



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL



INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS IBAMA
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS – DIREC
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS – CECAV
PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD



Produto 04 do TERMO DE REFERÊNCIA Nº 119701

ANDRÉ LUIZ DE MOURA CADAMURO
Consultor técnico, Geólogo - CECAV/IBAMA
CONTRATO Nº 2006/000372

RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE INTERFERÊNCIAS NA QUALIDADE DA ÁGUA (FOCOS DE CONTAMINAÇÃO) NO AQUÍFERO DA REGIÃO DA BACIA SÃO FRANCISCO, COM POTENCIAL DE PRESSÃO SOBRE AS GRUTAS.

Setembro/2007



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

INTRODUÇÃO

Dentro de uma abordagem hidrogeológica do aquífero de rochas carbonáticas da Zona Cárstica de Pains e buscando um maior detalhamento sobre o tema pressão antrópica sobre sistemas espeleológicos, este produto se baseia no mesmo contexto hidrogeológico descrito no já elaborado Produto 3 – "Relatório de avaliação qualitativa de interferências físicas na região da área da Bacia do São Francisco" - e considera como área de trabalho a mesma área de influência do Sistema Espeleológico da Gruta do Éden (Sistema Éden), também estabelecida no referido produto.

A maioria dos tipos de pressão antrópica, além das alterações físicas, causa alterações na qualidade da água subterrânea. Dentre estes tipos de pressão, ocorrem na Zona Cárstica de Pains: as áreas agricultáveis, a disposição de resíduos sólidos, a produção de finos nos processos de extração de calcário, a fabricação da cal nas indústrias, as áreas destinadas a cemitérios, as redes coletoras de esgoto, as fossas negras, os pontos de armazenamento e os postos de abastecimento de combustíveis derivados do petróleo.

O objetivo é fazer uma avaliação qualitativa das ações antrópicas que podem causar interferências na qualidade da água dos sistemas aquíferos relacionados ao Sistema Éden, buscando apontar problemas potenciais futuros e áreas específicas de pressão antrópica relacionadas à alteração na qualidade da água subterrânea, dentro da área de influência do Sistema Éden (Figura 1). Considerando o contexto hidrogeológico e a dinâmica hídrica na área de influência, são abordadas as possíveis conseqüências de tais fontes poluidoras e as principais estratégias de monitoramento dessas fontes.

De posse dessas informações preliminares, o IBAMA pode direcionar e até mesmo planejar melhor suas exigências, no que se refere à execução de estudos, por parte dos empreendedores. Estudos que sejam objetivos e venha fornecer respostas a médio e curto prazo, para a prevenção de problemas ambientais. O objetivo é estabelecer um plano de monitoramento da qualidade da água dentro da área de influência do Sistema Éden.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

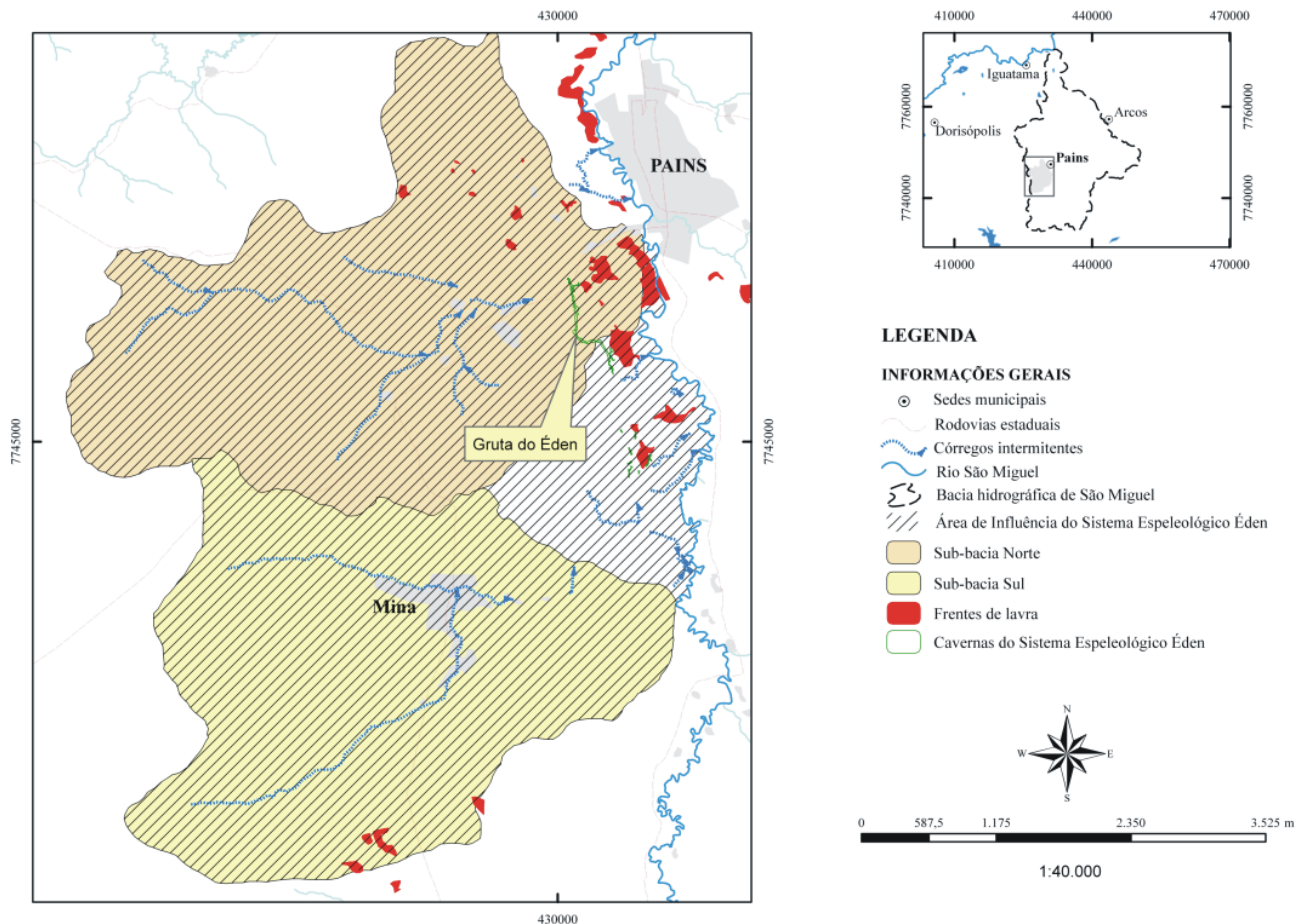


Figura 1 – Área de influência mínima do Sistema Édén, com destaque para as sub-bacias hidrográficas mais importantes, à oeste do Rio São Miguel, relacionadas ao Sistema Édén.

ÁREA DE INFLUÊNCIA DO SISTEMA ÉDEN

Na Zona Cárstica de Pains o Sistema Édén pode ser considerado o sistema espeleológico mais expressivo e também o mais importante. Resumidamente, dentro de uma abordagem hidrogeológica, a área de influência do Sistema Édén pode ser discriminada em duas outras áreas, quais sejam: área de influência direta e área de influência indireta.

Na área de influência mínima ocorrem três sistemas aquíferos (figura 2): o sistema aquífero cárstico, desenvolvido nos calcários da Formação Sete Lagoas do Grupo Bambuí; o sistema aquífero fissurado-cárstico, desenvolvido nos terrígenos e lentes carbonáticas do



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Subgrupo Paraopebas (Grupo Bambuí); e o sistema aquífero granular, formado em espessos mantos de intemperismo desenvolvidos sobre as rochas terrígenas do Paraopebas.

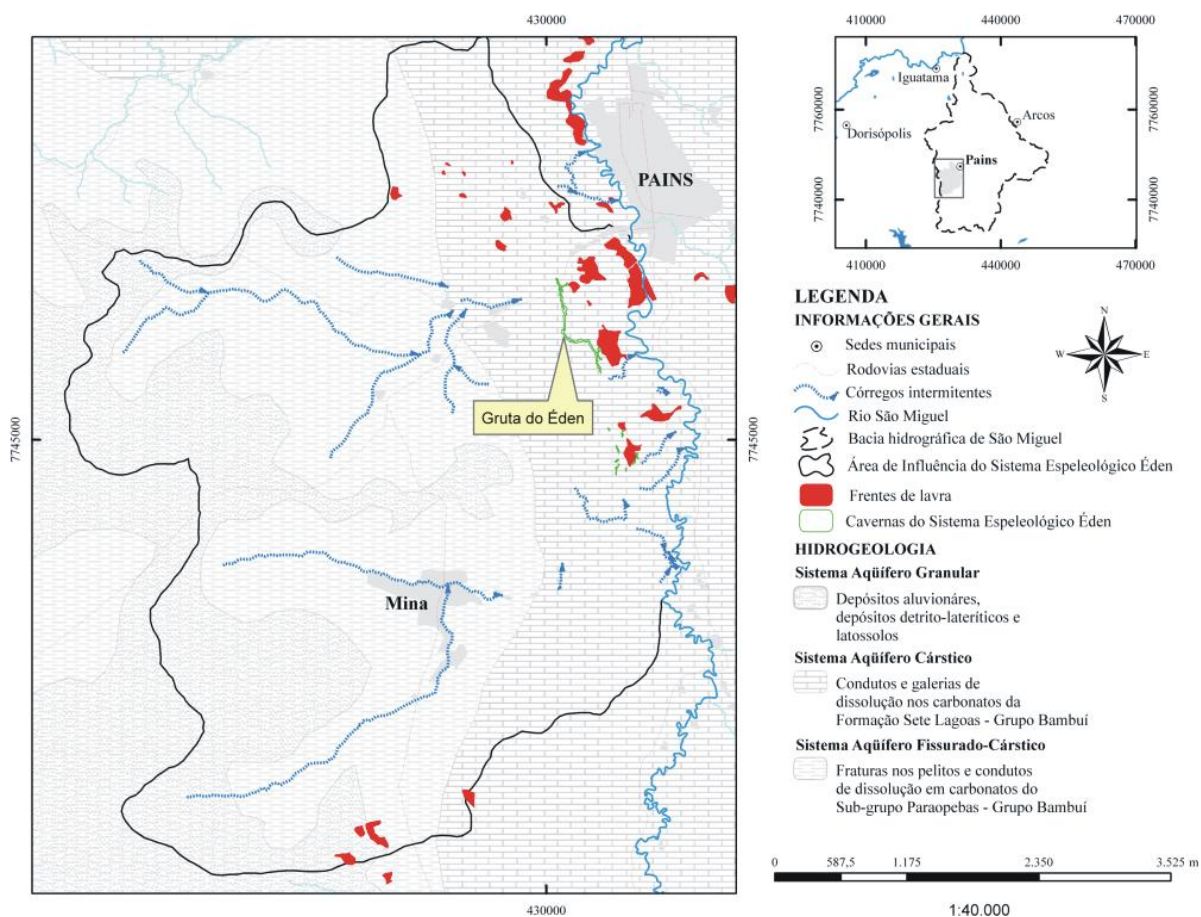


Figura 2 – Contexto hidrogeológico da área de influência mínima do Sistema Éden, mostrando as áreas de ocorrência dos três sistemas aquíferos encontrados.

Os sistemas aquíferos fissurado-cárstico e granular estão sobrepostos ao sistema aquífero cárstico. Desta forma, na porção oeste da área de influência ocorrem os três sistemas aquíferos, na seguinte ordem, da superfície para baixo: granular, fissurado-cárstico e cárstico. Esta região é essencialmente uma área de recarga indireta do sistema aquífero cárstico onde a recarga ocorre, predominantemente, de forma indireta através da infiltração da água da chuva nos solos dos compartimentos de platô, mas também ocorre de forma direta, através de dolinas verticais isoladas.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Na porção central, a partir do contato geológico entre o subgrupo Paraopebas e a Formação Sete Lagoas, ocorre essencialmente o sistema aquífero cárstico. Nessa região a recarga ocorre de forma direta, através da infiltração da água da chuva e do escoamento superficial em grandes áreas de depressão (uvalas) e em grandes morros aflorantes de calcário, lapiezados verticalmente. Essa é uma área onde há, literalmente, uma injeção direta de água e onde ocorre uma captura total do aporte hídrico superficial, através da zona vadosa e devido à alta condutividade hidráulica na zona saturada.

A porção leste da área de influência, equivalente à área oeste do vale do Rio São Miguel, o qual funciona como o nível de base regional, é a área de descarga do sistema aquífero cárstico, onde a superfície potenciométrica ocorre a menos de um metro da superfície do terreno. O cruzamento da informação geológica e da condição de recarga do sistema aquífero cárstico dentro da área de influência permite a subdivisão da área de influência nas subáreas de influência direta e indireta (figura 3).



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

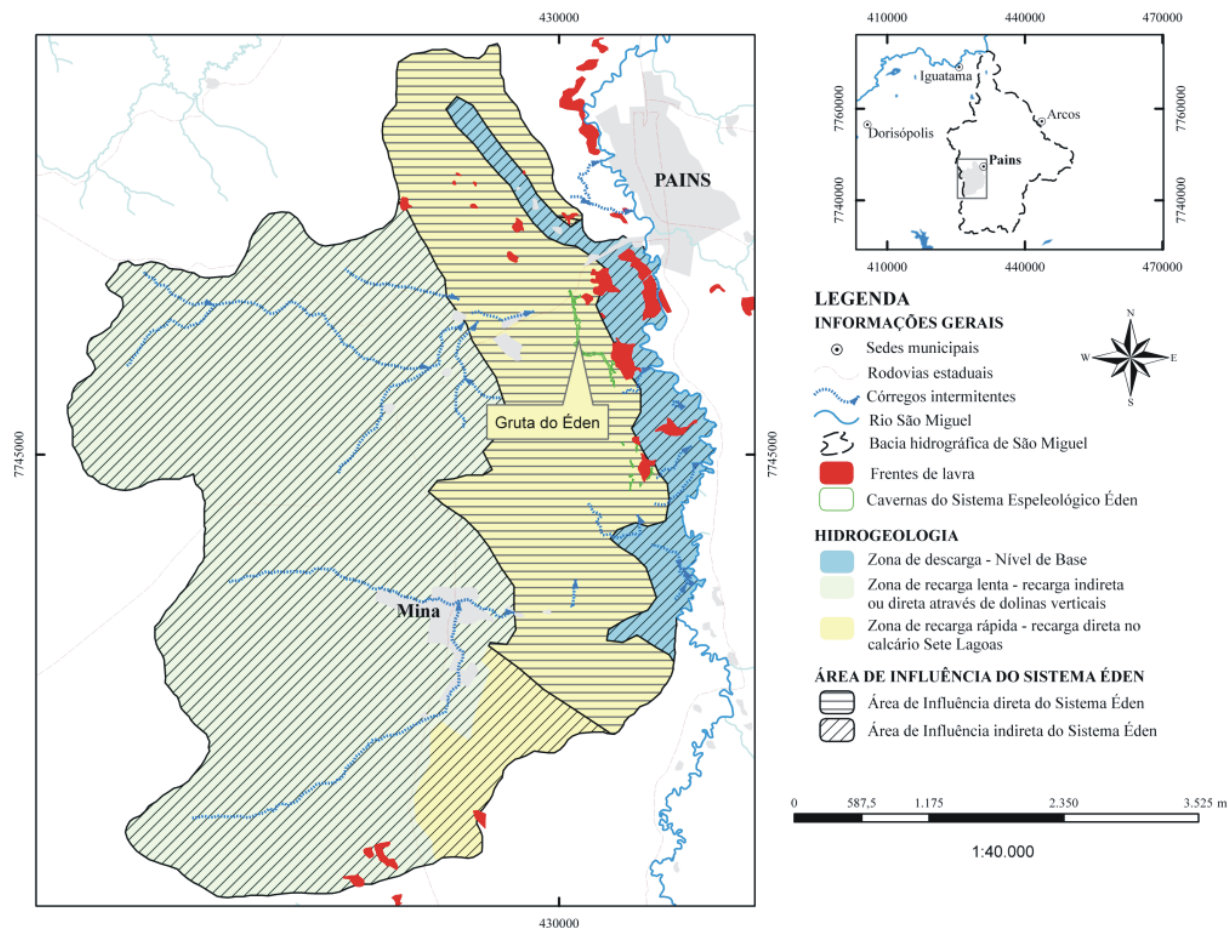


Figura 3 – Área de influência do Sistema Éden, com a discriminação das subáreas de influência direta e indireta e destaque para as zonas de descarga, de recarga rápida e recarga lenta.

Em toda a Zona Cárstica de Pains, as dobras, as falhas de empurrão e as juntas encontram-se rotacionadas no sentido anti-horário devido à ocorrência de grandes zonas transcorrentes, que não só cortam todo o carste como também se estendem por outros sistemas aquíferos. Essas zonas transcorrentes são feições estruturais chaves para a compreensão da circulação da água subterrânea no sistema aquífero cárstico, uma vez que funcionam como os principais caminhos de circulação hídrica. Tais caminhos também são as vias por onde há entrada de água importada de outros sistemas aquíferos, por meio de fluxos



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

regionais, como os sistemas fissurado-cárstico e até mesmo o fissurado, fora da Zona Cárstica de Pains.

A área de influência do Sistema Éden é transpassada pela importante zona transcorrente Dorisópolis – Pains, onde se destacam as falhas transcorrentes de Mina e Pains (figura 4). Na fotointerpretação dessa área, os principais lineamentos observados, seguindo uma ordem de importância, quanto à formação de amplos condutos de dissolução, são: lineamentos N60°W, de baixa frequência e elevada persistência, associados às falhas transcorrentes de Mina e Pains, ao longo das quais, certamente, estão desenvolvidos os principais condutos freáticos da região; lineamentos N-S, de alta frequência e baixa persistência, que condicionam o próprio rio São Miguel e o desenvolvimento linear das galerias vadasas do Sistema Éden e da própria galeria de nível freático da Gruta do Éden; lineamentos E-W, de baixa frequência e baixa persistência, que, na intersecção com os lineamentos N-S, condiciona importantes surgências, superficiais ou subterrâneas, como aquela existente na Gruta do Éden; e lineamentos N40°-50°W, de alta frequência e baixa persistência, provavelmente associados ao acamamento sedimentar dos carbonatos, com mergulho 30°-50° SW, que exercem importante função na eficiência da recarga através da zona vadosa conduzindo a água até os grandes condutos de fluxo regional.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

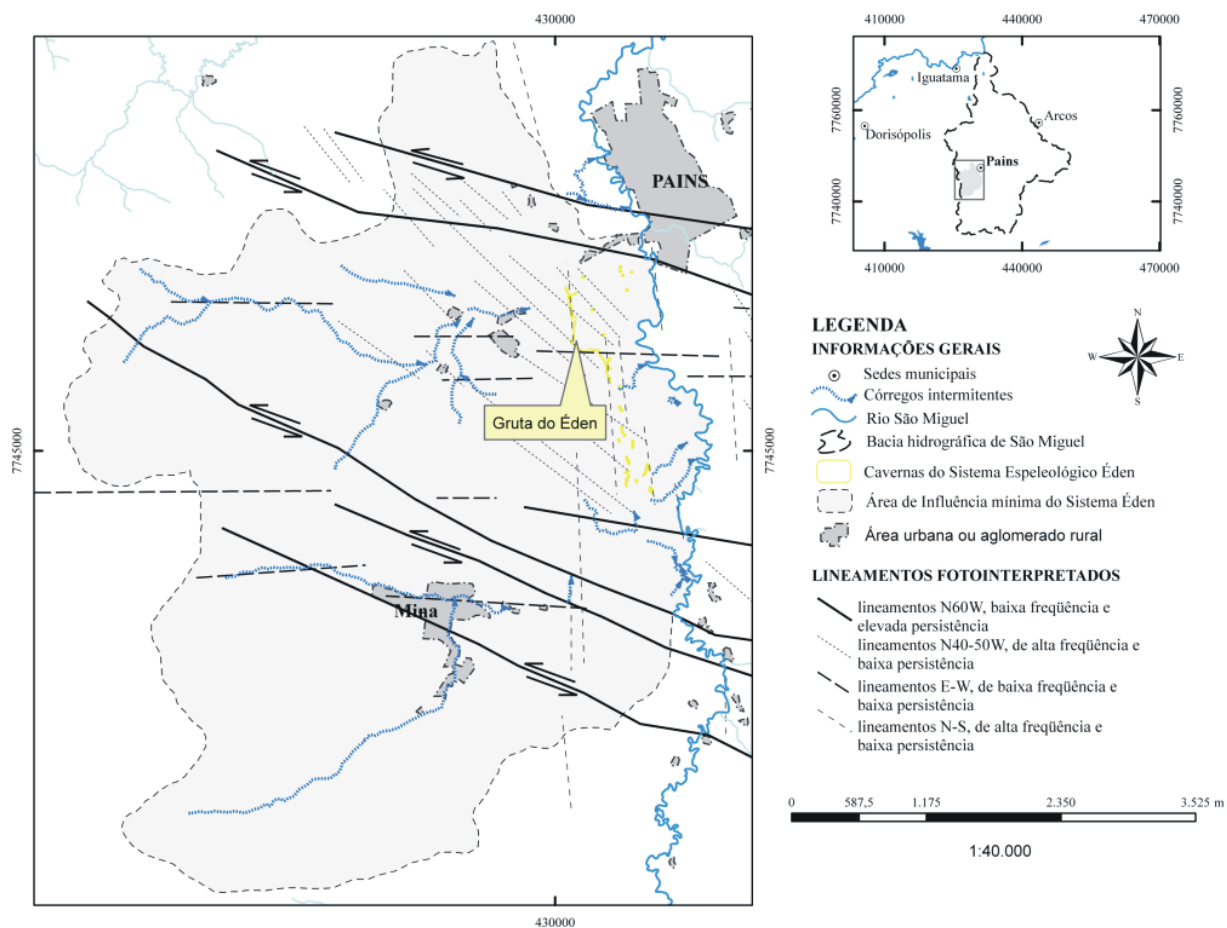


Figura 4 – Principais lineamentos identificados por meio de fotointerpretação (fotos 1:60.000) na área de influência do Sistema Éden.

As direções de fluxo subterrâneo podem ser inferidas de forma indireta, sem nenhum tipo de ensaio quantitativo ou qualitativo, apenas com a fotointerpretação de fotografias aéreas na escala 1:60.000 e informações disponíveis no CECAV/IBAMA. Todavia, apesar de preliminar, dá uma orientação para previsão de possíveis impactos ambientais, causados pelas diferentes formas de pressão antrópica, além facilitar a elaboração de um plano de controle e monitoramento da qualidade da água subterrânea na área de influência do Sistema Éden.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Durante os meses secos, principalmente o mês de julho, onde mais de 90% (Menegasse *et al.*, 2002) da água que flui no rio São Miguel é resultado do fluxo de base, ou seja, tem origem da água subterrânea. As bacias Norte e Sul, na área de influência, encontram-se secas e a água subterrânea é a única fonte disponível, sendo encontrada apenas em algumas dolinas, na zona de recarga lenta, e nas surgências, ou sumidouros da zona de recarga rápida. Neste período do ano hidrológico o fluxo subterrâneo, por ser perene, é um fluxo regional alimentado por áreas de recarga distantes, fora dos limites da bacia hidrográfica do rio São Miguel, podendo, inclusive, ser importada de outras bacias hidrogeológicas.

Durante os meses chuvosos, a água que não é perdida por evapotranspiração nas bacias Norte e Sul da área de influência mínima, infiltra recarregando o sistema aquífero granular. Este por sua vez serve como reserva reguladora, ao longo do ano hidrológico, para abastecer as nascentes e também os sistemas fissurado-cárstico e cárstico respectivamente. O excedente hídrico, que não infiltra é conduzido pelas micro-drenagens até se somarem ao fluxo de base nos córregos intermitentes, dando origem ao "run off". Isso ocorre na zona de recarga lenta, onde esse volume de água superficial pode também ser captado por dolinas isoladas e recarregar diretamente o sistema aquífero cárstico, todavia, a maior parcela desse volume escoar através da drenagem até alcançar importantes pontos de mistura, principalmente localizados ao longo do contato geológico entre o subgrupo Paraopebas e a formação Sete Lagoas. Nesses pontos de mistura a água é "sugada" para a rede de canais subterrâneos aumentando significativamente o volume dos fluxos subterrâneos no carste.

Dentre os pontos perenes de água na área de influência do Sistema Éden, quatro se destacam pela importância hidrogeológica local e contribuição para o entendimento da dinâmica hídrica no Sistema Éden, são eles: a Uvala Mina, a Uvala Sócrates, a Gruta do Éden e a Uvala Pains, os quais foram abordados em detalhe no Produto 3.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

PRESSÕES ANTRÓPICAS - INTERFERÊNCIA QUÍMICA: UMA ABORDAGEM QUALITATIVA

A qualidade natural da água é resultado da sua interação com as rochas o clima e a vegetação onde ocorre. As atividades antrópicas, por sua vez, constituem ações que podem alterar esta qualidade natural, seja em água superficial ou subterrânea.

A caracterização e o monitoramento da qualidade da água de uma região constituem ferramentas importantes na gestão ambiental, assim como o monitoramento das atividades antrópicas, que são fontes potenciais de alteração da qualidade natural das águas superficiais e subterrâneas.

Atividades urbanas, industriais e agrícolas são formas antrópicas potenciais de poluição das águas. Dentre as atividades urbanas citam-se a deficiência ou ausência de saneamento básico, a presença de fossas negras e a falta de tratamento de esgoto. Perdas através de vazamentos nas redes de esgoto, disposição inadequada de resíduos sólidos e possíveis vazamentos em tanques de combustíveis também podem ser citadas como atividade potencialmente poluidora da água.

Nas atividades industriais podem-se mencionar os riscos inerentes aos derramamentos acidentais de efluentes industriais ou vazamentos em tanques de disposição de resíduos industriais tóxicos ou até mesmo devido à ausência destes e a lixiviação, pela água da chuva, de resíduos finos e resíduos tóxicos espalhados no solo.

No que tange às atividades agrícolas pode-se fazer referência à poluição das águas superficiais e subterrâneas ocasionadas pelo uso de agrotóxicos e corretivos de solo, ou ainda, possíveis processos de desertificação e erosão dos solos, que podem aumentar significativamente as partículas sólidas em suspensão e conseqüente assoreamento dos mananciais.

As atividades urbanas, industriais e agrícolas geralmente acarretam na água, o acréscimo ou o aumento da concentração de nutrientes, metais pesados, hidrocarbonetos, organismos patogênicos, entre outros, relacionados às atividades específicas envolvidas.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Esses elementos ou componentes químicos e/ou orgânicos em determinadas concentrações são tóxicos a ponto de poderem comprometer os ecossistemas locais e o uso das águas para fins mais exigentes, como o abastecimento humano, por exemplo. Quando a poluição das águas alcança níveis prejudiciais à saúde do homem, caracteriza-se uma contaminação da água.

Quanto à área de abrangência, a contaminação da água por atividades antrópicas pode ocorrer de forma pontual, difusa ou linear. A forma de contaminação pontual inclui, por exemplo, vazamentos de tanques de combustíveis ou de efluentes industriais, a difusa compreende, por exemplo, a contaminação pelo uso intensivo de agrotóxicos em amplas áreas de agricultura, enquanto que a forma linear está relacionada a vazamentos em redes coletoras de esgoto, gasodutos, oleodutos e etc.

Borghetti (2002) avaliou uma forma de contaminação difusa na região do carste de Pains, por meio de estudos sobre a distribuição e concentração de metais pesados (Ba, Cd, Pb, Co, Cr, Cu, Ni, e Zn) nos solos da região. Detectou que o solo está fortemente contaminado por cádmio e moderadamente contaminado por bário e cromo. A fonte principal do cádmio foi apontada pelo autor como sendo a queima dos resíduos industriais nos fornos e indústrias de calcinação. Anomalias de cobre e zinco também foram detectadas, porém de forma pontual, sendo decorrentes, segundo o autor, às atividades antrópicas em aglomerados rurais.

ÁGUAS SUPERFICIAIS

As águas superficiais da região do Alto São Francisco, que abrange a Zona Cárstica de Pains, foram avaliadas por Patrus *et al.* (20001) em termos de indicadores da situação ambiental, relativos ao monitoramento realizado em 1999 na região, por meio da classificação do "Índice de Qualidade de Água (IQA)" e a "Contaminação por Tóxicos". O IQA reflete a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos. Seus valores variam de 0 a 100 (Excelente a Muito Ruim), onde se considera no seu cálculo: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitratos,



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

fosfatos, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. Na Contaminação por Tóxicos avaliaram os seguintes contaminantes: amônia, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cianetos, cobre, cromo hexavalente, índices de fenóis, mercúrio, nitrito e zinco.

Nesse estudo registrou-se IQA Bom ($70 < IQA \leq 90$) no trecho da cabeceira do rio São Francisco até a estação de Vagem Bonita e, a partir desta estação, IQA Médio ($50 < IQA \leq 70$) até a estação de Iguatama, mantendo este IQA até a represa de Três Marias. Com relação à contaminação por tóxicos, os autores detectaram *Baixa* concentração de tóxicos na estação de Vargem Bonita e *Alta* concentração na estação de Iguatama.

Nada indica que a Zona Cárstica de Pains tenha qualquer influência no resultado de *Alta* concentração de tóxicos registrado na estação Iguatama, uma vez que a mesma encontra-se a montante da foz do rio São Miguel, entretanto outras estações a jusante também apresentaram *Alta* concentração por tóxicos, o que pode ser um resultado da queima dos resíduos industriais nos fornos de indústrias de calcinação.

ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Mourão *et al.* (2001) avaliaram a qualidade das águas subterrâneas em Minas Gerais incluindo referências aos aquíferos cársticos e físsuro-cárstico da região cárstica de Arcos-Pains.

As águas subterrâneas do Sistema Aquífero Cárstico foram classificadas como bicarbonatadas cálcicas e/ou magnesianas, com predomínio das cálcicas, com valores de dureza bem variáveis (7,2 a 890 mg/L), assim como de condutividade elétrica (42 a 2.236 $\mu\text{S}/\text{cm}$). A alcalinidade apresentou valores de até 1.500 mg/L e as baixas concentrações de cálcio e magnésio apontadas pelos autores como função da proximidade das áreas de recarga, que caracterizam águas em estágio inicial de evolução química. O caráter básico da água foi apontado como fator distintivo do aquífero, com valores médios de pH de 7,70, podendo atingir até o pH de 9,0.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

No Sistema Aquífero Fissurado-Cárstico predominam as águas bicarbonatadas magnesianas, bicarbonatadas sódicas e mistas. A condutividade elétrica e a dureza, assim como no Sistema Aquífero Cárstico, variam em amplo intervalo, apresentando valores médios de 427,47 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 201,98 mg/L, respectivamente. O pH apresentou valor médio de 8,0 também se caracterizando básico.

O uso da água subterrânea para consumo humano em regiões cársticas apresenta restrições devidas aos aspectos físicos, organolépticos e químicos. Parâmetros como a cor, a turbidez, o ferro e manganês ocorreram com maior frequência acima dos limites de potabilidade (Mourão *et al.*, 2001). Parte dos problemas de qualidade das águas subterrâneas para o consumo humano deve-se, segundo os autores, a fatores construtivos, operacionais ou de localização da obra de captação de água subterrânea com referência a focos contaminantes.

Normalmente os aquíferos cársticos são altamente vulneráveis à contaminação, sendo mais acentuada essa vulnerabilidade natural nas regiões de afloramento, ou de recarga direta do sistema. Quando sotopostos aos solos ou às seqüências metapelíticas, entretanto, mostram-se mais protegidos devido à possibilidade de atenuação ou até mesmo de remoção dos contaminantes durante a recarga indireta. Os pontos de mistura de águas superficiais e subterrâneas, como as dolinas, as surgências e os sumidouros, são setores específicos que contribuem para a alta vulnerabilidade natural do sistema aquífero cárstico. Uvalas também são setores que atribuem uma alta vulnerabilidade natural à contaminação, como as uvalas Mina, Sócrates e São Miguel.

A vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero cárstico nas imediações da Gruta do Éden ratifica a subdivisão da área de influência mínima do Sistema Éden, em área de influência direta e indireta, uma vez que tal discriminação foi baseada, também, na eficiência à recarga do carste em cada uma dessas áreas.

Sob o ponto de vista da vulnerabilidade à contaminação, poços mal construídos exercem o mesmo papel de dolinas localizadas na área de influência indireta do Sistema Éden, visto que podem facilitar, de forma pontual, a poluição e até mesmo a contaminação das águas subterrâneas. Desta forma, poços tubulares mal construídos tendem a aumentar,



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

ainda mais, a vulnerabilidade natural do sistema aquífero cárstico na área de influência mínima.

Além de estar margeada a nordeste pela cidade de Pains, que concentra uma gama de fontes poluentes e constitui um grande setor de pressão antrópica, no que se refere à mudança da qualidade natural da água subterrânea no sistema aquífero cárstico da área de influência mínima do Sistema Éden, dentro de seus limites, podem ser apontadas significativas pressões antrópicas da Zona Cárstica de Pains.

Dentre essas pressões antrópicas sobre o Sistema Éden, deve-se primeiro considerar aquelas que atuam na alteração da qualidade da água subterrânea na abrangência da área de influência mínima estabelecida. Assim, é possível, de forma mais abrangente, interpretar possíveis impactos no sistema espeleológico. Considera-se aqui, inicialmente, os pontos de pressão antrópica existentes na área de influência direta e posteriormente os existentes na área de influência indireta do Sistema Éden.

Pressões antrópicas exercidas dentro dos limites da área de influência direta do Sistema Éden devem ser consideradas as atividades mais preocupantes do ponto de vista da alteração da qualidade natural da água subterrânea e conseqüente comprometimento dos diversos usos no sistema. Essas pressões podem causar impactos em curto prazo, devido à alta vulnerabilidade natural desta área, uma vez que a recarga natural é direta, cuja circulação hídrica na zona vadosa acontece de forma rápida e eficiente.

Na Sub-bacia Norte, na região de recarga rápida, encontram-se os mais significativos pontos de pressão antrópica quanto à alteração da qualidade natural das águas subterrâneas, que abastecem o Sistema Éden. Uma vez dentro do sistema, os contaminantes podem ser conduzidos por redes de condutos freáticos até a galeria de superfície potenciométrica da Gruta Éden, podendo alcançar a Uvala Pains na zona de descarga e até mesmo a captação de água para consumo humano do SAAE no rio São Miguel.

Os principais pontos de pressão são as áreas de expansão da cidade de Pains, ao longo da rodovia de acesso oeste, como o povoado Alvorada, onde ocorrem fossas negras e a utilização inadequada de dolinas para disposição de resíduos sólidos, como restos de



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

demolições, lixo hospitalar e lixo urbano, em geral, da cidade de Pains. Secundariamente, estão as áreas desmatadas para o início de frentes de lavras da Calcinação Pains Ltda, lavras clandestinas, que aumentam ainda mais a vulnerabilidade natural, facilitando a recarga direta do escoamento superficial. A figura 05 mostra o contexto das pressões antrópicas na Sub-bacia Norte da área de influência do Sistema Éden.

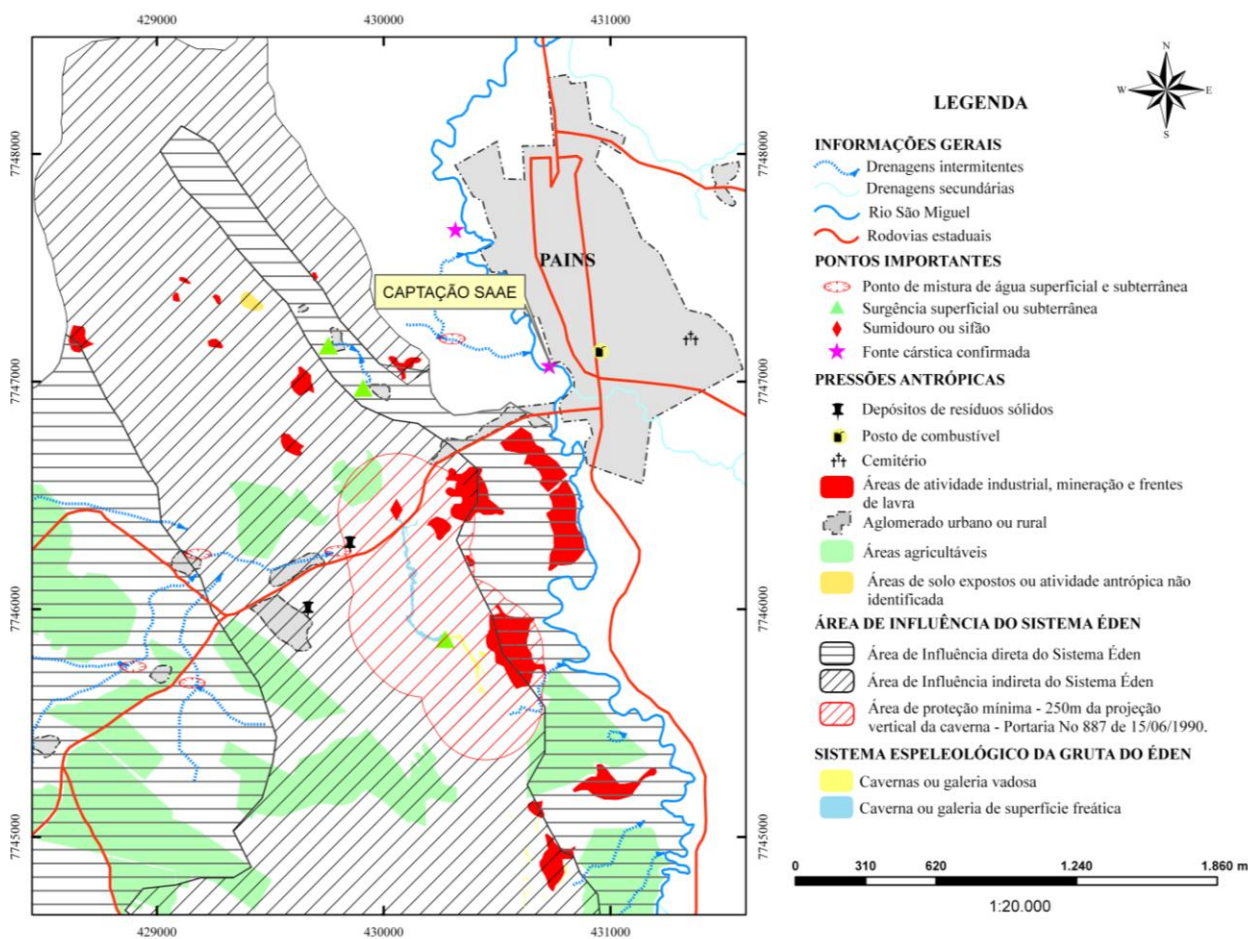


Figura 5 – Principais pressões antrópicas na Sub-bacia Norte da área de influência do Sistema Éden.

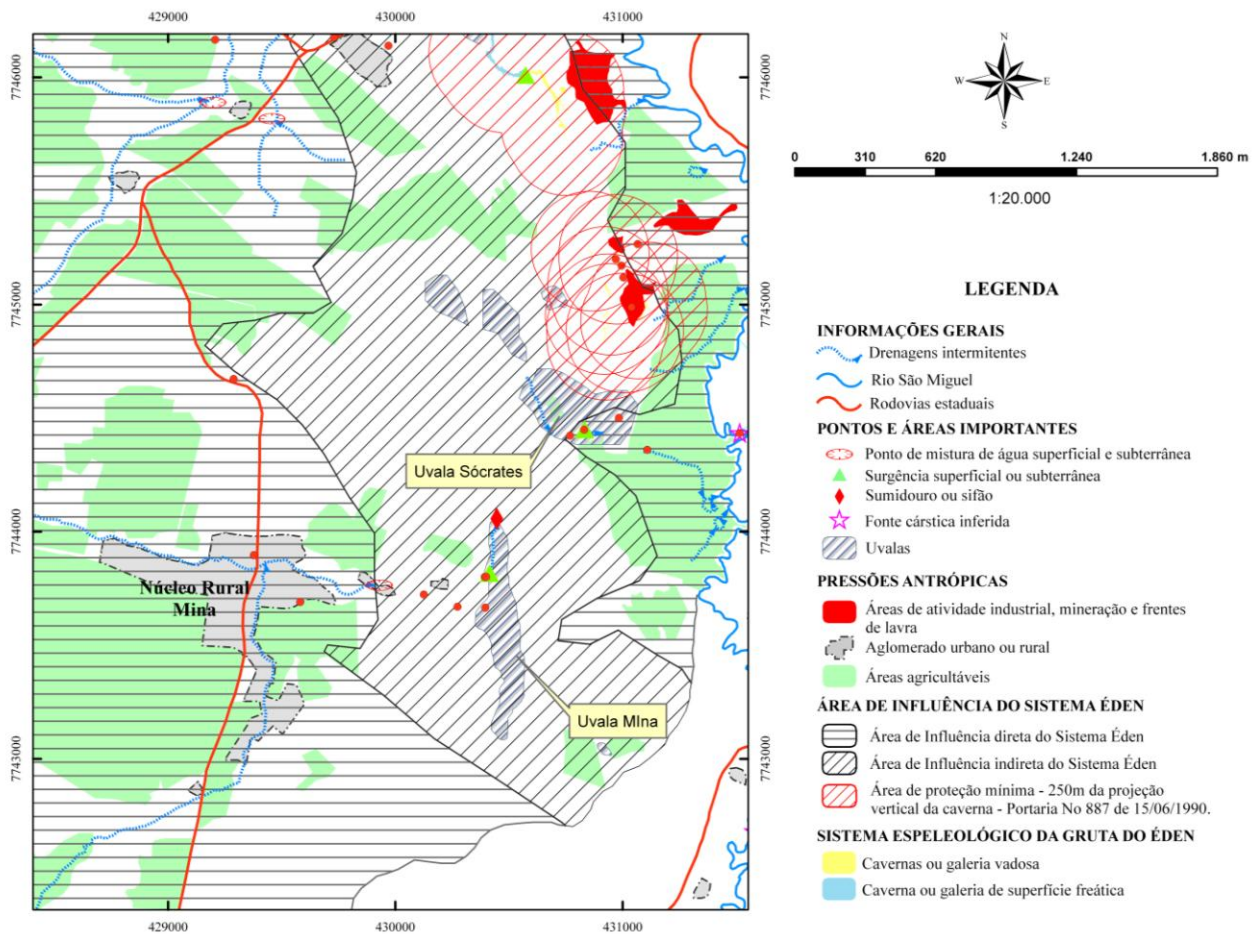
As áreas destinadas ao depósito de resíduos sólidos, na região do povoado de Alvorada, estão localizadas em setores estratégicos do ponto de vista da dinâmica hídrica do carste no Sistema Éden, trata-se de uma região de mistura de águas superficiais e subterrâneas, dolinas e rios secos que captam o *run off* e promovem a recarga direta do



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

excedente hídrico na rede de condutos freáticos que abastecem a galeria se superfície potenciométrica da Gruta do Éden. Um dos aterros clandestinos, inclusive, encontra-se dentro da área de proteção mínima da gruta, estabelecida na Portaria N^o 887 de 15/06/1990.

Pressões antrópicas exercidas dentro dos limites da área de influência indireta também devem ser consideradas e monitoradas, uma vez que, apesar de ser uma área de recarga indireta do sistema aquífero cárstico e os solos possuem uma capacidade natural de depuração de poluentes, durante o período chuvoso o escoamento superficial, destinado às dolinas nos pontos de mistura, pode proporcionar uma recarga indesejada. A figura 06 mostra o contexto geral das pressões antrópicas na Sub-bacia Sul da área de influência do Sistema Éden.





MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Figura 6 – Principais pressões antrópicas na Sub-bacia Sul da área de influência do Sistema Éden.

Na Sub-bacia Sul as pressões antrópicas estão concentradas essencialmente na área de influência indireta do Sistema Éden. Dentre as fontes de poluição pode-se destacar o núcleo rural Mina, onde a pressão está relacionada à questão da destinação dos dejetos humanos e efluentes domésticos, os quais são conduzidos até fossas negras, muitas vezes dolinas, ou mesmo permanecem escoando a céu aberto. Em segundo plano, também são problemas relevantes, o acúmulo de esterco de animais em currais, aviários e pocilgas, juntamente com cemitérios de animais.

Apesar de predominar uma agricultura de subsistência na área de influência indireta e de haver uma capacidade de depuração natural de poluentes pelo solo, a eventual utilização de defensivos agrícolas também deve ser considerada como uma possível fonte difusa de poluição da água subterrânea.

No que se refere às fontes difusas de poluição, mais relevante do que as áreas agricultáveis, deve-se considerar a questão da contaminação dos solos, em toda a Zona Cárstica de Pains, por metais pesados (Ba, Cd, Pb, Co, Cr, Cu, Ni e Zn). A região de Pains recebeu, por pelo menos 20 anos, contaminantes na atmosfera advindos da queima de resíduos industriais nos fornos de calcinação (Borghetti, 2002). Considerando a possível precipitação e infiltração de tais contaminantes nos solos e da região, Borghetti (2002) analisou a fração fina (< 0,088 mm) da parte superior dos solos, nos arredores das atividades minerárias, e observou que os solos analisados apresentam anomalias significativas de Ba, Cd, Cr e Co, quando comparado à composição do substrato rochoso e aos valores limites de referência para concentração de metais pesados em solos, estando fortemente contaminados por cádmio (Cd) e moderadamente contaminados por bário (Ba) e cromo (Cr).

Segundo o autor, a fonte principal do Cd é a queima dos resíduos industriais nos fornos e industriais de calcinação da região, cuja dispersão é realizada pelo vento, as anomalias de Ba, Cr e Co são decorrentes da influência do substrato rochoso, os valores de Ni



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

e Pb são relativamente baixos e as anomalias de Zn e Cu são decorrentes de atividades antrópicas pontuais em aglomerados rurais.

A lixiviação destes poluentes na área de influência indireta do Sistema Éden pode ocorrer por recarga indireta, pela infiltração nos solos durante seguidos períodos chuvosos, ou por meio da recarga direta através de dolinas e pontos de mistura do escoamento superficial com a água subterrânea. Desta forma as pressões antrópicas exercidas pelas indústrias de calcinação, estejam elas presentes dentro da área de influência ou fora de sua abrangência, constituem a mais importante fonte de poluição difusa da região, podendo alterar significativamente a qualidade natural da água subterrânea, provocando, inclusive, a contaminação, por metais pesados, do manancial subterrâneo, no sistema aquífero cárstico da Gruta do Éden, além de toda a Zona Cárstica de Pains.

Em segundo plano, fontes pontuais de metais pesados em núcleos rurais como Mina, também podem exercer impactos na qualidade da água subterrânea. Na cidade de Pains a poluição da água subterrânea pode estar relacionada às atividades domésticas e industriais. As principais fontes contaminantes encontradas na cidade de Pains e em suas imediações podem ser classificadas quanto à distribuição espacial da seguinte forma:

➤ ***Fontes pontuais de atividades domésticas***

Esta classe abrange fontes relacionadas a áreas de recepção de substâncias líquidas e sólidas de origem orgânica ou inorgânica. Fossas negras ou sépticas, localizadas individualmente em várias residências, pontos de disposição de resíduos sólidos, localizados muitas vezes nos próprios quintais das residências, incluindo lixo doméstico em geral, dejetos animais, restos mortais de animais e restos de produtos tóxicos e radiativos. Muitas vezes a disposição de resíduos é feita em valas clandestinas, que aproveitam pontos de depressão natural, como dolinas e uvalas, para o aterro de dejetos. Nesta classe também entra os cemitérios, oficiais ou clandestinos, destinados ao aterro de restos mortais humanos.

➤ ***Fontes pontuais de atividades industriais e comerciais***



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Esta classe abrange fontes relacionadas a áreas destinadas ao armazenamento e contenção de substâncias orgânicas e inorgânicas. Bacias de contenção de resíduos de mineração, depósitos de rejeito mineral, pontos de disposição de resíduos hospitalares, resíduos provenientes de matadouros, tanques de armazenamento de combustível derivado de petróleo, seja nas áreas de mineração ou nos postos de gasolina da cidade e áreas destinadas ao estoque de defensivos agrícola.

➤ ***Fontes difusas***

As fontes de poluição difusa podem ser consideradas como material sólido disseminado nos solos, na forma de óleos, graxas, fezes humanas e animais, e partículas em suspensão no ar, na forma de poluentes atmosféricos, como emissões de veículos automotores, fumaças de fornos de calcinação, queimadas e incinerações de lixos. As fontes de poluição que estão em suspensão no ar ocorrem na forma de partículas finas que são disseminadas pelo vento, em uma ampla área, e depositadas na superfície do solo. O material sólido, juntamente com os poluentes presentes na superfície dos solos é carregado por escoamento superficial durante os eventos de precipitação pluviométrica até as drenagens superficiais ou até dolinas, uvalas e acessos artificiais (poços mal construídos), atingindo facilmente as águas subterrâneas.

➤ ***Fontes lineares***

Esta classe abrange fontes projetadas para reter substâncias durante o transporte, representada principalmente, segundo informações da prefeitura local, pelo sistema de coleta de esgoto. Na cidade de Pains embora não haja tratamento de esgoto há coleta e lançamento direto no rio São Miguel. Os vazamentos existentes nestas redes de esgoto são as principais formas de contaminação do aquífero cárstico na área de abrangência do sistema de coleta. Cada vazamento, individualmente, pode ser considerado uma fonte pontual e ao longo de um ramal específico uma fonte linear, mas o conjunto de vazamentos ao longo de todo o sistema de coleta consiste numa fonte difusa. Independentemente da classificação quanto à distribuição espacial, os



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

vazamentos em redes de esgoto são a principal forma de recarga indesejada dentro de uma área urbana.

As fontes acima relacionadas ocorrem essencialmente na cidade de Pains e apesar de não exercerem influência direta no Sistema Éden, podem comprometer a qualidade da água superficial neste trecho do rio São Miguel, prejudicando inclusive o sistema de abastecimento público de água para consumo humano da cidade.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A manutenção dos ecossistemas espeleológicos depende fundamentalmente da dinâmica hídrica da caverna ou do sistema de cavernas, mas também depende essencialmente da manutenção da qualidade da água subterrânea e ou superficial envolvida na dinâmica hídrica. É principalmente a qualidade da água associada ao ambiente cavernícola que determinam, juntamente com o clima, ou micro-clima, e a dinâmica hídrica, as condições para a vida no sistema cavernícola.

Pressões antrópicas com interferência na qualidade natural das águas subterrâneas de um carste podem comprometer por completo a existência de vida, causar a extinção de espécies endêmicas e principalmente comprometer o uso do ambiente espeleológico, seja ele social, turístico, científico, cultural ou artístico.

As diversas formas de contaminação das águas subterrâneas ocorrem por meio da infiltração da carga contaminante através do solo até atingir a zona saturada do aquífero cárstico ou pela introdução dos contaminantes pela recarga direta nesses aquíferos, através das dolinas, uvalas, afloramentos expostos e demais pontos de vulnerabilidade presentes no carste.

Resumidamente, as áreas de pressão antrópica possuem fontes potencialmente poluentes, cuja contaminação da água subterrânea pode ocorrer dos seguintes modos:

1. Saneamento in situ (Fossas) e vazamento e/ou lançamento de esgotos domésticos (Rede de esgoto)

Provavelmente este modo de contaminação seja um dos principais. Fossas, drenos e vazamentos em sistemas coletores e transportadores de resíduos domésticos contribuem para que o esgoto filtrado infiltre e alcance a água subterrânea. A disposição de efluentes domésticos em fossas é a forma mais comum e fácil de descarte dos resíduos gerados numa residência. No entanto, a falta de critérios de segurança na construção das mesmas representa um risco potencial à poluição das águas subterrâneas.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Segundo Fetter (1994) as fossas ou tanques sépticos representam grande risco à contaminação das águas subterrâneas, principalmente em áreas onde: (a) há uma grande densidade de fossas; (b) os solos são permeáveis; (c) o nível d'água subterrânea é raso.

Os efluentes domésticos possuem elevadas concentrações em carbono orgânico, cloreto, nitrogênio, sódio, magnésio, sulfato e alguns metais, incluindo ferro, zinco, cobre, além de concentrações variadas de microorganismos patogênicos Hirata (2001).

Segundo Wilhelm et al.(1994), o efluente proveniente das fossas ou redes de esgoto, ao fluir para a zona saturada sofre uma evolução geoquímica durante o processo de percolação no meio poroso. Tal evolução é controlada, principalmente, por reações de oxidação-redução, e, entre essas transformações, o nitrogênio, sob a forma de nitrato, pode ser o de maior potencial para contaminação das águas subterrâneas. O nitrato (NO_3^-) é persistente, com grande mobilidade e não degrada facilmente em meio aeróbico. Em teores acima 10mg/L N- NO_3 (aproximadamente 45 mg/L NO_3), pode causar doenças como a metahemoglobinemia e câncer gástrico (USEPA, 1995).

2. Disposição final de resíduos sólidos domésticos (Lixão)

A produção de lixo nas cidades e no meio rural normalmente convive com problemas relacionados à sua disposição final. No meio rural é comum a incineração dos resíduos nas propriedades, enquanto que nas cidades o lixo normalmente é coletado e disposto em aterros sanitários controlados ou não, ou depositados em lixões.

O lixo constitui-se de inúmeros resíduos incluindo os domésticos, e muitas vezes hospitalares, industriais e ainda entulhos de materiais descartados da construção civil.

A infiltração da água das chuvas comumente percola o lixo e transporta um líquido altamente tóxico proveniente da decomposição dos resíduos depositados, denominado chorume. Segundo Manoel Filho (2000), o chorume tem um alto valor



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

de sólidos totais dissolvidos (STD) e pode conter ainda muitos contaminantes orgânicos e inorgânicos, metais pesados, cloretos, compostos nitrogenados, entre outros.

O chorume atravessa facilmente a zona não-saturada e atinge os aquíferos formando uma pluma de contaminação.

3. *Cemitério*

Nos cemitérios a decomposição dos cadáveres gera o necrochorume. O necrochorume liberado da decomposição dos cadáveres em cemitérios é composto por 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, sendo duas altamente tóxicas: a putresina e a cadaverina.

Esses líquidos são altamente tóxicos e podem causar contaminações de aquíferos, sobretudo em áreas mais vulneráveis, com solos rasos e/ou arenosos, recarga direta da água da chuva nos aquíferos, nível estático raso.

Segundo Braz et al. (2000), em águas possivelmente contaminadas por cemitérios, microorganismos como clostridium, salmonela, bactérias lipolíticas e proteolíticas devem ser pesquisados.

4. *Vazamento de combustíveis (Reservatórios de postos de venda ou industriais)*

Esse tipo de contaminação potencial das águas subterrânea pode ser desempenhada pela presença de postos de combustíveis e de tanques de armazenamentos de combustíveis em propriedades rurais e industriais. O problema está diretamente relacionado a possíveis vazamentos acidentais.

Os contaminantes mais importantes presentes na gasolina, do ponto de vista de potencial dano à saúde, são os hidrocarbonetos aromáticos benzeno, tolueno, etilbenzeno e os isômeros do xileno. Estes compostos, coletivamente denominados de BTEX, têm o comportamento em água subterrânea bem estudado (Oliveira, 2001).

A contaminação de águas subterrâneas por compostos orgânicos deste tipo representa também sérios problemas à saúde pública (Tiburtius et al., 2004), sendo o



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

caráter tóxico do benzeno relacionado diretamente com o seu potencial carcinogênico e mutagênico.

Outra forma importante de contaminação a ser considerada, tanto da água subterrânea como a superficial é a lixiviação de contaminantes existentes no solo, principalmente na fração fina do solo. Neste caso a contaminação pode ser consequência tanto da atividade antrópica, em aglomerados rurais e urbanos, como da precipitação, durante o período chuvoso, da fumaça, espalhada pelo vento, da queima de resíduos industriais nas calcinações, propiciando o acúmulo de substâncias estranhas à qualidade natural da água, como até mesmo metais pesados nocivos ao homem.

Visando garantir a manutenção da qualidade natural dos recursos hídricos associados a uma cavidade natural, ou um sistema espeleológico, e até mesmo prevenir futuros problemas com possíveis produções de contaminações, sejam elas diretas ou indiretas, ou ainda estabelecer atividades de remediação e recuperação, caso necessário, é fundamental a elaboração de um plano de controle e monitoramento das fontes, ou possíveis fontes poluidoras na área de influência.

O plano de controle e monitoramento consiste em um conjunto de coletas de amostras de água, subterrânea e superficial, realizadas sistematicamente, com periodicidade pré-estabelecida, com pontos pré-definidos e parâmetros químicos e biológicos previamente selecionados, conforme a fonte de poluição monitorada e cargas contaminantes associadas.

Com a implantação de um plano de monitoramento na área de influência mínima estabelecida para o Sistema Éden, almeja-se caracterizar hidroquimicamente a água subterrânea e superficial do compartimento hidrogeológico onde está inserido o Sistema Éden, bem como as possíveis cargas contaminantes associadas às atividades antrópicas presentes na área de influência. Para tanto, deve-se considerar a área de influência mínima, suas imediações, como o rio São Miguel, e a localização das atividades potencialmente poluidoras citadas anteriormente, inclusive a cidade de Pains.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Nas amostras de água de todos os pontos é imperativo que sejam analisados, como pacote mínimo, os seguintes parâmetros físico-químicos e bacteriológicos: *cor, pH, Eh, temperatura, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, sólidos em suspensão, dureza, alcalinidade, ferro total, manganês, sódio, potássio, cálcio, cloreto, bicarbonato, carbonato, sulfato, magnésio, bário, cromo, cobalto, coliformes totais e coliformes fecais, inclusive E-coli*. Os demais parâmetros a serem analisados estão listados e relacionados (Tabela 1) conforme cada atividade potencialmente poluente.

Tabela 1 – Relação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em função de cada fonte potencialmente poluidora;

| Fonte de poluição | Atividade antrópica associada | Carga contaminante associada | Parâmetros a serem analisados além do pacote básico |
|--------------------------|--|--|--|
| Fossas negras | Saneamento <i>in situ</i> em aglomerados urbanos e rurais. | Compostos nitrogenados, bactérias patogênicas e vírus. | NO_3^{-2} , NO_2^{-} , NH_4^{+} , fosfato total e hepatite ¹ ; |
| Efluentes domésticos | Esgoto a céu aberto e sistema de coleta e transporte de efluentes domésticos em aglomerados urbanos e rurais. | Compostos nitrogenados, bactérias patogênicas e vírus. | NO_3^{-2} , NO_2^{-} , NH_4^{+} , Cl^{-} , Zn, Cu e hepatite ¹ ; |
| Lixão (chorume) | Disposição final de resíduos sólidos domésticos e valas clandestinas, dolinas e aterros sanitários, incluindo lixo e entulhos em geral, inclusive lixo hospitalar. | Metais pesados, compostos nitrogenados, bactérias patogênicas. | NO_3^{-2} , NO_2^{-} , NH_4^{+} , Pb, Cu, Zn, Ni, Hg, DQO, oxigênio dissolvido ² ; |
| Cemitério | Disposição final de | 60% de água, 30% | Coliformes fecais, |



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

| | | | |
|---|---|---|--|
| (necrochorume) | corpos humanos e de animais em aglomerados urbanos e rurais. | de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, inclusive tóxicas. | coliformes totais, bactérias heterotróficas, clostridium, salmonela, bactérias lipolíticas e proteolíticas, oxigênio dissolvido ² , putresina e cadaverina; |
| Tanque de combustíveis fósseis | Postos de combustíveis e tanques isolados em áreas de mineração e indústrias. | BTEX - benzeno, tolueno, etilbenzeno e isômeros do xileno. | BTEX e DQO; |
| Matadouros | Abate de animais em áreas rurais isoladas ou em áreas de expansão urbana. | Cromo e bactérias patogênicas. | Cr, DBO, oxigênio dissolvido ² ; |
| Estoque de defensivos agrícolas | Áreas agricultáveis. | Compostos nitrogenados e metais pesados. | NO ₃ ⁻² , NO ₂ ⁻ , NH ₄ ⁺ , As; |
| Bacias de contenção do escoamento superficial | Áreas de mineração e industria. | Sedimentos finos com metais pesados. | Cd, Ni e Pb; |
| Fumaça do forno de calcinação | Áreas de atividade industrial e mineração. | Solos com metais pesados na fração fina < 0,08mm. | Cd, Zn, Cu, Ni e Pb; |

¹ Parâmetro a ser analisado em condições extremas.

² Parâmetros a ser analisado no caso de águas superficiais.

Num primeiro instante, as análises devem ser feitas nos dois períodos sazonais, uma no período chuvoso e outra no período seco, totalizando no mínimo um ano hidrogeológico, cujo objetivo é compor um padrão de qualidade natural para uma comparação dos resultados do monitoramento em médio e longo prazo.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE ECOSISTEMAS
CENTRO NACIONAL DE ESTUDO, PROTEÇÃO E MANEJO DE CAVERNAS
SCEN Av. L4 Norte, Ed Sede do CECAV, CEP.: 70818-900
Telefones: (61) 3316.1175/3316.1572 FAX.: (61) 3223.6750

Para execução do monitoramento é fundamental o controle da qualidade da água nos três sistemas aquíferos encontrados na área de influência mínima estabelecida para o Sistema Éden, cobrindo toda sua extensão da zona de recarga lenta à zona de descarga. Os pontos de monitoramento devem ser intensificados nas imediações das fontes potenciais de contaminação, acompanhado as direções sugeridas de fluxo para água subterrânea na área. Deve-se aproveitar todos os pontos d'água para coleta, cisternas, poços profundos, lagoas, sumidouros, surgências, fontes, dolinas com água, córregos perenes, rio São Miguel e, inclusive, pontos ao longo da Gruta do Éden (pontos subterrâneos). Na zona de recarga rápida deve-se prever também coletas em pontos de circulação hídrica perene da zona vadosa, caso existam. Em área com ausência de pontos d'água, deve-se providenciar a construção de poços de monitoramento estratégicos.

Este plano de controle da qualidade da água e possíveis fontes poluidoras deve ser mantido como uma ação constante de monitoramento ambiental, podendo ser proposto como compensação ambiental às empresas de mineração e indústrias de calcinação, devidamente licenciadas, da Zona Cárstica de Pains, que arcarão com todos os custos associados às coletas, análises, cadastramento de pontos de coleta, construção de poços de monitoramento e consultorias especializadas. À medida da sua implantação e execução, deve ser revisto, em médio e longo prazo, por profissional especializado da área de hidrogeologia e conhecedor do carste para avaliação da eficiência na escolha dos pontos de coleta e dos parâmetros analisados.

A figura 7 apresenta um mapa de localização preliminar dos pontos de coleta de água subterrânea e superficial, dentro da área de influência do Sistema Éden e imediações, cujo objetivo é fornecer uma primeira proposta de plano de monitoramento, que sirva de ponto de partida, para caracterização hidroquímica e verificação da atual condição de poluição da água subterrânea e superficial, com vistas a garantir a integridade dos ecossistemas na Gruta do Éden e demais cavidades do sistema espeleológico, além da qualidade da água na captação para consumo humano do SAAE no rio São Miguel, através da manutenção da qualidade dos mananciais hidrogeológicos.

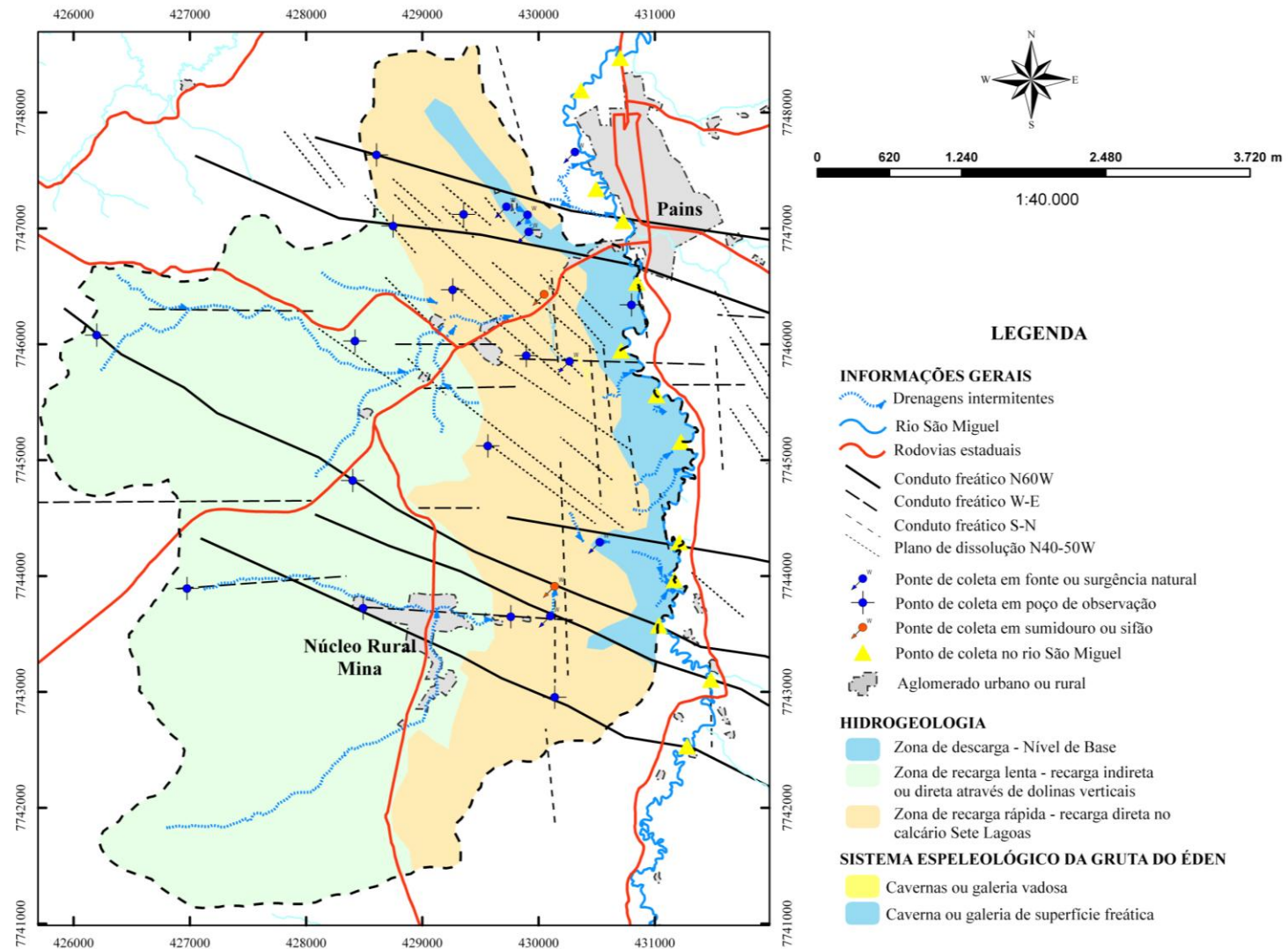


Figura 07 - Proposta preliminar dos pontos de coleta de água subterrânea e superficial dentro da área de influência do Sistema Éden e imediações

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGHETTI, C. 2002. A influência da indústria calcinadora na distribuição e na concentração de metais pesados nos solos da região de Córrego Fundo – Pains (MG).

BRAZ, V.; BECKMANN, L. & COSTA E SILVA, L. 2000. Integração de resultados bacteriológicos e geofísicos na investigação da contaminação de águas por cemitérios. 1st joint World Congress on Groundwater, Fortaleza-Brasil. CD-ROM.

FETTER, C.W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3 ed. New York, Toronto, 691 p.

MENEGASSE, L. N.; GONÇALVES, J. M. & FANTINEL, L. M. 2002. Disponibilidades Hídricas na Província Cárstica de Arcos-Pains-Doresópolis, Alto São Francisco, Minas Gerais, Brasil. Ver. *Águas Subterrâneas* Nº 16/Maio 2002, p. 1-19.

OLIVEIRA, E. 2001. A sombra do etanol. Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas Julho/2001 - Nº 116.

TIBUSTIUS, E. R. L.; PERALTA-ZAMORA, P. & LEAL, E. S. 2004. Contaminação de Águas por BTXS e Processos Utilizados na Remediação de Sítios Contaminados. *Quim. Nova*, Vol. 27, No. 3, 441-446.

WILHELM, S. R.; SCHIFF, S.L.; CHERRY, J.A. Biogeochemical evolution of domestic waste water in septic systems:1 Conceptual Model. *Ground Water*, 32 (6): 906- 916. 1994.

U.S.ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 1995. Drinking water regulations and health advisories. Office of water. Disponível em: www.epa.gov.