

PROJETO PARACATU

CONCEPÇÃO E RESULTADOS PRELIMINARES¹

Marcos Bartasson Tannús²
Patrícia Faleiro Pimentel²
Maria Eugênia Monteiro de Castro e Silva²
Ceres Virgínia Rennó Moreira³
Evandro Carrusca de Oliveira³

RESUMO

O Projeto Paracatu está sendo executado pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, com apoio financeiro do Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e de infra-estrutura da Prefeitura Municipal de Paracatu. Este projeto objetiva o estabelecimento de uma rota tecnológica ambientalmente adequada e economicamente viável para a remoção de mercúrio e ouro em sedimentos degradados pela atividade garimpeira, tendo como área piloto um trecho da planície aluvionar do córrego Rico, município de Paracatu, Estado de Minas Gerais, Brasil.

O projeto apresenta uma concepção multidisciplinar e será desenvolvido em quatro módulos. Os módulos I e II são definidores da tecnologia para a recuperação da área degradada, estabelecendo preliminarmente o seu custo/benefício. Os resultados obtidos nortearão os módulos III e IV, ou seja, a implantação e operação de unidades de concentração e recuperação do mercúrio e ouro contidos nos sedimentos aluvionares.

Neste trabalho são discutidos a concepção metodológica e os resultados obtidos até o momento com a execução das atividades referentes aos módulos I e II do projeto.

¹ Projeto financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq do Ministério de Ciência e Tecnologia do Brasil.

² Pesquisadores da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC.

³ Pesquisadores bolsistas do CNPq na Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC

1. INTRODUÇÃO

A poluição mercurial decorrente da atividade garimpeira tem sido objeto de vários estudos no Brasil, por ser esta uma importante fonte de contaminação.

Normalmente, a atividade extrativa mineral altera o meio ambiente, podendo tornar-se fonte de poluição e de degradação ambiental, quando empreendida sem medidas de controle adequadas. O garimpo de ouro, além de acarretar problemas como descaracterização da morfologia original do terreno, supressão da vegetação e assoreamento dos cursos d'água, pode gerar rejeitos contendo mercúrio metálico.

O descuido no manuseio do mercúrio vem também ocasionando a intoxicação dos operadores durante as etapas de concentração e queima do amálgama. O mercúrio metálico, lançado no meio ambiente, é volátil, podendo ser oxidado e então metilado para sua forma mais tóxica (metil-mercúrio) e incorporado nos organismos vivos via cadeia alimentar. Dessa forma, o mercúrio pode também ocasionar sérios danos à saúde dos animais e do ser humano.

Devido ao desconhecimento técnico-operacional desse processo e ausência de uma cultura para reciclagem do mercúrio, aliada ao custo relativamente baixo do metal líquido, grandes quantidades de mercúrio têm sido lançadas no solo, água e ar.

O uso de mercúrio nos garimpos de ouro justifica a necessidade de estudos voltados para o desenvolvimento de técnicas que visem ao seu uso adequado nos processos de concentração do ouro e à descontaminação de áreas poluídas por este metal. Diversos métodos têm sido desenvolvidos para remoção de mercúrio de efluentes industriais e de rejeitos do processo de amalgamação. Em geral, esses tratamentos envolvem processos físico-químicos como separação gravítica, precipitação química, coagulação, adsorção, troca iônica e extração por solvente, eletrooxidação e flotação. Também estão sendo avaliados métodos biológicos tanto durante o tratamento hidrometalúrgico (biolixiviação) do concentrado mineral quanto na remoção e recuperação de metais contidos em efluentes líquidos (biossorção).

No Brasil existem várias áreas degradadas pelo garimpo de ouro, com altos índices de contaminação por mercúrio, principalmente nas regiões Norte e Centro-Oeste e em alguns locais da região Sudeste, como por exemplo, no município de Paracatu, Estado de Minas Gerais.

Visando contribuir para a minimização desse problema, a Fundação CETEC está executando o projeto “Desenvolvimento de Tecnologia para Descontaminação de Áreas Degradadas pela Atividade Garimpeira, com Recuperação de Mercúrio e Ouro (*Estudo de Caso – Córrego Rico/Paracatu-MG*)”. Este projeto tem como objetivo o estabelecimento de uma rota tecnológica ambientalmente adequada para a remoção e recuperação do mercúrio e ouro em sedimentos degradados pela atividade garimpeira, tendo como área piloto um trecho da planície aluvionar do córrego Rico, município de Paracatu-MG. A recuperação do ouro minimizará os custos operacionais da descontaminação e proporcionará o estabelecimento de parâmetros pelos quais se poderá concluir em quais situações o empreendimento é economicamente viável e de interesse da iniciativa privada.

O Projeto Paracatu está sendo desenvolvido com o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e conta com apoio logístico e de infra-estrutura da Prefeitura Municipal de Paracatu.

2. A ÁREA PILOTO

A área piloto selecionada para o desenvolvimento do projeto está situada na planície aluvionar do córrego Rico, junto ao núcleo urbano de Paracatu (70 mil habitantes), cidade distante cerca de 500 km de Belo Horizonte e 220 km de Brasília. Essa área, com cerca de 3,0 hectares, compreende um trecho entre a rodovia BR-040 e as cabeceiras da drenagem, com uma extensão de aproximadamente 580 m (**Figura 1**).

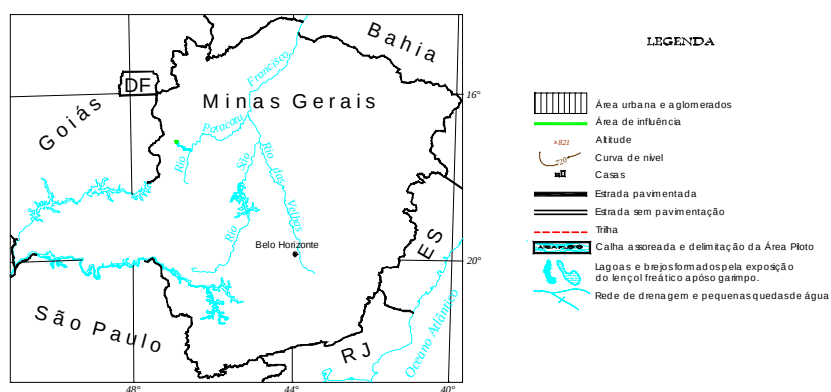
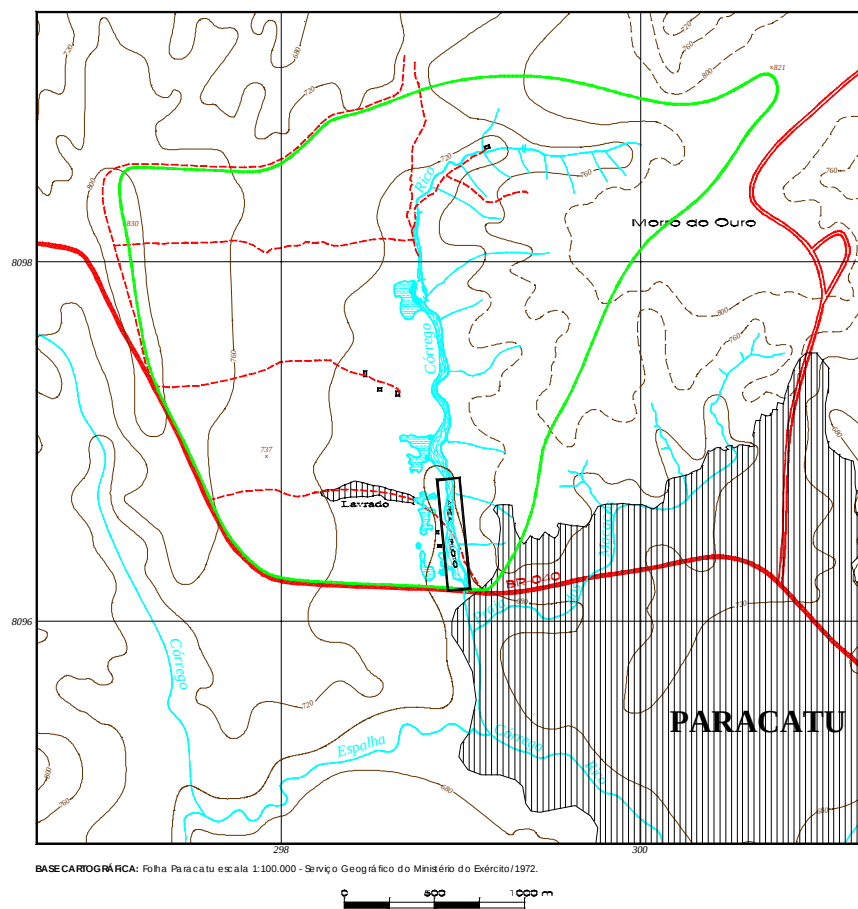
A área foi alvo de intensa atividade garimpeira, apresentando características físicas típicas de áreas degradadas pelo garimpo (**Fotos 1 e 2**), além de conter expressiva quantidade de mercúrio e ouro nos sedimentos. O córrego Rico tem suas nascentes no



Foto 1 – Vista da calha do córrego Rico.



Foto 2 – Material revolvido pela atividade garimpeira atual na calha do córrego Rico



6 Figura 1 – Localização da bacia do córrego Rico, da área de influência e da área piloto do projeto

local denominado Morro do Ouro, a uma altitude de 788 metros. Após drenar a cidade, o córrego Rico percorre um extensão de aproximadamente 60 km até desaguar na margem esquerda do rio Paracatu, afluente do rio São Francisco.

A atividade garimpeira no córrego Rico remonta a 1734, estando associada à povoação de Paracatu. No entanto, foi em meados da década de oitenta que ocorreu o evento garimpeiro de maior relevância na consecução do quadro de degradação ocorrente atualmente na área. Nesta ocasião, um contingente estimado em cerca de 5.000 homens empreendeu intensos trabalhos de garimpagem utilizando equipamentos diversos tais como bombas de sucção, calhas de concentração, moinhos de martelo etc. O mercúrio foi usado indiscriminadamente neste evento garimpeiro, inclusive nas calhas de concentração.

Embora o garimpo no córrego Rico tenha sido fechado, ainda na década de oitenta, pelos órgãos oficiais de controle e fiscalização mineral, a atividade garimpeira vem sendo desenvolvida de forma clandestina por alguns poucos habitantes de Paracatu, que utilizam sistemas rudimentares, como caixote/bica/bateia, e que também empregam o mercúrio no processo de concentração (Foto 2). Portanto, o principal agente poluidor da área foi o contingente de 5.000 homens que empreendeu o evento garimpeiro de meados da década de oitenta e que se dispersou posteriormente, migrando para outras regiões de garimpo.

3. CONCEPÇÃO METODOLÓGICA

O projeto apresenta uma abordagem multidisciplinar e desenvolvimento modular, prevendo-se a execução de quatro módulos. No momento estão em curso as atividades referentes aos dois primeiros módulos.

Conforme estabelecido na proposta básica (CETEC, 1998), no primeiro módulo estão sendo realizados levantamentos topográficos e geológicos, coletas e análises de amostras na planície aluvionar do córrego Rico, a montante da rodovia BR-040, definindo-se o perfil do aluvião, o volume de sedimentos e a concentração de mercúrio

e ouro, dentre outros parâmetros. Também está sendo realizada uma caracterização dos meios físico, biótico e socioeconômico da área de influência direta das cabeceiras do córrego Rico, bem como um levantamento do estado-da-arte da tecnologia pela identificação e obtenção de documentos técnico-científicos. Ainda neste primeiro módulo está sendo desenvolvida uma padronização dos métodos de análises químicas e biológicas a serem empregados no decorrer do projeto.

O monitoramento ambiental do hidrossistema do córrego Rico, com a coleta periódica de amostras de água e análise de parâmetros físico-químicos e biológicos, foi iniciado no primeiro módulo e terá prosseguimento ao longo do desenvolvimento dos quatro módulos.

O segundo módulo consta basicamente dos ensaios de concentração e recuperação do ouro e mercúrio a serem realizados em escalas de bancada e em planta piloto no CETEC. A partir das amostras de sedimento coletadas no decorrer dos levantamentos geológicos (primeiro módulo), estão sendo realizados ensaios granulométricos, análises mineralógicas e de composição química, e avaliado o comportamento do material quando submetido aos processos de biolixiviação, concentração gravítica etc. Este módulo definirá o processo de tratamento do sedimento para a extração do mercúrio e ouro, bem como de outros minerais com valor econômico. Também será avaliada a qualidade dos efluentes gerados pelo processo, quando então serão definidas as técnicas de descontaminação.

A partir dos resultados gerados no segundo módulo, serão dimensionadas as unidades de concentração e recuperação a serem implantadas em Paracatu. Desta forma, o terceiro módulo constará basicamente da implantação física das unidades de processamento no campo. A unidade de concentração será montada sobre pranchas, objetivando sua mobilidade pelo aluvião do córrego Rico. A unidade de recuperação deverá ser instalada em um galpão no núcleo urbano de Paracatu.

No quarto módulo, com a operação das unidades de concentração e recuperação, será aplicada a tecnologia desenvolvida em uma parcela da área piloto da planície aluvionar do córrego Rico. Nessa etapa, os sedimentos/rejeitos serão submetidos ao processo de descontaminação, ocorrendo a recuperação dos metais. A extensão da parcela da

área piloto será função do volume de sedimento necessário para alimentar a planta de concentração pelo período de quinze meses. Ressalta-se que durante a operação da unidade de concentração, o material já descontaminado será disposto de modo a favorecer a adequação da área à nova forma de uso, que deverá ser estabelecida em projeto pela Prefeitura Municipal de Paracatu.

Durante o desenvolvimento do projeto será realizada uma avaliação da viabilidade econômica e da eficácia da tecnologia sob o ponto de vista ambiental, bem como a identificação de potenciais interessados em aplicá-la em outras parcelas da área piloto ou em outras regiões degradadas pelo garimpo de ouro. Enfatiza-se a importância do “efeito demonstração” no processo de difusão e estímulo à aplicação da tecnologia desenvolvida.

O desafio e a inovação tecnológica do projeto consistem na adequação de processos, normalmente aplicados a minérios, ao tratamento de sedimentos/rejeitos, onde os teores metálicos presentes encontram-se erráticamente distribuídos devido ao revolvimento do aluvião provocado pelas atividades garimpeiras. Além disso, o avanço tecnológico esperado está pautado na concepção e desenvolvimento de etapas metodológicas, que incluem a aplicação de técnicas convencionais e não convencionais. Espera-se que esta sistemática permita o estabelecimento das melhores alternativas de investigação da área degradada, de caracterização dos materiais contaminados, de seleção dos equipamentos de concentração adequados a cada tipo de material, e por fim, o melhor método de recuperação dos metais contidos no concentrado.

Embora se anteveja avanços tecnológicos significativos nas atividades de caracterização da área degradada e dos materiais, além dos processos de concentração, é justamente na etapa de recuperação dos metais contidos no concentrado que reside a maior expectativa de inovação tecnológica, haja vista a gama de alternativas que devem ser avaliadas e testadas, incluindo processos biotecnológicos e químicos como biossorção de metais pesados, biolixiviação e flotação iônica.

O estabelecimento de procedimentos metodológicos adequados à intervenção na área aluvionar contaminada por mercúrio permitirá a realização de estudos para a adaptação da tecnologia desenvolvida para outras áreas contaminadas, tanto por mercúrio, quanto para outros metais, independentemente das características dos materiais contaminados ou da localização da área degradada.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

4.1 Caracterização da Área de Influência da Área Piloto

Visando a identificação das interferências que a área piloto vem sofrendo ao longo do tempo, está sendo realizada uma caracterização de sua área de influência, cuja delimitação espacial corresponde à área de contribuição hidrológica das cabeceiras do córrego Rico a montante da BR 040, com aproximadamente 640 hectares. O conhecimento das potencialidades e fragilidades da área de influência das cabeceiras do córrego Rico se justifica no estabelecimento de um diagnóstico sobre a magnitude dos efeitos e/ou interferências nos meios físico, biótico e socioeconômico já ocorridos e de um prognóstico sobre as alterações que advirão com a aplicação da tecnologia de descontaminação.

Foram efetuados levantamentos de dados secundários e primários considerados relevantes quanto à morfologia do terreno, à vegetação de entorno, aos aspectos geológicos e pedológicos e também indicadores socioeconômicos, tais como ocupação humana, uso da terra e situação fundiária. O levantamento das características hidrológicas e hidrogeológicas será executado em breve.

Os dados primários são coletados a partir de trabalhos de campo realizados por uma equipe multidisciplinar. Para a análise de alguns desses dados, o CETEC utiliza o seu laboratório de geoprocessamento, em especial os recursos disponíveis nos softwares IMAGINE ERDAS (para processamento digital de imagens de satélite) e ARCINFO (sistema de informações geográficas). As informações cartográficas são disponibilizadas em meio magnético.

- **Caracterização geológica**

Os levantamentos para a caracterização geológica da área de influência (OLIVEIRA, 2001) foram embasados pelo *Mapa Geológico do Morro do Ouro e Adjacências* (ZINI et al, 1988) e pela coluna estratigráfica definida por FREITAS-SILVA & DARDENNE (1992), verificando-se a ocorrência das seguintes unidades (**Figura 2**): Aluvião Recente, Aluvião Antigo, Solo Elúvio-Coluvial, Pelitos Laterizados / Lateridos e Formação Paracatu (Seqüência Morro do Ouro).

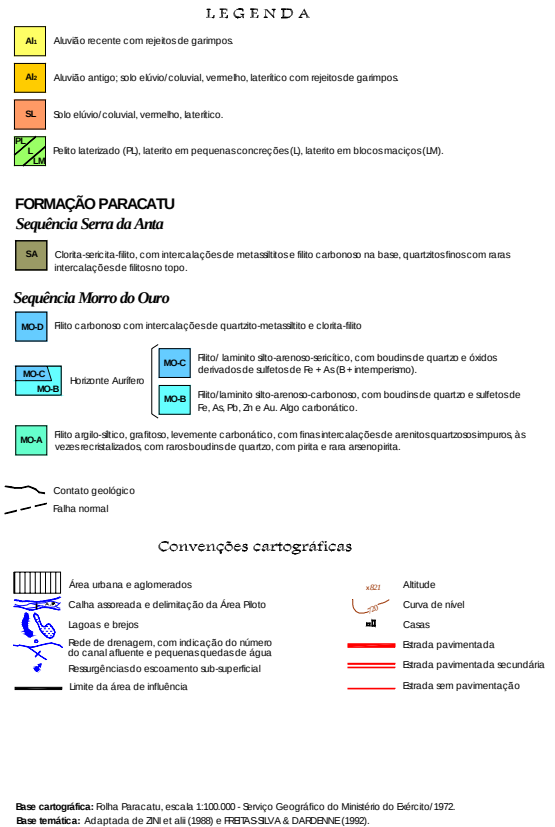
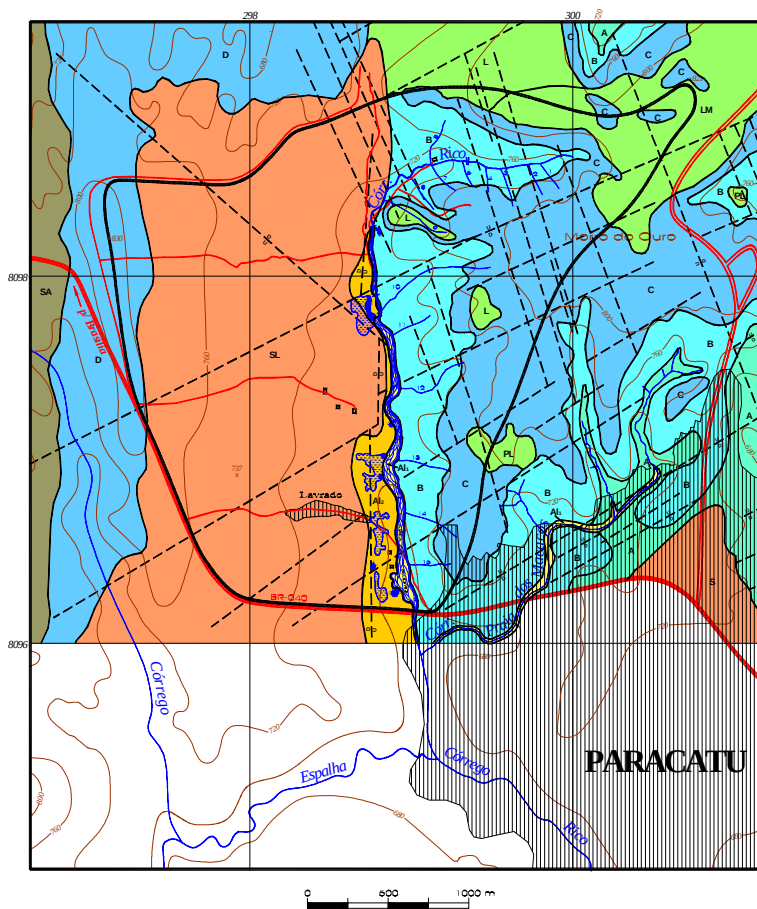
O **Aluvião Recente** é basicamente composto pelos rejeitos do garimpo, apresentando espessura de até 7,5 metros, sendo constituído por intercalações de camadas arenosas e argilosas, de espessuras variáveis, contendo seixos quartzosos. O **Aluvião Antigo** é constituído de areia grosseira com restos de solo elúvio/colúvial, vermelho e laterítico, e seixos resultantes de lavagem de garimpos antigos, às vezes consolidados.

O **Solo Elúvio-Coluvial** é argiloso, vermelho e laterítico, sendo resultante do intemperismo de rochas filíticas. **Pelitos Laterizados** e **Lateritos**, em pequenas concreções ou em blocos maciços, ocorrem nas cabeceiras do córrego Rico.

A **Seqüência Morro do Ouro da Formação Paracatu** é subdividida em quatro unidades. A Unidade A é constituída por filitos carbonosos com finas intercalações de quartzito. As Unidades B e C são auríferas, constituídas por filitos carbonosos com intercalações de quartzitos e sericita-clorita filitos, apresentando sulfetos e expressiva ocorrência de *boudins* de quartzo. A Unidade D é composta por filitos carbonosos com intercalações de quartzito, metassiltito e clorita filito.

- **Caracterização geomorfológica**

A área de influência está delimitada a oeste por uma crista que atinge a altitude máxima de 830 metros; e a leste pelo morro do Ouro, cujos topos, situados anteriormente entre as cotas 820-830 metros, estão descaracterizados pela atividade extrativa mineral. Ao norte o limite é pouco preciso, localizando-se em um trecho plano da vertente da margem direita do córrego Rico (MOREIRA, 2001).



5 Figura 2 – Mapa geológico da área de influência e da área piloto do projeto

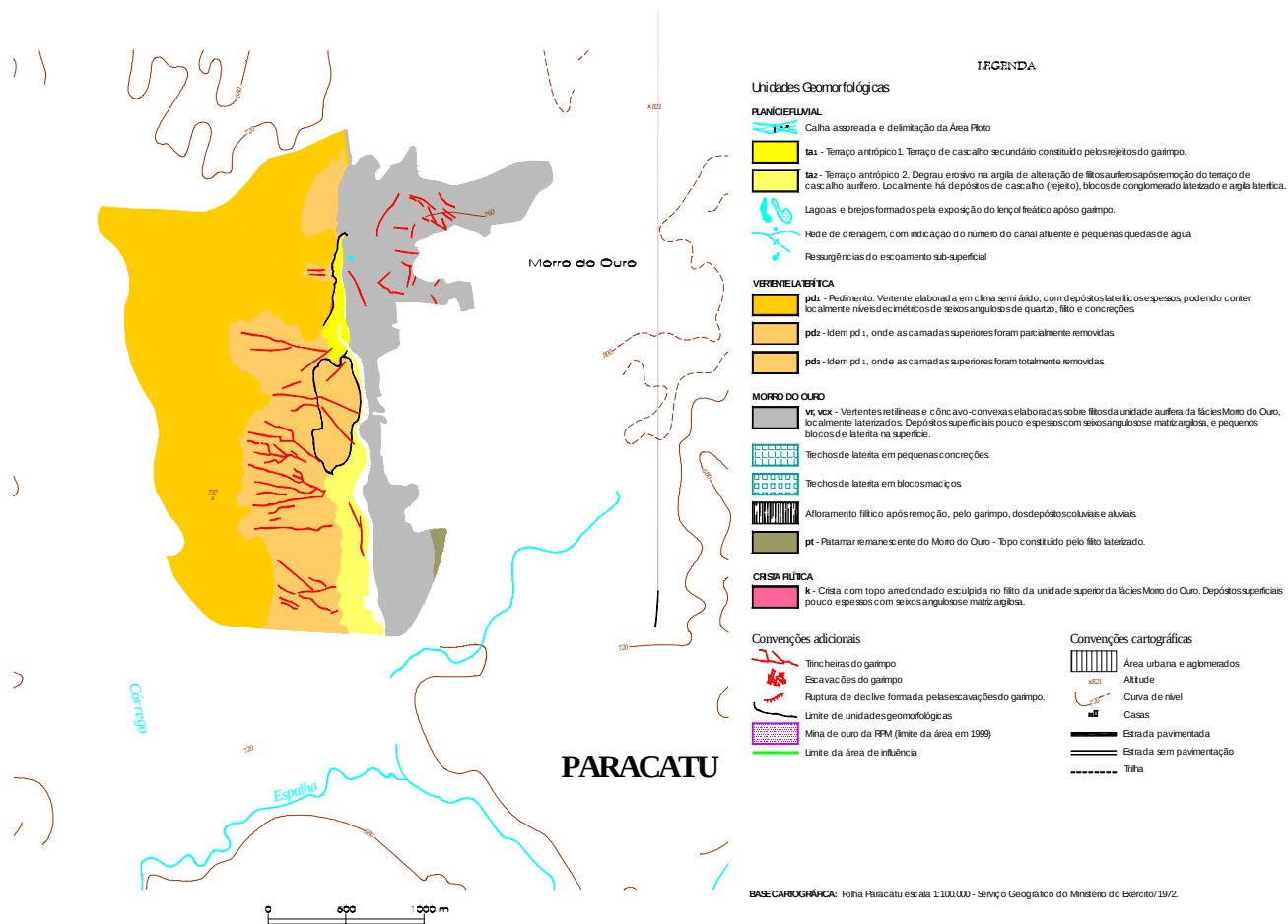
Apesar desse trecho da bacia abranger uma área de apenas 640 hectares, há compartimentos do relevo diversificados, aos quais superpuseram-se atividades humanas que provocaram grandes alterações e contribuíram para tornar a paisagem mais complexa. Foram definidas quatro unidades com subdivisões introduzidas por essas alterações: a Crista Filítica de oeste, a Vertente Laterítica da margem direita do córrego Rico, o Morro do Ouro e a Planície Fluvial do córrego Rico (**Figura 3**).

A **Crista Filítica** integra a unidade de relevo regional denominada Cristas de Unaí (CETEC, 1981), tendo o substrato constituído por filitos carbonosos com finas lentes de quartzito, cortados por veios de quartzito. A crista tem sua direção condicionada pela foliação NW-SE e faz parte das transcorrências que compõem o Sistema de Lineamentos Rio Escuro (FREITAS-SILVA, 1991). A superfície é revestida por uma cascalheira coluvial com espessura média de 15cm, onde são mais freqüentes os fragmentos de quartzito, laterita e filito entre 0,5 e 2cm e alguns entre 15 e 20cm.

A **Vertente Laterítica** é um pedimento elaborado durante a fase semi-árida entre o Terciário Superior e o Quaternário Inferior. Os processos erosivos intensos truncaram as rochas filíticas, constituindo um plano com inclinação média de 8%. Sobre a superfície acumularam-se depósitos colúvio- aluviais espessos, que podem atingir até 10m e deram origem aos latossolos.

O terraço de cascalho aurífero do córrego Rico, sob a forma de um conglomerado mal classificado, constituía a base dos depósitos coluviais lateríticos próximo ao canal de drenagem e, portanto, fazia parte da unidade da Vertente Laterítica. Este terraço foi intensamente trabalhado, restando poucos vestígios do mesmo. Um ou outro bloco de conglomerado muito coeso, fortemente oxidado, e depósitos de rejeito ainda podem ser encontrados, integrando agora a unidade da Planície Fluvial.

Por meio de fotos aéreas e trabalhos de campo identificaram-se alterações na vertente promovidas pelas sucessivas fases de garimpo (1734 – 1888 e 1985 – 1987). Na época colonial foram removidos até 6m dos depósitos superficiais em uma faixa com largura média de 500m e foi construída uma rede de canais em forma de “espinha de peixe” para a retirada do material.



4 Figura 3 – Mapa geomorfológico da área de influência e da área piloto do projeto

Pode-se supor que a razão que levou os garimpeiros a ultrapassar a faixa de ocorrência do conglomerado alúvio-coluvial e avançar até o terço médio da vertente, retirando os níveis superiores do depósito coluvial laterítico, seja a ocorrência de ouro na argila laterítica e/ou em níveis de cascalho coluvial (“*stone line*”) existentes no interior do colúvio.

A unidade **Morro do Ouro** é uma estrutura monoclinal elaborada sobre as rochas metapelíticas da Formação Paracatu (Seqüência Morro do Ouro), com declives predominantes NW e SW condicionados pelos mergulhos gerais da foliação e uma escarpa a leste voltada para a bacia do rio São Domingos controlada por uma frente de empurrão sobre as rochas da formação Vazante. O topo atingia cotas entre 820 e 830m e as vertentes convexas tinham declividades entre 15 e 30%. Pouco restou intacto na unidade Morro do Ouro com a exploração da jazida aurífera pela Rio Paracatu Mineração. As vertentes são rochosas, com o substrato caracterizado pelos filitos carbonosos rítmicamente alternados com níveis milimétricos de metarenitos. Nestas vertentes são observadas trincheiras e escavações diversas realizadas pelos garimpeiros da fase colonial. No contato com a planície fluvial afloram lajes de filitos em consequência da retirada de todo o depósito superficial durante a fase do garimpo mais recente (1985–1987).

A **Planície Aluvionar** é assimétrica e a maior parte do aluvião concentrava-se na margem direita. O córrego Rico nasce na cota 788m, percorre 1km no sentido E-W, quando então inflete e toma o sentido N-S adaptado a um falhamento normal, denominado Falha do Córrego Rico, por aproximadamente 2,5km até a BR-040. O terraço de cascalho que foi desmantelado situava-se sobre o falhamento e mostra que o córrego Rico deslocou-se de oeste para leste. Essa unidade está completamente degradada pelo garimpo, sendo composta pela calha assoreada pelos rejeitos e por dois trechos de terraço que, em virtude da alteração, foram denominados de terraços antrópicos.

O principal trecho assoreado da calha do córrego Rico tem um comprimento de 1,6km e largura variável entre 10 e 100m. Nesse perímetro foi delimitada a área piloto, em uma faixa de 580m de comprimento e largura variável a montante da BR 040. O fluxo

superficial assumiu uma característica anastomosada devido ao grande acúmulo de sedimentos proveniente do rejeito do garimpo na sua calha. A mudança dos canais superficiais dentro da calha é diária, pois o garimpo persiste até os dias atuais. Entre a área assoreada e as cabeceiras, o córrego Rico tem várias rupturas no perfil que formam pequenas quedas de água e flui sobre um leito rochoso. Durante as chuvas toda a extensão da calha é ocupada pela onda de cheia, mas cessada a chuva o fluxo retorna ao normal, que é um comportamento característico de canais de cabeceira.

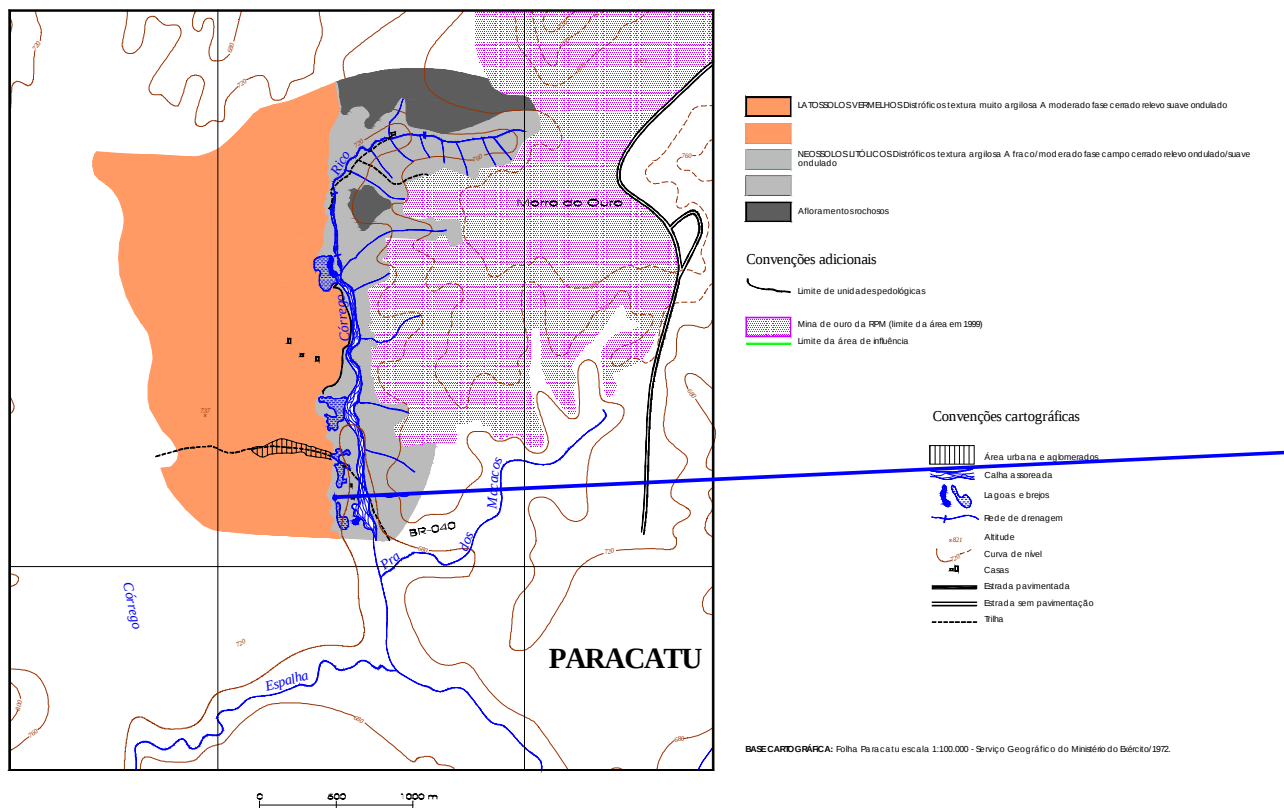
Os terraços antrópicos constituem planos situados entre 2 e 8m acima do leito do córrego, onde ocorria o conglomerado aurífero. Em alguns trechos os terraços são compostos por rejeitos arenosos com seixos arredondados, em outros são verificados blocos compactos de conglomerado. O garimpo mais recente começou a retrabalhar esses materiais, mas não avançou muito e deixou-os praticamente intactos.

- **Caracterização pedológica**

A partir dos levantamentos geomorfológicos foram identificaram os principais tipos de solos que ocorrem na área de influência. Durante os trabalhos de campo foram coletadas e descritas amostras de perfis representativos dos tipos de solos e realizadas análises físicas e químicas (FERNANDES et al, 2001).

Nas classes de nível de generalização mais elevado, os solos ocorrentes na área de trabalho foram agrupados em solos com horizonte B latossólico (Latosolos Vermelhos) e solos pouco evoluídos e sem horizonte B diagnóstico (Neossolos Litólicos e Neossolos Flúvicos). Todos os solos são distróficos e a textura predominante varia de muito argilosa a argilosa (**Figura 4**).

Sobre os trechos remanescentes das vertentes da Unidade Morro do Ouro e sobre a Crista Filítica desenvolveram-se Neossolos Litólicos; e sobre a Vertente Laterítica o Latossolo Vermelho, cujos horizontes superficiais foram removidos em grandes extensões pelo garimpo colonial. Os sedimentos/rejeitos que constituem o terraço antrópico foram classificados como Neossolos Flúvicos.



3 Figura 4 – Mapa de solos da área de influência e da área piloto do projeto

- **Caracterização do uso da terra e da cobertura vegetal**

A ocupação antrópica nas vertentes a leste da calha do córrego Rico é representada pelas frentes de lavra da Rio Paracatu Mineração, que explora o ouro contido nos filitos carbonosos da Sequência Morro do Ouro. Nas vertentes a oeste do córrego Rico situam-se pequenas propriedades rurais, dedicadas às atividades agro-pastoris, e um pequeno aglomerado populacional denominado Lavrado.

A partir da fotointerpretação das fotos aéreas e imagem de satélite LANDSAT foram delimitados os fragmentos da vegetação nativa representativos dos principais tipos fitofisionômicos da área: cerrado, campo cerrado, floresta estacional e floresta galeria. Esse mapeamento preliminar orientou os trabalhos de campo para a coleta de material botânico.

O campo cerrado e o cerrado alternam-se na superfície da Crista Filítica e do Morro do Ouro. Uma vegetação mais densa, com espécies arbóreas do cerrado, é observada em trincheiras e escavações abertas nos filitos pelos garimpeiros da fase colonial. A Vertente Laterítica tem uma cobertura vegetal e uma ocupação diversificada, com fragmentos da mata estacional primária, trechos em recuperação com uma vegetação de porte arbóreo tanto da mata estacional como do cerrado, canaviais e pastagens com braquiária, além de pomares e hortas do aglomerado do Lavrado.

A planície fluvial do córrego Rico era composta por dois níveis de terraços e uma várzea sazonalmente inundada, revestidos pela floresta de galeria. Atualmente, observa-se um nível de terraço antrópico caracterizado por uma superfície irregular onde as capineiras substituíram a vegetação da mata ciliar. O lençol freático aflora em alguns locais, formando brejos e pequenas lagoas ocupados por macrófitas aquáticas.

Com o novo ambiente criado pelo garimpo no alto curso, caracterizado durante este estudo, surgiu a necessidade de se coletar espécies de floresta galeria características de várzeas úmidas e alagadas durante grande parte do ano. Essas duas condições podem ser encontradas no baixo curso do córrego Rico em trechos de várzea e de mata galeria ainda preservados e que foram identificados pela interpretação de fotos

aéreas, imagens de satélite e trabalhos de campo. As espécies poderão eventualmente ser adaptadas às novas condições do alto curso.

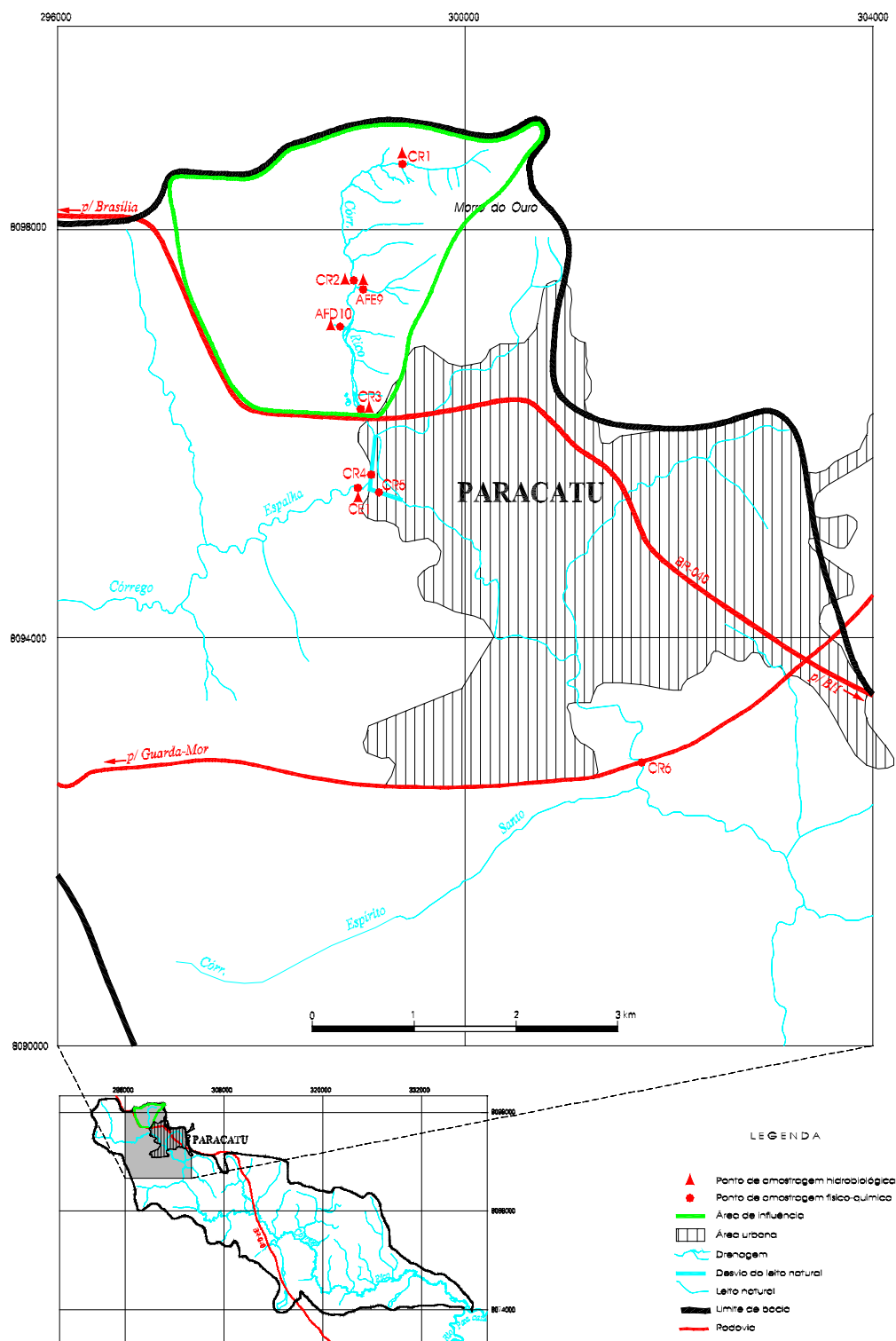
Nas três campanhas coletaram-se um total de 238 exemplares, sendo 95 na primeira campanha, 74 na segunda campanha, e 69 na terceira, assim distribuídos por formações: macrófitas aquáticas (32), cerrado (79), floresta galeria (96), floresta estacional (23) e vegetação de transição (8). O material está sendo analisado nos laboratórios do CETEC para identificação taxonômica. As sementes coletadas estão sendo testadas para posterior indicação das espécies mais adequadas para a recomposição da vegetação nativa.

- **Monitoramento do hidrossistema do córrego Rico**

O monitoramento do hidrossistema do córrego Rico subsidiará a análise da eficiência quanto aos aspectos de controle ambiental da tecnologia a ser desenvolvida, considerando os diversos estágios de sua aplicação e de intervenção na área degradada. O monitoramento teve início no primeiro módulo do projeto, já tendo sido realizadas três campanhas, duas no período seco e uma no período de chuvas. A rede de amostragem contempla nove pontos de coleta, sendo cinco pontos na área de influência e os demais a jusante da área piloto (**Figura 5**). São realizadas análises físico-químicas e biológicas da água. Nos pontos localizados na área de influência também está sendo avaliada a integridade biológica do sistema lótico.

A amostragem de água é efetuada como amostragem simples, de superfície, em conformidade com a Norma ABNT NBR 9898/1987, incluindo coleta, preservação, acondicionamento e transporte. Os ensaios de parâmetros específicos são realizados por métodos normalizados pela ABNT ou APHA (Standard Methods) com acompanhamento de brancos e padrões. No total são mensurados 32 parâmetros.

Os resultados das análises disponíveis até o momento, referentes à duas primeiras campanhas, detectaram concentrações de mercúrio total em cinco pontos de amostragem (CE1, CR4, CR5, CR6 e AFD10), com valores compreendidos entre 300 e 3.800 ng/L (CR5). O mercúrio solúvel foi detectado apenas no CR5, com uma concentração de 800 ng/L.



2 Figura 5 – Rede de amostragem de qualidade da água

Para o estudo da microfauna foram amostrados organismos perifíticos e pseudoperifíticos e organismos planctônicos. Os organismos perifíticos e pseudoperifíticos foram obtidos de amostras de substratos naturais (seixos e folhas). Os organismos planctônicos foram obtidos de amostras coletadas por meio da filtragem em rede de plâncton de 35 micrômetros de poro. As amostras “in natura” destinaram-se à análise da composição específica e as fixadas para quantificação dos táxons. As coletas das amostras de macroinvertebrados aquáticos foram executadas nos substratos pedregosos, arenosos e argilosos.

Preliminarmente, pode se afirmar que o córrego Rico apresenta um nítido gradiente longitudinal da composição quali-quantitativa de organismos, que pode ser associado ao maior grau de degradação ambiental no sentido de montante para jusante. A mata ciliar preservada, o menor revolvimento da calha e das margens e maior diversidade de habitats tornam as cabeceiras do córrego Rico (CR1) uma área mais protegida e estável, explicando a existência de uma fauna bentônica relativamente rica e com maior abundância, o que não é verificado a jusante, na área mais impactada pela atividade garimpeira (ALVES et al, 2001).

Para uma avaliação dos impactos desta atividade sobre a ictiofauna efetuou-se uma coleta de representantes da mesma em dois pontos de amostragem (CR1 e AFE9), com o objetivo de pesquisar a presença de mercúrio nas espécimes amostradas (CLÓVIS, 2001).

No ponto CR1, o córrego Rico possui uma pequena queda d'água, formando um poço com remanso logo abaixo. Aqui ele é raso, com o leito rochoso e as margens, tanto direita como esquerda, são cobertas por uma vegetação ciliar secundária rala. No ponto AFE9, o córrego Rico é raso, com fundo arenoso constituído pelo rejeito de garimpo e as margens, tanto direita como a esquerda, estão assoreadas e com acúmulo de rejeito.

Foram capturadas 31 espécimes de peixe, pesando no total 16,58g, com peso médio total de 0,53g, durante uma única campanha de amostragem, pertencentes às espécies *Astyanax fasciatus* (lambari-do-rabo-vermelho) *Astyanax lacustris* (lambari-do-rabo-amarelo) da família Characidae e da ordem Characiformes. Por realizarem migrações

sazonais e alimentares dentro do curso d'água, podemos encontrar essa espécie tanto em área a montante como a jusante dos pontos de contaminação pela atividade garimpeira. O lambari é uma espécie forrageira para as espécies consideradas comerciais como o dourado e o piau, capturados no córrego Rico a jusante dos pontos de amostragem. É um peixe que se alimenta principalmente de organismos bentônicos como larvas e adultos de insetos.

Após a filetagem, foram enviados ao Laboratório de Traços Metálicos do CETEC para a determinação quantitativa de Hg por Espectrometria de Absorção Atômica com vapor frio.

A maioria dos peixes contém naturalmente, traços de MeHg, alguns mais que outros. Nas áreas onde há poluição por mercúrio, o nível desse composto nos peixes pode ser bem mais elevado. Em geral, os níveis de MeHg em muitos peixes são inferiores a 10ng/g – 500ng/g. Em poucas espécies o MeHg alcança o limite de 1000ng/g estabelecido pela US. Food and Drug Administration para o consumo humano. Nos peixes do córrego Rico foram encontradas concentrações de mercúrio entre 850-1360 ng/g e estes valores ultrapassam a concentração máxima de tolerância estabelecida pelo Ministério da Saúde para o Brasil.

4.2 Caracterização da Área Piloto

O conhecimento sobre o volume de material contaminado pelo mercúrio na área piloto, os índices de contaminação e sua distribuição areal, assim como do seu conteúdo de ouro, é pressuposto básico para o sucesso deste desenvolvimento tecnológico. Para se obter este conhecimento, a planície aluvionar do córrego Rico foi alvo de estudos de detalhe que incluíram atividades de levantamento topográfico, mapeamento geológico de superfície, sondagem a trado mecânico, amostragem e análises químicas.

• Levantamento topográfico

Os serviços de topografia foram realizados por uma equipe da Prefeitura Municipal de Paracatu e definiram uma malha de amostragem a partir do estabelecimento de uma linha mestre com 575 metros de extensão, com direção norte-sul, e 23 linhas

transversais (leste-oeste) espaçadas de 25 metros, onde foram locadas estacas de 10 em 10 metros (**Figura 6**).

- **Sondagem e amostragem a trado mecânico**

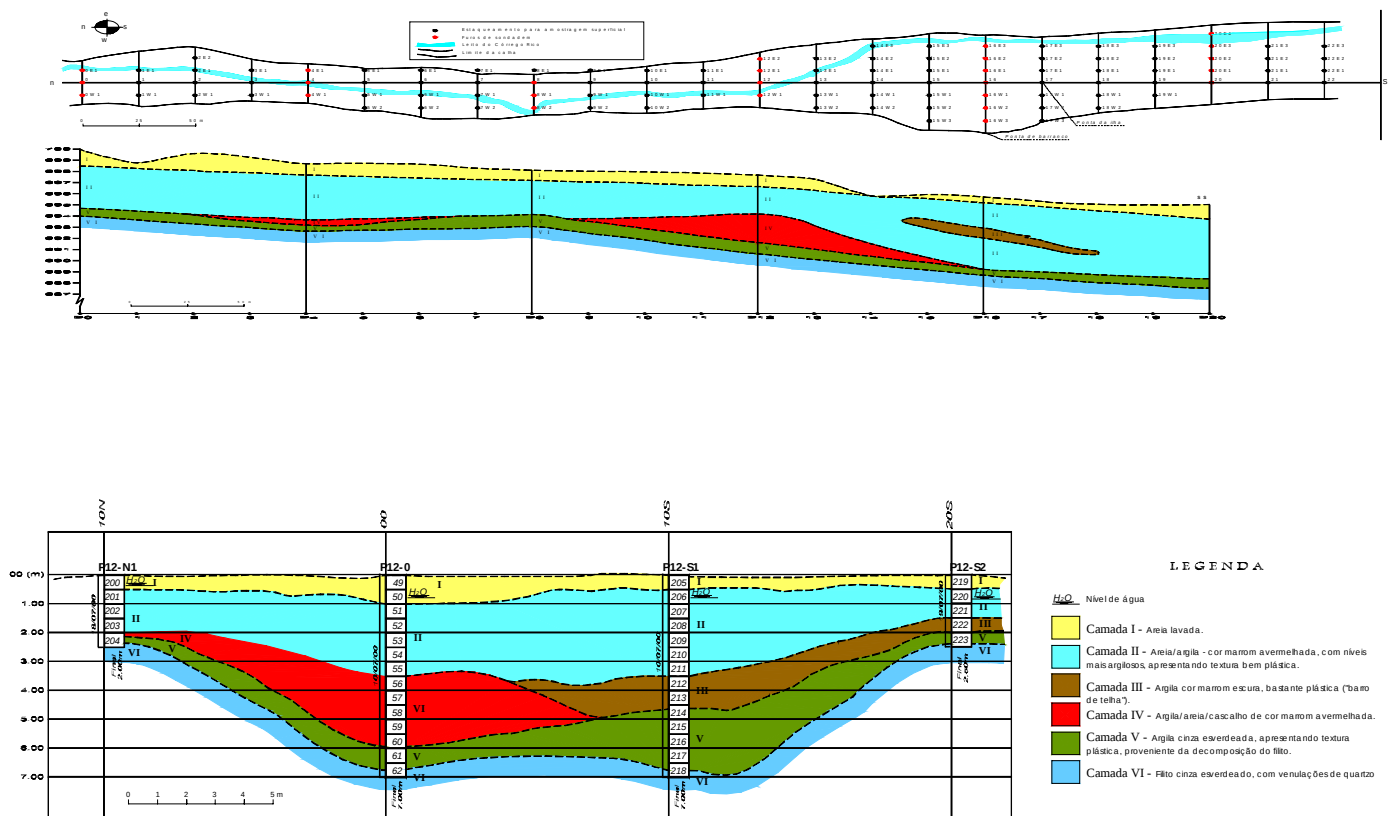
A sondagem foi executada por meio de um trado mecânico, com amostrador de quatro polegadas. Inicialmente foram perfurados os furos P-0, P-4, P-8, P-12, P-16 e P-20, locados ao longo da linha mestre e espaçados de 100 metros. Em seguida, foram realizados furos nas linhas transversais espaçados de 10 metros. O material proveniente de cada 0,5 metros de perfuração foi integralmente amostrado, compondo uma amostra individualizada. Assim, foram realizados 23 furos, totalizando 142 metros de perfuração e 284 amostras coletadas (4.500 Kilos).

A calha do córrego Rico apresenta intercalações de sedimentos arenosos que dificultaram a execução da sondagem. Nos níveis arenosos, devidos à ausência de coesão, as paredes do furo de sondagem desmoronavam. O nível freático quase aflorante (0,2 a 0,5 metros de profundidade) favorecia a desestabilização das paredes dos furos. A solução de baixo custo encontrada foi a prévia cravação de tubos de aço, com diâmetros de 7 ½ e 6 ½ polegadas, e perfuração e coleta de amostras no interior dos mesmos. Esta sistemática permitiu que todos os furos atingissem o *bed rock*, com profundidades de até 7,50 metros, e minimizou a possibilidade de contaminação das amostras.

- **Caracterização geológica da área piloto**

A partir dos trabalhos de sondagem foi possível definir o perfil de sedimentação na calha do córrego Rico. Conforme observados na maioria dos furos realizados, pôde-se observar, do topo para a base, a seguinte seqüência de materiais (**Figura 6**):

- Areia grosseira a fina, com incidência de níveis de seixos arredondados a sub-arredondados;
- Areia média a fina e argila de cor marrom avermelhada, com intercalações de níveis mais argilosos de cor marrom escuro e textura plástica;



1 Figura 6 – Rede de amostragem de sedimento, perfis geológicos longitudinal e transversal

- Argila de cor marrom avermelhada com presença de areia média a fina e cascalho;
- Argila cinza esverdeada, apresentando textura muito plástica, proveniente da alteração do filito;
- *Bed rock* caracterizado como um filito carbonoso com vênulas de quartzo.

Foram encontrados em profundidades de até 7 metros diversos relictos de madeira, manchas de óleo combustível e restos de tecidos, evidenciando que os trabalhos de garimpagem executados na área em meados da década de oitenta, empregando dragas, atingiram o *bed rock*.

• **Caracterização mineralógica e química das amostras coletadas**

Conforme mencionado anteriormente, na execução das sondagens as amostras foram coletadas de 0,5 em 0,5 metros. No entanto, para a realização das análises químicas, optou-se por agrupar as amostras metro a metro. Desta forma, o material coletado a cada metro de perfuração foi homogeneizado e quarteado, gerando quatro alíquotas. Uma alíquota foi bateada, gerando um concentrado que foi analisado em lupa binocular para identificação dos minerais pesados ocorrentes no sedimento do córrego Rico. Complementarmente, foram confeccionadas seções polidas para caracterização dos minerais opacos ocorrentes nos concentrados de bateia.

Outras duas alíquotas de cada amostra foram encaminhadas aos laboratórios do CETEC e da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD para determinação dos teores de mercúrio e ouro. Algumas amostras também foram submetidas à determinação dos seguintes elementos: Ag, Al, As, Be, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Pt, Ta, Ti, V, Zn, C, S e SiO₂.

O mercúrio e ouro foram detectados em todas as análises realizadas até o momento (130 amostras). Os índices de mercúrio se situam entre 8,04 e 606,00 ng/g. Os teores de ouro estão compreendidos entre 0,14 e 2,25 g/t.

4.3 Ensaios de Biolixiviação

Existe uma variedade de técnicas de lixiviação bacteriana que podem ser utilizadas em experimentos de laboratório. Estas técnicas constituem a forma de se estudar os mecanismos de solubilização do metal ou de se levantar os parâmetros para futura aplicação em larga escala. Os ensaios em bancada podem ser feitos em modo contínuo ou em batelada, com agitação ou sem agitação, com aeração forçada ou não, ou, ainda, por percolação. Em escala comercial, podem ser aplicados sistemas como montes, pilhas, “in situ” e confinados, em tanques e em reatores. A escolha vai depender das características do minério ou concentrado e da susceptibilidade do material à lixiviação. A biolixiviação será utilizada no projeto como um pré-tratamento da etapa de recuperação dos metais do concentrado. Entretanto, para sua viabilização é necessária uma etapa preliminar onde serão determinados os parâmetros ótimos da lixiviação microbiana que incluem: isolamento de microrganismos, adaptação destes ao concentrado, estudos de cinética de crescimento no concentrado, seleção dos organismos mais eficientes e estudos de escalonamento do processo.

- **Isolamento dos microrganismos**

Para o isolamento de microrganismos foram coletadas amostras de água e sedimento em seis pontos na área piloto. As amostras foram inoculadas em frascos contendo meio de cultura 9K¹ (específico para o crescimento de bactéria acidófilas). Os frascos foram incubados sob agitação, temperatura ambiente, por 6 dias e o crescimento microbiano acompanhado por medidas diárias de pH e Eh (parâmetros indicativos do crescimento bacteriano), tanto nos frascos inoculados como no controle não inoculado. As amostras que apresentaram crescimento foram e o precipitado transferido para o mesmo meio de crescimento. Este procedimento foi repetido duas vezes até a obtenção de células suficientes para a realização dos testes (ANDRADE, 2001).

¹ Solução 1(g/l): (NH₄)₂SO₄ , 3,0; KCl, 0,1g; K₂HPO₄ , 0,5; MgSO₄.7 H₂O, 0,5; Ca(NO₃)₂ , 0,01; H₂O destilada, 700ml. Autoclavar a 121°C por 15 minutos.

Solução 2 (g/l): Fe₂SO₄.7H₂O, 44,2 g; H₂SO₄ ,1,0ml; H₂O destilada, 300ml. Acertar o pH da solução para 2,5, filtrar e misturar com a solução 1.

Para o meio 9K sólido, acrescentar solução de agarose na concentração de 0,9%.

A partir do crescimento no meio 9K líquido foram realizadas diluições sucessivas até 10^{-6} em água destilada esterilizada e acidificada (pH 2,0). Utilizou-se 0,1 ml das diluições 10^{-2} e 10^{-3} para inocular placas de Petri contendo meio 9K solidificado com agarose, que foram incubadas a 30°C até apresentarem evidência de crescimento (mínimo 1 semana). Para obtenção de cultura pura utilizou-se a técnica de estriamento ou esgotamento em meio 9K sólido, acrescido ou não de fungicida (cicloheximida), na concentração de 0,06%.

Entre os seis pontos de coleta de água e sedimento apenas dois apresentaram crescimento bacteriano, caracterizado pela mudança de cor do meio de cultura de verde claro para marrom avermelhado e diminuição do pH. O pH ácido destes pontos de coleta (em torno de 4,0) favoreceu o isolamento de microrganismos acidofílicos (*Thiobacillus ferrooxidans*).

- **Cinética e medida de crescimento em meio 9K**

Inocularam-se 5 ml de cultura (pré-inóculo) em frascos contendo meio 9K, em duplicata, que foram incubados sob agitação à temperatura ambiente, durante 48 horas. Foram retiradas amostras em intervalos de 12 horas para determinação do peso seco e medidas de pH, Eh, Fe^{2+} e Fe^{3+} . O pré-inóculo foi padronizado considerando-se o tempo de crescimento da cultura e não o número de células. Foi utilizada uma cultura de 72 horas.

A **Tabela 1** apresenta os resultados de crescimento da cultura mista e as alterações verificadas no meio 9K. Observou-se um aumento nos valores de Eh e o pH variou entre 2,1 e 2,5. A concentração de Fe^{2+} diminuiu ao longo do tempo de incubação, sendo a menor concentração observada em T4 (48 horas após o inóculo). O peso seco aumentou gradativamente até o tempo T2 (24 horas) sendo que os maiores valores foram observados a partir de T3.

O aumento de peso seco e do Eh, com conseqüente diminuição na concentração de Fe^{2+} , está relacionado com o metabolismo e fonte de energia desses microrganismos. Sabe-se que as bactérias quimioautotróficas, acidofílicas, pertencentes ao gênero *Thiobacillus* e *Leptospirillum* oxidam o ferro ferroso à sua forma férrica.

Tabela 1- Crescimento da cultura mista e alterações no meio 9K.

Tempo (horas)	Meio 9K									
	pH		Eh (mV)		Fe ²⁺ (g/l)		Fe ³⁺ (g/l)		Peso seco (g)	
	Cont*	Amostra	Cont.	Amostra	Cont.	Amostra	Cont.	Amostra	Cont	Amostra
0	2,11	2,16	310	395	8,81	7,81	9,01	8,62	0,0044	0,0180
12	2,10	2,31	325	430	8,88	6,3	8,46	5,53	0,0055	0,0151
24	2,06	2,38	340	443	8,70	2,62	8,06	7,94	0,0058	0,0182
36	2,10	2,50	343	500	8,78	0,32	7,09	8,46	0,0071	0,0936
48	2,09	2,40	360	500	8,69	0,0295	8,94	8,33	0,0415	1,0063

* Controle: Meio 9K sem inóculo

Os compostos sulfurosos são usados como doadores de elétrons e fonte de energia (tornando-se reduzidos a sulfatos), enquanto o CO₂ atmosférico é a fonte de carbono (AGATE, 1996). Embora seus compostos reduzidos (sulfatos) sejam utilizados, a principal fonte de energia do *T. ferrooxidans* é o íon ferroso (Fe²⁺) (VISHNIAC, 1974; TUOVINEN & KELLY, 1972). Este fato pode ser demonstrado através dos dados de consumo de Fe e concomitante aumento da massa celular em nosso estudo (Tabela 1). Conseqüentemente o valor do Eh aumentou, uma vez que este parâmetro refere-se às reações químicas em soluções que ocorrem através da transferência de elétrons, com elementos que apresentam dois ou mais estados de oxidação.

• Obtenção de cultura pura

Não foi possível o isolamento da bactéria como cultura pura. A microscopia óptica revelou a presença de bastonetes pequenos e móveis (características descritas para células de *T. ferrooxidans*), células leveduriformes e hifas. O meio mais utilizado para isolamento destas bactérias é o 9K, que é considerado seletivo para microrganismos autotróficos uma vez que é constituído basicamente por sais de NH₄⁺, Mg²⁺, PO₄³⁻, K⁺, Ca²⁺ e Fe²⁺ ou S⁰ como fonte de energia. O pH em torno de 2,0 também é um fator que favorece o crescimento destes microrganismos acidofílicos. Para o cultivo em meio sólido utiliza-se a agarose como agente solidificante já que os açúcares presentes no agar inibem o crescimento dessa espécie.

• Teste de resistência ao mercúrio

Inocularam-se 5 ml de cultura (pré-inóculo), em contendo 50 ml de meio 9K acrescido da solução de mercúrio (HgCl₂), nas concentrações de 1, 3, 5, 10 e 15 mg/l. Os frascos

foram incubados sob agitação, à temperatura ambiente por 72 horas. Foi utilizado frasco controle sem o metal e o experimento realizado em duplicata. Durante o período de incubação, em intervalos de 24 horas, mediu-se pH, Eh, Fe^{2+} , Fe^{3+} e peso seco.

A **Tabela 2** mostra as variações de pH, Eh, dosagem de Fe e resistência da cultura mista ao Hg em meio 9K. Houve uma pequena variação nos valores de pH e o Eh aumentou somente na ausência de Hg. O Fe^{2+} foi totalmente oxidado a Fe^{3+} indicando o crescimento do microrganismo na ausência de Hg. Este dado também pode ser observado pelos valores de peso seco. Desta forma verificou-se que a cultura não foi resistente ao Hg nas concentrações utilizadas.

Tabela 2 - Variações de pH, Eh, dosagem de Fe e resistência da cultura mista ao Hg em meio 9K.

Hg (ppm)	pH	Eh (mV)	Fe^{2+} (g/l)	Fe^{3+} (g/l)	Peso seco (g)
24 horas					
0	2,39	500	ND*	ND	ND
1	2,15	405	ND	ND	ND
3	2,19	403	ND	ND	ND
5	2,18	403	ND	ND	ND
10	2,18	405	ND	ND	ND
15	2,17	410	ND	ND	ND
Branco**	2,14	340	ND	ND	ND
48 horas					
0	2,44	455	ND	ND	ND
1	2,10	400	ND	ND	ND
3	2,09	400	ND	ND	ND
5	2,07	400	ND	ND	ND
10	2,08	400	ND	ND	ND
15	2,08	410	ND	ND	ND
Branco	2,13	350	ND	ND	ND
72 horas					
0	2,20	500	< branco	6,12	17,40
1	2,13	400	7,32	9,20	3,31
3	2,11	395	7,17	8,39	3,08
5	2,12	400	7,16	8,22	2,46
10	2,14	400	6,88	7,95	2,69
15	2,16	400	6,38	7,39	2,70
Branco	2,12	350	8,39	8,39	0,68

* ND – Não determinado

** Branco- meio 9K sem inóculo e Hg

4.4 Ensaios de Biossorção de Metais

A biossorção de metais pesados será utilizada como uma técnica adicional na etapa de remoção dos metais presentes nos efluentes do processo. Entretanto, para sua

viabilização é necessária uma etapa preliminar onde serão isolados e testados microrganismos com alta capacidade de bioadsorção de mercúrio e determinados os parâmetros ótimos do processo que incluem a escolha do suporte ideal para sua aplicação em colunas.

- **Testes de bioadsorção**

Foi testada a bioadsorção de Hg nos seguintes sorventes: palha de milho, fino de polpa de indústria de celulose, verdete, alga marinha e alface.

A concentração de metal removido para a construção das isotermas de adsorção foi determinada de acordo com a equação $q = V(C_i - C_f) / M$, sendo:

q - quantidade do metal removido (mg/g);

V - volume da solução (l);

C_i - concentração inicial do metal (mg/l);

C_f - concentração final de equilíbrio do metal (mg/l);

M - massa de células (g).

As isotermas de adsorção foram construídas relacionando-se os valores de q para cada C_f , que foram analisados como padrão comparativo da capacidade bioadsorptiva de cada material utilizado (VOLESKY, 1990).

Na **Figura 7** estão representadas as isotermas de bioadsorção do mercúrio pelos sorventes, palha de milho, verdete e fino de polpa de indústria de celulose. Os resultados mostram que a palha de milho apresentou a melhor capacidade de adsorção (11,6 mg de Hg/g de biomassa), sendo que o verdete (3,1 mg/g) e a polpa (5,3 mg/g) apresentaram valores de adsorção próximos e mais baixos que a palha de milho.

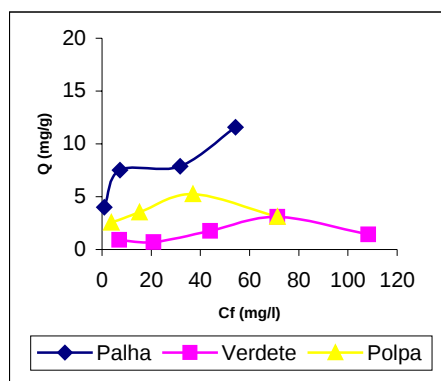


Figura 7: Isotermas de adsorção de Hg pelos sorventes palha de milho, verdete e polpa de indústria de celulose.

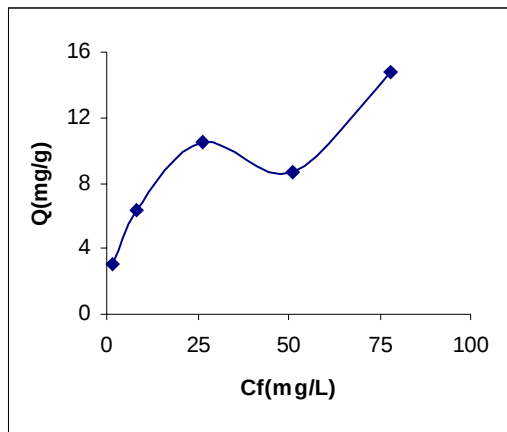
As isotermas obtidas demonstraram um comportamento diferenciado na adsorção em relação às concentrações testadas, apresentando uma variação nos valores de Q que pode ser consequência da composição dos sorventes. A quantidade de metal adsorvido varia diretamente com o número e o tipo de ligação presentes no sorvente, que por sua vez é dependente da constituição da parede celular (AVERY & TOBIN, 1993).

A natureza química diversificada de cada sorvente testado pode explicar os diferentes valores de adsorção, uma vez que um grande número de tipos de ligação (iônica, covalente e outras) podem estar ocorrendo no momento do contato do sorvente com a solução do metal, dependendo do tipo e do número de sítios presentes no mesmo.

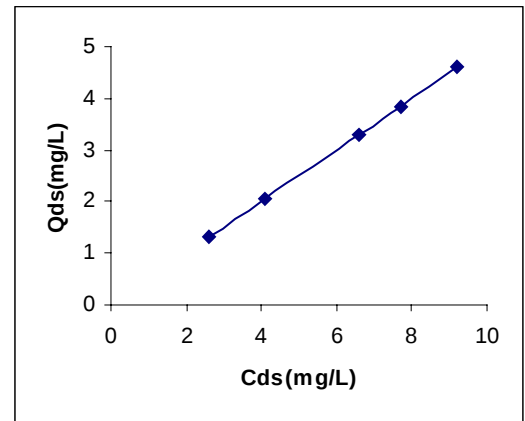
- **Testes de bioadsorção/dessorção**

Ao final do experimento de bioadsorção, a biomassa foi lavada com água destilada e colocada em contato com solução de ácido clorídrico para a dessorção do metal. O material foi centrifugado ou filtrado e o sobrenadante foi recolhido para análise de Hg. O procedimento de sorção/dessorção foi realizado por 3 ciclos consecutivos.

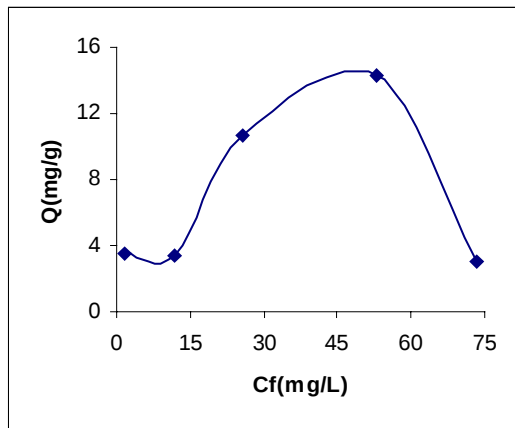
Nas **Figuras 8 e 9** são apresentados as isotermas de adsorção de Hg pela palha de milho e pela alga marinha, correlacionando valores de quantidade do metal removido



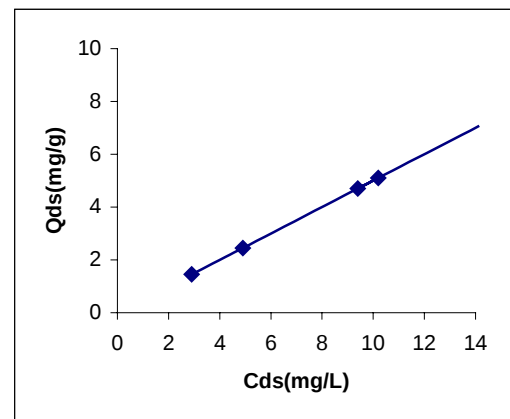
Primeiro ciclo de adsorção de Hg



Primeiro ciclo de dessorção de Hg



Segundo ciclo de adsorção de Hg



Segundo ciclo de dessorção de Hg

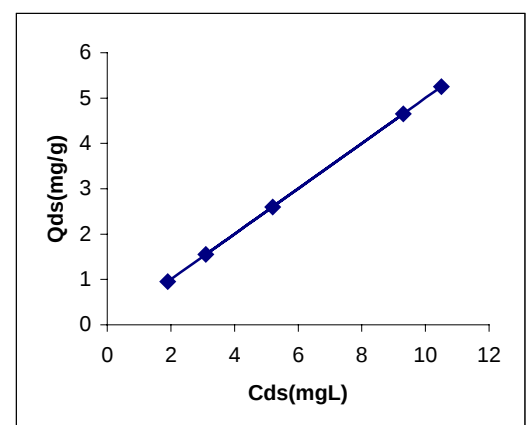
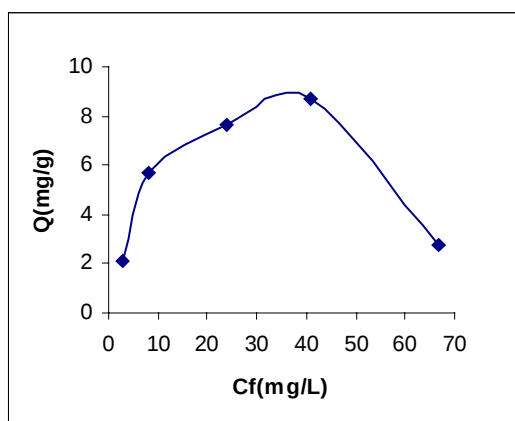
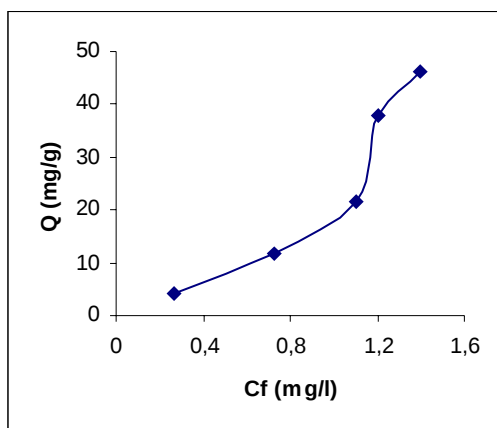
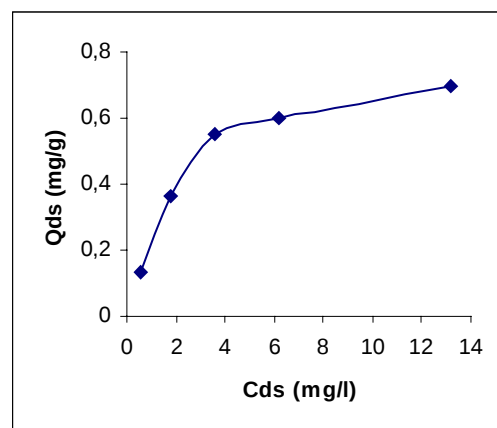


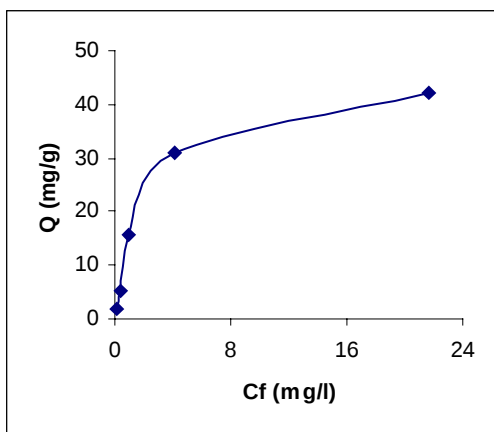
Figura 8 - Isotermas de adsorção e ciclos de dessorção de Hg da palha de milho



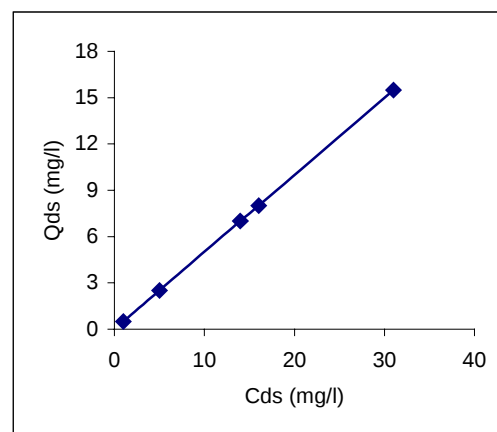
Primeira isoterma de adsorção de Hg



Primeiro ciclo de dessorção de Hg



Segunda isoterma de adsorção de Hg



Segundo ciclo de dessorção de Hg

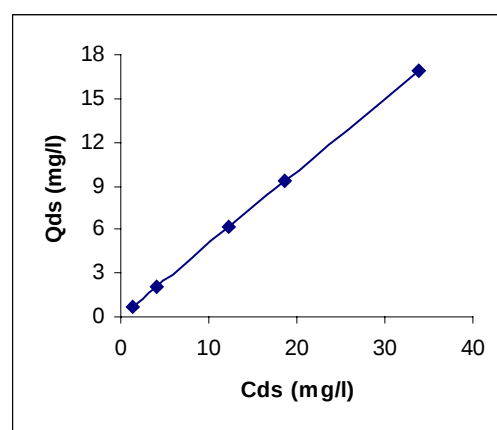
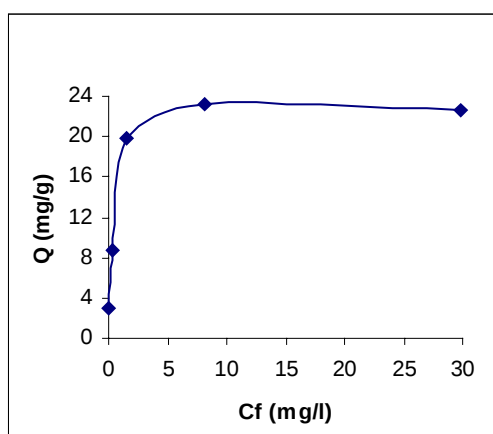


Figura 9 - Isotermas de adsorção e ciclos de dessorção de Hg da alga marinha

(Q) e a concentração final de equilíbrio do metal (C_f), e os ciclos de dessorção destes sorventes correlacionando os valores da quantidade de metal dessorvido (Q_{ds}) para valores de concentração do metal (C_{ds}).

Durante os ciclos de sorção/dessorção, houve um decréscimo nos valores da capacidade de adsorção, tanto da palha de milho quanto da alga marinha. Este resultado se justifica na saturação do sorvente ao longo dos ciclos. Em relação à palha de milho, constatou-se, ainda, que o eluente não foi eficiente para liberar o mercúrio em solução.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades de campo e laboratório vêm transcorrendo normalmente e aguardam-se os resultados das análises e das próximas campanhas de coleta de informações na área para finalizar a caracterização ambiental da área piloto.

Os trabalhos iniciais propiciaram a identificação da extensão e o grau de transformação da área afetada pelas várias fases de garimpo que ocorreram na bacia do córrego Rico, com as primeiras análises indicando a contaminação dos sedimentos, das águas e da fauna aquática.

As próximas atividades a serem implementadas no módulo II do projeto são os ensaios de concentração e recuperação de mercúrio e ouro em bancada e escala piloto, utilizando os diversos equipamentos que compõem a planta de tecnologia mineral do CETEC (jigues, espirais de Humphreys, mesas vibratórias, centrífugas, colunas de flotação etc). Também serão intensificados os ensaios de recuperação do mercúrio e ouro por processos biotecnológicos e químicos, além de testes com placas mercurizadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGATE, A.D. Recent advances in microbial mining. *World Journal of Microbiology & Biotechnology* 12: 487-495, 1996.

ALVES, K. C., CAMPOS, M. C. S., MOURA, M. A. Caracterização preliminar da macrofauna bentônica em um córrego impactado pelo garimpo – córrego Rico/MG. Anais do VIII Congresso Brasileiro de Limnologia, João Pessoa, 2001.

ANDRADE, M. C. Estudos de biolixiviação e de bio sorção em sedimentos do córrego Rico, Paracatu/MG. Belo Horizonte, CETEC, 2001. Relatório Técnico.

AVERY, S.V. & TOBIN, J.M. Mechanisms of adsorption of hard and soft metal ions to *Saccharomyces cerevisiae* and influence of hard and soft anions. *Appl. Environ. Microbiol.*, 59: 2851-2856, 1993.

BEZ, L. *Ouro aluvionar de Paracatu – definição de sua formação e recomendações para seu aproveitamento*. Belo Horizonte, Metamig, 1985 (Relatório).

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. 2º plano de desenvolvimento integrado do Noroeste Mineiro – Recursos Naturais. Belo Horizonte, CETEC, *Série de Publicações Técnicas*, 1981.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. *Desenvolvimento de tecnologia para descontaminação de áreas degradadas pela atividade garimpeira, com recuperação de mercúrio e ouro – estudo de caso – córrego Rico/Paracatu*. Belo Horizonte, CETEC, 1999.

CLÓVIS, A. Estudo da Ictiofauna do Córrego Rico, Paracatu/MG. Belo Horizonte, CETEC, 2001. Relatório Técnico.

FERNANDES, M. M., MOREIRA, C. V. R., MELO, M. C., TANNÚS, M. B., Geomorfologia e Pedologia – Córrego Rico, Paracatu/MG. XVIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Londrina (PR), 2001. P.230.

FREITAS E SILVA, F. H. *Enquadramento litoestratigráfico e estrutural do depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais*. Brasília, UNB-Instituto de Geociências, 1991, Dissertação de mestrado n.63.

FREITAS-SILVA, F. H. & DARDENNE, M. A. Evolução estrutural das formações Paracatu e Vazante na região de Paracatu, MG. *Rev. Escola de Minas*, v. 45, n. ½, p. 57-59, 1992.

MOREIRA, C. V. R. Caracterização Geomorfológica do Alto Córrego Rico, Paracatu/MG. Belo Horizonte, CETEC, 2001. Relatório Técnico.

OLIVEIRA, E. C. Caracterização Geológica do Alto Córrego Rico, Paracatu/MG. Belo Horizonte, CETEC, 2001, Relatório Técnico.

TUOVINEN, O.H. & KELLY, D.P. Biology of *Thiobacillus ferrooxidans* in relation to the microbiological leaching of sulphide ores. *Z. Allg. Mikrobiologie*, 12: 311-346, 1972.

VISHNIAC, W.V. *Thiobacillus*. In: R.E. Buchanan and N.E. Gibbons (eds.), Bergey's manual of determinative bacteriology, 8ª edição. The Williams & Wilkins Co., Baltimore, USA, 456-471.

VOLESKY, B. Removal and recovery of heavy metals by biosorption. In: Volesky, B. Biosorption of heavy metals. CRC Press, Inc: Boca Raton, FL, USA, p.7-44, 1990.(a).

ZINI, A.; FORLIM, R.; ANDREAZZA, P.; SOUZA, A. Depósito de ouro do Morro do Ouro, Paracatu, Minas Gerais. Brasília, DNPM/CVRD, in: *Principais depósitos minerais do Brasil*, v. III, cap. XXIII, 1988.