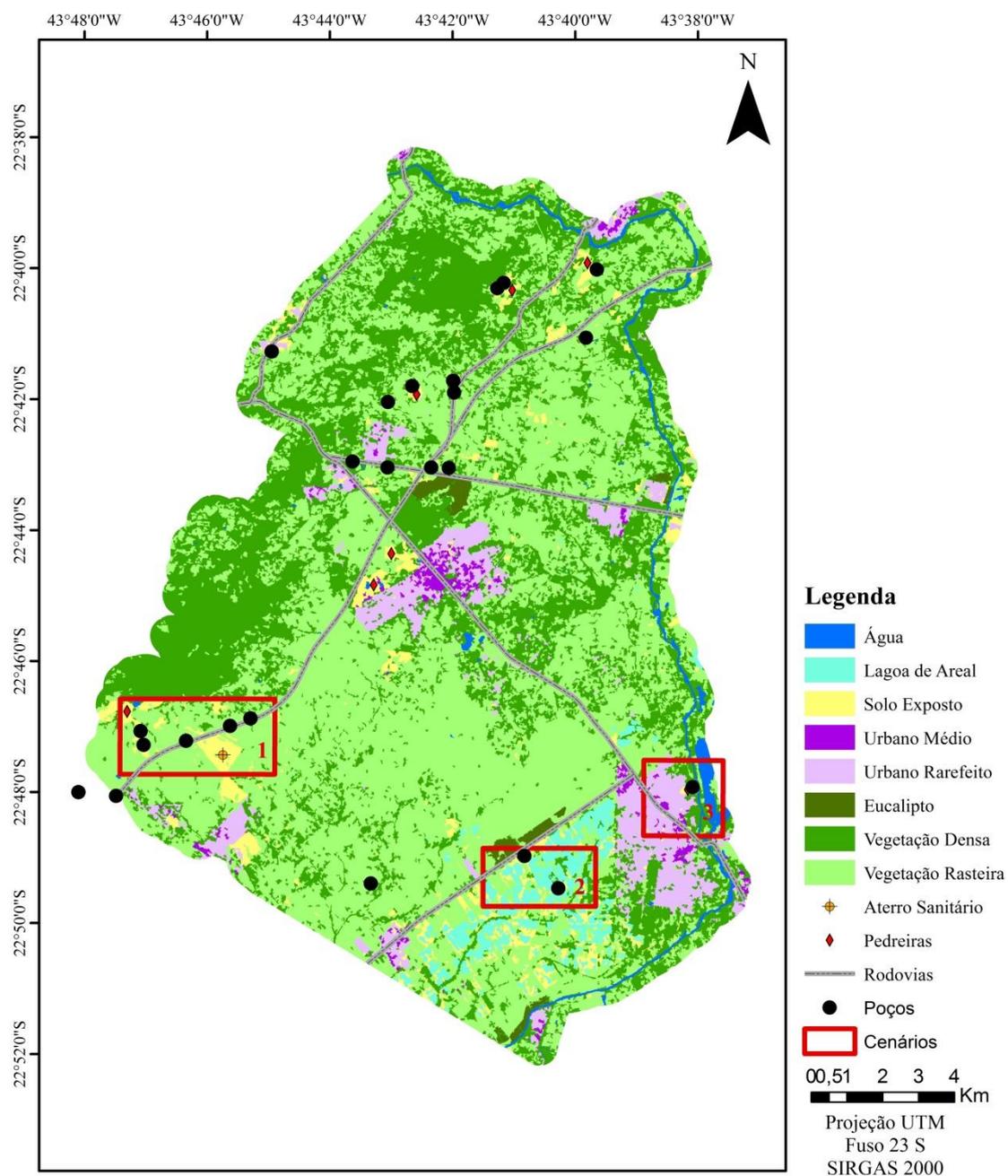


Figura 3. Mapa de Uso e Cobertura do Solo de Seropédica com a localização de 24 poços profundos tubulares e os cenários escolhidos para discussão.

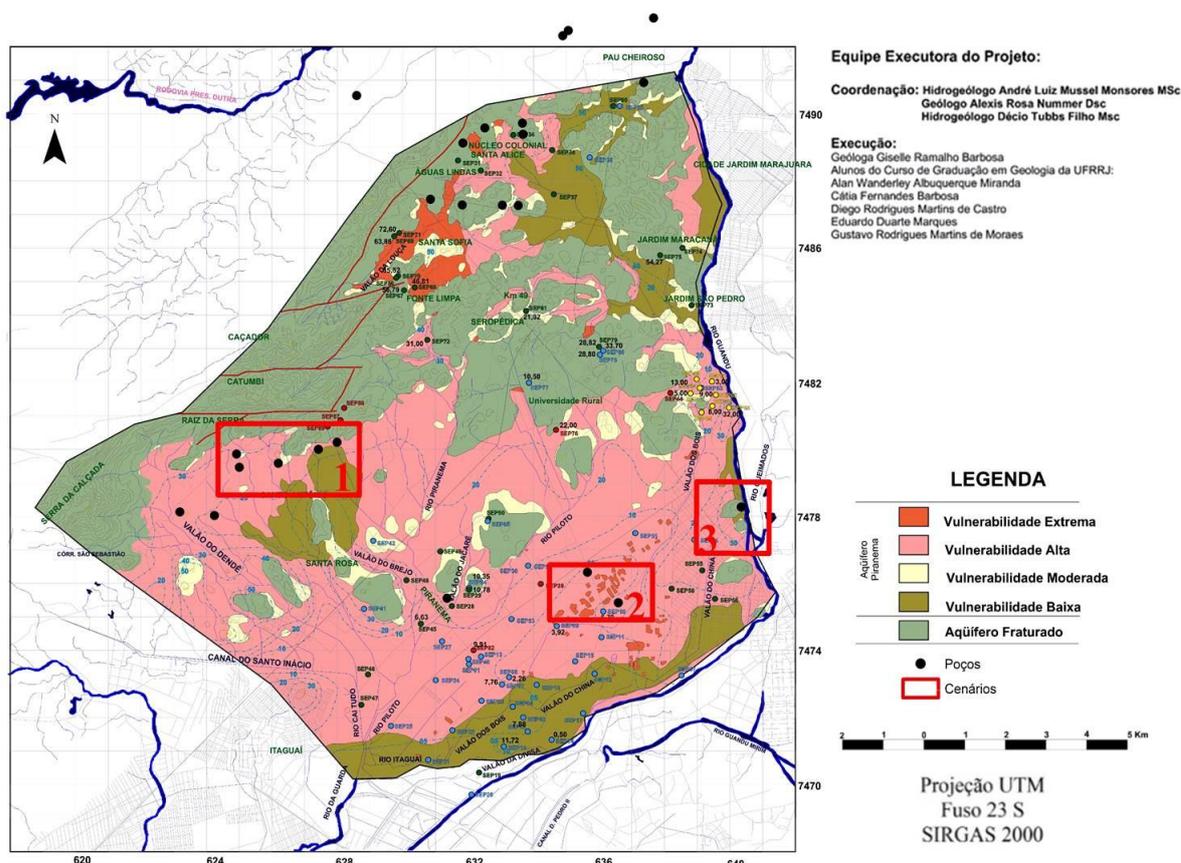


Figura 4. Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero Piranema com a localização de 24 poços profundos tubulares e os cenários escolhidos para discussão.

6. Discussões

Em todos os cenários foram feitas análises das áreas de proteção de poços integradas com o mapa de uso e cobertura do solo de Seropédica e com o mapa de vulnerabilidade do Aquífero Piranema. Todos eles mostram poços construídos próximos a áreas inapropriadas para exploração de água subterrânea devido às atividades antrópicas que são potencialmente contaminantes, como mineração, agricultura e aterro sanitário.

Cenário 1 - Este cenário localiza-se na região sudoeste do município, onde estão instalados a empresa de mineração Santa Luzia e o Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa.

Analisando o uso e cobertura do solo (Figura 5) onde se instalam os poços, percebe-se que estes estão em áreas majoritariamente cobertas por solo exposto e vegetação

rasteira. A retirada da parte superior do solo, composta principalmente por matéria orgânica, diminui drasticamente a proteção das camadas de solo inferiores, aumentando a capacidade de absorção de fluidos.

Uso e Cobertura do Solo - Cenário 1

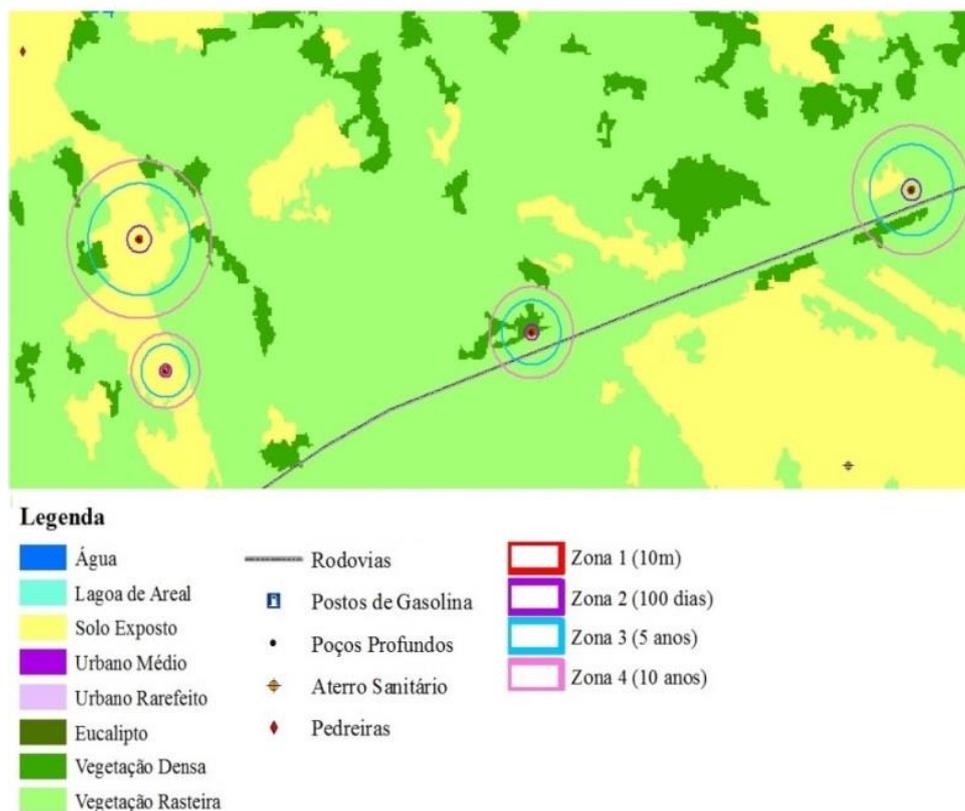


Figura 5. Cenário 1 - Integração entre áreas de proteção de poços e o Mapa de Uso e Cobertura do Solo de Seropédica/RJ.

Apesar de se tratar de mineração de brita e não envolver minerais contaminantes, a empresa apresenta riscos de contaminação do poço por todas as atividades exercidas sobre aquele solo exposto. Por exemplo, constante presença de caminhões e maquinários que contaminam o solo com óleo, graxa e outros produtos químicos relacionados. O Centro de Tratamento de Resíduos, que também ocorre sobre solo exposto e vegetação rasteira, por si só é um forte potencial contaminante devido aos possíveis vazamentos de chorume e posterior absorção do mesmo pelo solo.

O mapa de vulnerabilidade (Figura 6) mostra que um poço localiza-se sobre área de vulnerabilidade moderada, dois deles estão sobre áreas de vulnerabilidade alta e o último está entre vulnerabilidade alta e baixa. Considerando a vulnerabilidade do

aquífero nesta região como de baixa a alta, somado às atividades antrópicas ali exercidas, pode-se determinar que este cenário representa uma área que necessita de atenção.

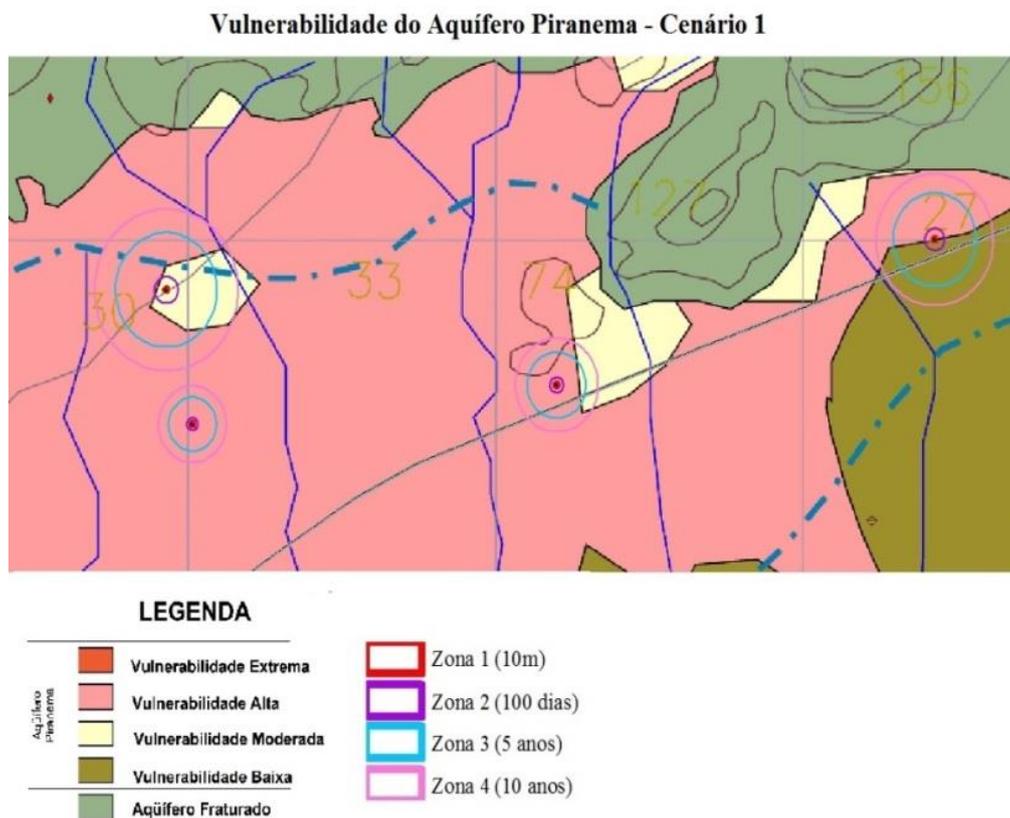


Figura 6. Cenário 1 - Integração entre áreas de proteção de poços e o Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero Piranema.

Cenário 2 - Mostra dois poços instalados nas proximidades dos principais areais do município de Seropédica, localizados na porção sul-sudeste do município.

O mapa de uso e cobertura do solo (Figura 7) mostra que estes poços localizam-se no mosaico de lagoas formado pela extração de areia. Um deles está instalado justamente em uma estreita faixa entre uma lagoa e outra, e o outro poço, além de estar próximo das lagoas, apresenta relativa proximidade com a plantação de eucalipto.

A atividade de extração de areia interfere diretamente na dinâmica do aquífero, especialmente no fluxo de água subterrânea que se torna mais intenso devido às lagoas que vão se formando. Esta interferência na dinâmica e consequente aumento de fluxo

d'água no subsolo, modifica as características naturais do aquífero, fragilizando-o e aumentando sua vulnerabilidade.

Outra atividade antrópica ali presente é a agricultura, representada pela plantação de eucalipto, apresentando riscos de contaminação para a água subterrânea devido ao uso de herbicidas, agrotóxicos e outros produtos químicos utilizados nesta atividade que podem percolar o solo e atingir o aquífero.

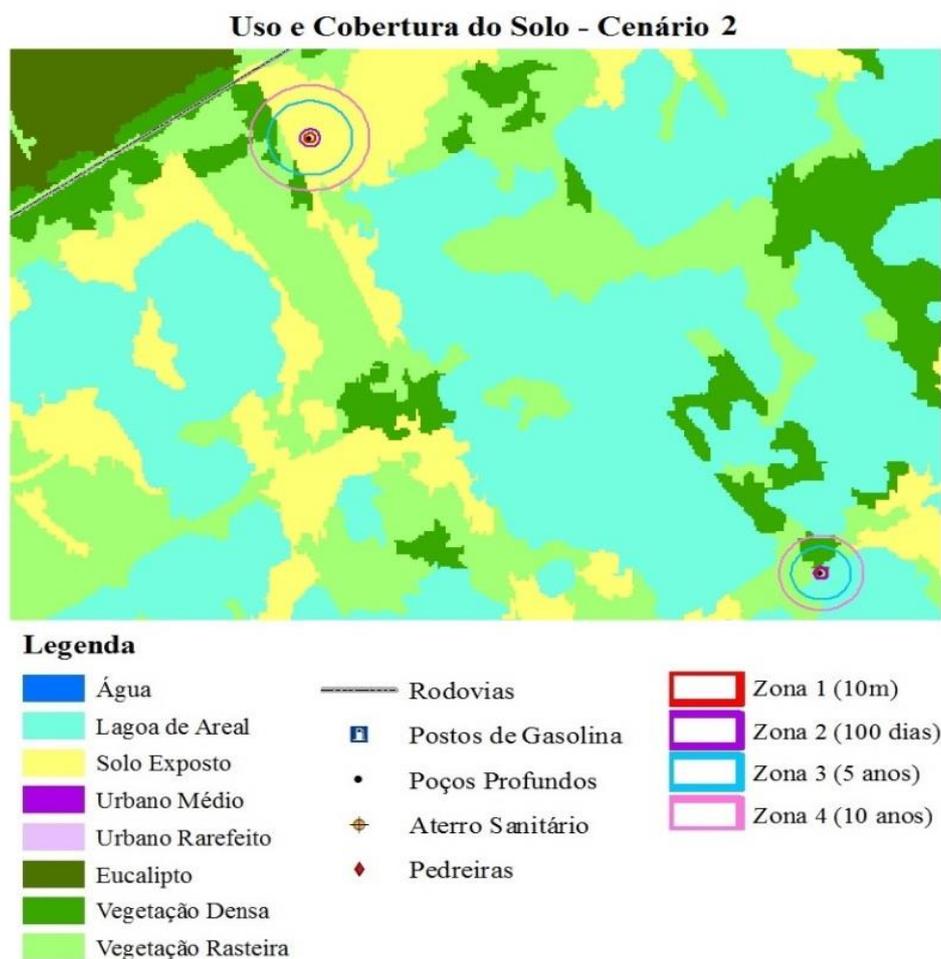


Figura 7. Cenário 2 - Integração entre áreas de proteção de poços e o Mapa de Uso e Cobertura do Solo de Seropédica/RJ.

O mapa de vulnerabilidade do Aquífero Piranema (Figura 8) mostra que os poços estão localizados sobre regiões de vulnerabilidade alta, estando muito próximos de pontos de vulnerabilidade extrema. As atividades antrópicas realizada sobre esta área necessitam de intensa fiscalização, pois qualquer desastre ambiental que envolva contaminação do solo certamente levará à contaminação do subsolo e da água subterrânea.

As áreas de proteção geradas para o poço localizado próximo à plantação de eucalipto mostram que há uma distância segura entre a fonte de água subterrânea e as atividades ali exercidas. Tanto a plantação quanto a lagoa formada pela extração de areia encontram-se fora da área de proteção de 10 anos de trânsito da água. É necessário que a fiscalização destas atividades seja regular, pois caso elas aumentem em termos de área, poderão invadir os perímetros de proteção. O poço localizado entre as lagoas, por outro lado, não apresenta qualquer condição de ali permanecer instalado, visto que ele não possui em sua volta espaço suficiente para aplicar as zonas necessárias para uma área de proteção.

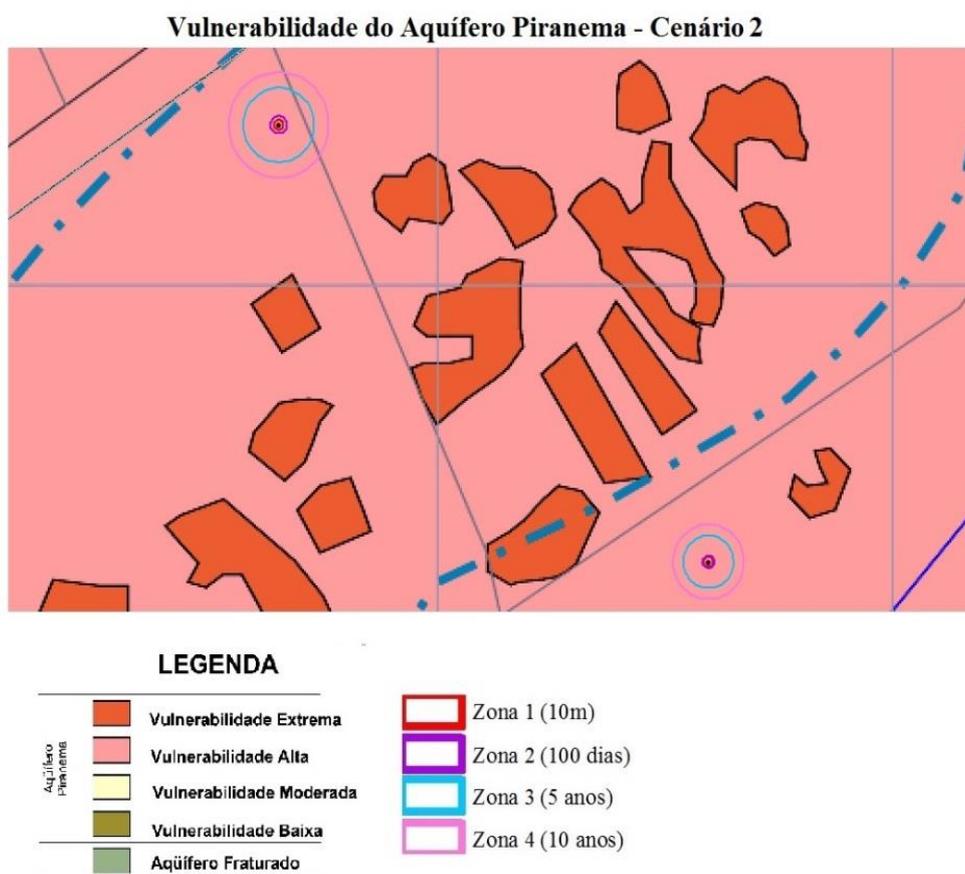


Figura 8. Cenário 2 - Integração entre áreas de proteção de poços e o Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero Piranema.

Cenário 3 - Trata-se de um poço localizado no núcleo urbano do “Km 42”, na empresa de mineração Jardim das Acácias.

O mapa de uso e cobertura do solo (Figura 9) mostra que o poço está instalado em uma empresa de mineração de brita sobre o solo exposto. Assim como no cenário 1, o solo

exposto, de característica arenosa, permite que estes produtos sejam absorvidos e contaminem o subsolo e a água subterrânea. Outra importante informação que o mapa de uso e cobertura do solo fornece é a proximidade do poço ao rio Guandu.

Tal fato demanda especial atenção uma vez que qualquer contaminação que ocorra naquela parte do rio, ou à sua montante, ameaça diretamente a qualidade da água subterrânea captada pelo poço. Além disso, as valas de drenagens que cortam o município até alcançar o rio levam consigo esgoto não tratado, podendo conter material contaminante.

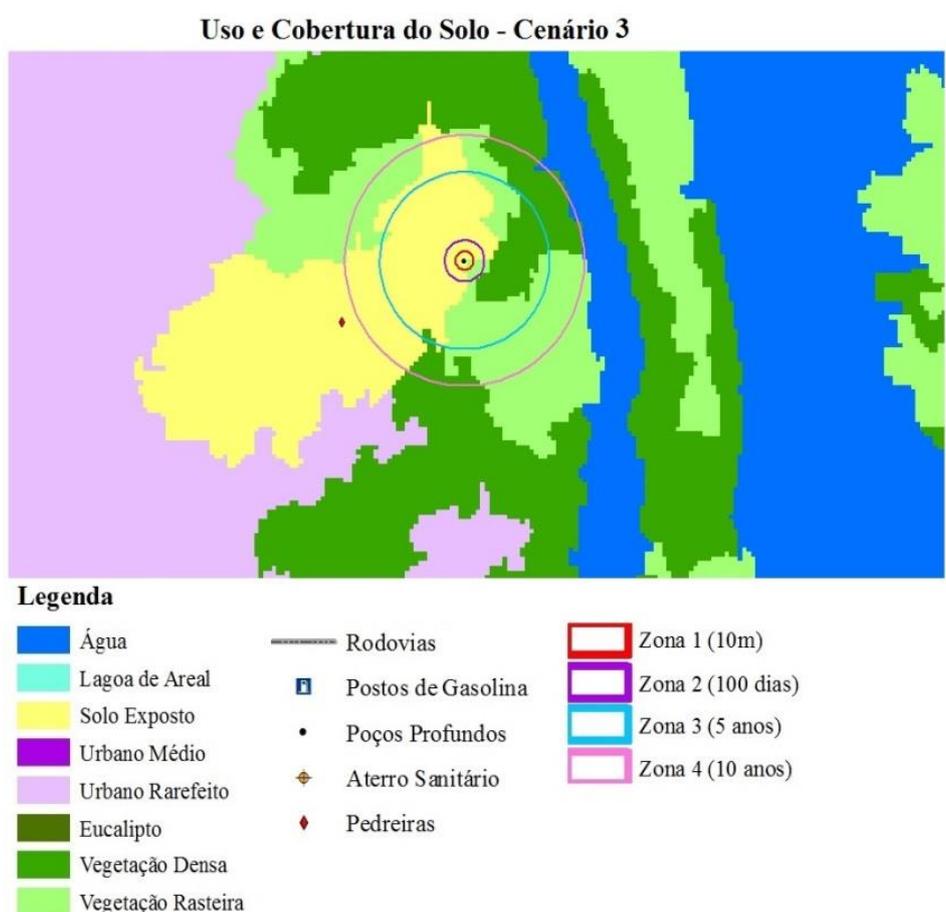


Figura 9. Cenário 3 - Integração entre áreas de proteção de poços e o Mapa de Uso e Cobertura do Solo de Seropédica/RJ.

O mapa de vulnerabilidade do aquífero (Figura 10) mostra que o poço encontra-se em uma área do aquífero de vulnerabilidade baixa e de aquífero fraturado, não apresentando grandes riscos de contaminação ligados diretamente à vulnerabilidade.

As zonas de proteção criadas mostram que a água subterrânea captada por este poço está protegida de contaminações causadas por desastres ambientais que envolvam o rio Guandu, visto que a água do rio levaria cerca de 10 anos para atingir o poço, tornando viável planos de remediação de contaminação do poço à longo prazo. Por outro lado, a atividade mineradora invade as áreas de proteção, sendo necessária uma fiscalização maior acerca de potenciais contaminantes que ali possam ser despejados.

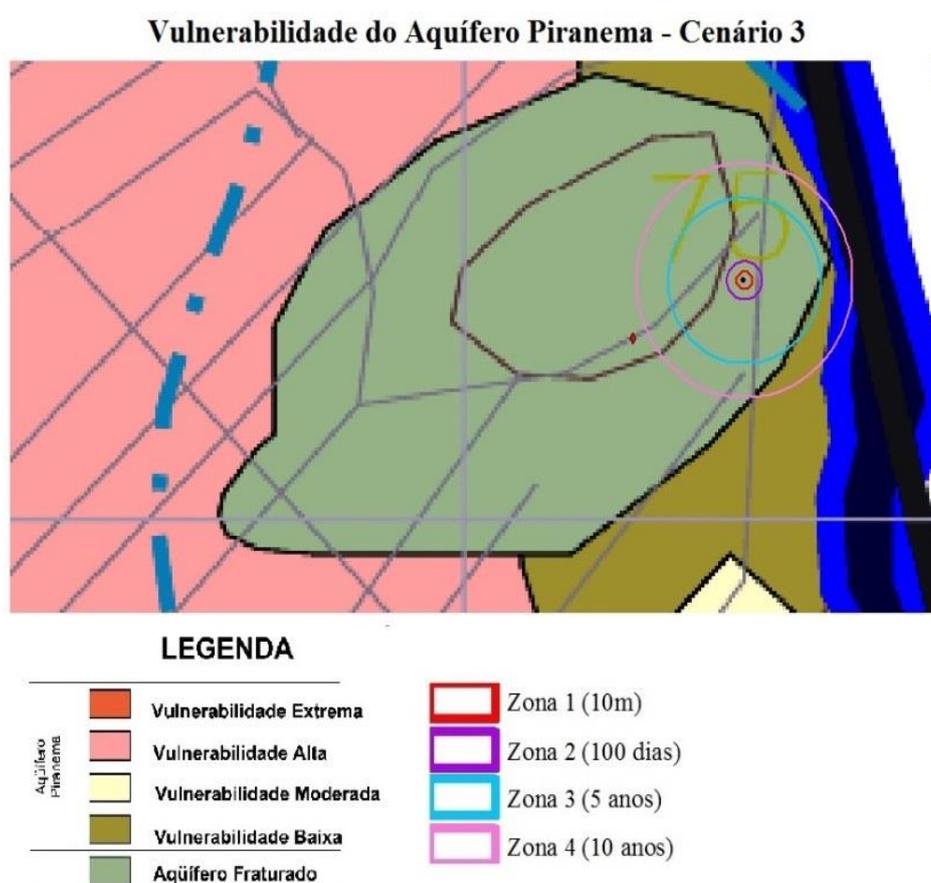


Figura 10. Cenário 3 - Integração entre áreas de proteção de poços e o Mapa de Vulnerabilidade do Aquífero Piranema.

7. Aspectos Legais

Comparada à legislação dos estados do Pará, Piauí, São Paulo e Tocantins, a do Rio de Janeiro (Lei nº 3239/99) se mostra bastante defasada. Existe um projeto de lei (Projeto de Lei nº 408/2011), no entanto, que dispõe sobre a administração, a proteção e a conservação das águas subterrâneas de domínio do estado.

Seguindo o exemplo dos estados que possuem uma legislação de áreas de proteção mais completa, o projeto de lei dá seguimento à Lei nº 3239/99, complementando como as áreas de proteção de poços devem ser estabelecidas e destacando a delimitação de um perímetro imediato de proteção sanitária, que equivale à zona operacional do poço. Porém, não há citação da distância que deve ser usada.

Para complementar o Projeto de Lei nº 408/2011, o ideal seria definir previamente a distância radial utilizada para delimitar a zona operacional do poço, ou seja, o perímetro imediato de proteção sanitária e, além disso, deixar explícito que esta zona necessita ser cercada por tela e os poços protegidos por laje de concreto. Além da zona operacional do poço, as zonas seguintes (mais externas) também precisam ser citadas, ressaltando a importância da aplicação de algum método que defina suas delimitações. Por fim, seria importante também exigir o estudo da vulnerabilidade dos aquíferos do estado, bem como o mapeamento do uso e cobertura do solo, para que a aplicação das áreas de proteção de poços seja mais efetiva e completa.

8. Conclusão

A delimitação das áreas de proteção de poços mostrou-se um importante meio de discussão sobre proteção às águas subterrâneas quando integrado ao conhecimento do uso e cobertura do solo e à vulnerabilidade de aquíferos. Embora não seja o mais preciso, o método de Raio Fixo Calculado mostrou-se útil quando aplicado no município de Seropédica, principalmente pela inexistência de qualquer outro tipo de estratégia para proteção dessas regiões de interesse. Com informações complementares e atualizadas, a delimitação pode ser feita de maneira mais efetiva e precisa, atingindo um estágio avançado de proteção de poços.

Embora a implementação das áreas de proteção de poços esteja prevista por lei em alguns estados brasileiros, sua aplicação não faz parte da realidade do país. No caso do estado do Rio de Janeiro em especial, uma complementação no Projeto de Lei nº 408/2011 seria mais uma forma de reforçar a proteção dos poços de captação de água.

8. Referências bibliográficas

- ADAMS, B.; FOSTER, S.S.D. *Land-surface zoning for Groundwater Protection. Journal of Institution of Water and Environmental Management*, v. 6, p. 312-320. 1992.
- ALCANTARA, D. A Paisagem em Transformação: O Planejamento do Território como Catalisador do Equilíbrio entre Desenvolvimento Econômico e Socioambiental em Seropédica. In: ABATE, C.; KAROL, J. L.; (orgs.). *UPE11 Conducir las Transformaciones Urbanas*. Libro Digital – Tomo 1 Trabajos Completos. La Plata, Universidade Nacional de La Plata. 2014.
- ELETROBOLT. *Estudos Hidrogeológicos dos Aquíferos Intergranulares a Oeste do Rio Guandu*, Município de Seropédica/RJ. DRM/RJ. Relatório Técnico Final. 234 pp. 2003.
- FERREIRA, J.P.C.L. *Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterrâneas: Fundamentos e Conceitos para Uma Melhor Gestão e Protecção dos aquíferos de Portugal*. 1998.
- FOSTER, S. Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability, Pollution Risk and Protection Strategy, in W. van Duijvanbooden; H.G. van Waegeningh; (eds.). *Vulnerability of Soil and Groundwater to Pollution, Proceedings and Information*. No. 38 of the *International Conference held in the Netherlands, TNO Committee on Hydrological Research*, Delft, The Netherlands. 1987.
- FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; DÉLIA, M.; PARIS, M. *Protección de la Calidad del Agua Subterránea*. Banco Mundial. 2003.
- FOSTER, S.; SKINNER, A.C. Groundwater Protection: The Science and Practice of Land Surface Zoning. *International Association of Hydrological Sciences*, 225, p. 471-482. 1995.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Manual Técnico de Uso do Solo*. Manuais Técnicos em Geociências, Número 7, 2a edição, 2006.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINEIRO - ITGE. *Guía metodológica para la elaboración de perímetros de protección de captaciones de aguas subterráneas*, Intituto Tecnológico GeoMineiro de España, Primera Edición, 289p. 1991.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. *Geo Catálogo MMA*. Disponível em: <<http://geocatalogo.mma.gov.br>>. Acesso em: março de 2016.
- RIO DE JANEIRO. *Lei Nº 3239, de 02 de Agosto de 1999*. Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/43fd110fc03f0e6c032567c30072625b>. Acesso em: abril de 2016.

RIO DE JANEIRO. *Projeto de Lei Nº 408/2011*. Assembléia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/scpro1115.nsf/1e1be0e779adab27832566ec0018d838/bfe23d644342a19783257877006885b2?OpenDocument&ExpandSection=-1>. Acesso em: dezembro de 2015.

ROVEDDER, J. *Validação da Classificação Orientada a Objetos em Imagens de Satélite IKONOS II e a Elaboração de Indicadores Ambientais Georreferenciados no Município de Torres, Planície Costeira do Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado do PPGRS - CEPSSRM/UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil. 2007.

TUBBS, D.; FERREIRA, A.C.S; WILDMANN R.J. *Relatório de Estudo Geofísico e Hidrogeológico Realizado na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa*. São Paulo: EMBRAPA, 11p. 2007

UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. *Ground Water and Wellhead Protection*. Handbook. Washington: USEPA, Office of Research and Development. 1994.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. *Perímetros de Proteção de Poços: Uma Importante Ferramenta para a Sustentabilidade de Mananciais Públicos. Águas Subterrâneas, (1). Anais do XIV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e II Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste*. 2005.