

## **ESTUDO DE *BACKGROUND* GEOQUÍMICO AMBIENTAL EM ÁREA DE INFLUÊNCIA DIRETA (AID) DA MINERAÇÃO**

Flávio de Moraes Vasconcelos, Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos  
flavio.vasconcelos@hidrogeoeng.com.br

Gabriel Melzer Aquino, Pilar de Goiás Desenvolvimento Mineral/Equinox Gold

Nathália Augusta Ferreira Sales Coutinho, Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos

João Santiago Reis, Hidrogeo Engenharia e Gestão de Projetos

### **RESUMO**

Os valores de *background* geoquímico (BG) de metais e arsênio foram determinados segundo a norma nacional para gerenciamento de área contaminadas para amostras dos tipos predominantes de solo, água superficial e água subterrânea da área de influência direta da unidade de Pilar de Goiás da Equinox Gold. A partir da coleta destas amostras em áreas de baixo impacto antrópico e representativas da geologia local foi possível caracterizar os elementos As, Cr, Cd e Ni acima do valor de investigação (VI) da norma vigente para o *Cambissolo Háplico* da Fm. Serra do Moinho. Os valores de BG de águas superficiais indicam uma boa qualidade da água, com a exceção do manganês. Os valores de BG para água subterrânea indicaram todas as concentrações dos elementos analisados abaixo dos limites legais, com a exceção do parâmetro Al.

### **PALAVRAS-CHAVE**

*Background* geoquímico, Background do Solo, Pilar de Goiás-GO.

### **ABSTRACT**

The values of environmental geochemical background (BG) of metals and arsenic were determined according to the national environmental standard for management of contaminated area for samples collected in the predominant types of soil, surface water and groundwater in the area of influence (AID) of the Pilar de Goiás / GO unit of Equinox Gold. From the collection of these samples in areas of low anthropic impact and representative of local geology, it was possible to characterize that the elements As, Cr, Cd and Ni are above the investigation value (VI) of the current standard for the Fm Cambisol. Serra do Moinho. The BG values of surface water indicate good water quality, with the exception of Mn which was above the standard value.. The BG values for groundwater indicated all concentrations of the elements analyzed below the legal limits, with the exception of the parameter Al.

### **KEYWORDS**

Geochemical background; background of soil; Pilar de Goiás-GO.

## INTRODUÇÃO

A determinação de valores de *background* geoquímico de uma determinada área é um dos assuntos de maior interesse em estudos ambientais atualmente. Essa é uma medida importante para distinguir concentrações naturais de um determinado elemento químico ou composto proveniente das atividades antrópicas desenvolvidas no local de interesse. O estabelecimento de valores de *background* geoquímico para distinguir entre teores naturais de um elemento químico e a influência antrópica sobre estes teores constitui um dos temas mais importantes das ciências ambientais recentes [1].

O termo *background* geoquímico (ou *background* natural) foi introduzido no início da década de 1960 dentro do contexto da ocorrência de anomalias geoquímicas que poderiam indicar a presença de mineralizações economicamente viáveis [2]. Nas últimas décadas, esse conceito tornou-se uma referência importante para questões relacionadas às contaminações ambientais do ar, solos, águas e sedimentos [3].

Existe uma relevância prática em definir as fronteiras entre concentrações de um constituinte químico, ocorrendo naturalmente em determinado meio, daquelas concentrações do mesmo constituinte presente no meio como resultado da atividade antrópica. Entretanto, teores de *background* não equivalem necessariamente a baixas concentrações do parâmetro investigado em determinada área ou região [3], uma vez que concentrações naturalmente elevadas podem ser encontradas justamente em zonas de mineralização de jazidas geológicas expressivas e área e em valor econômico [4].

Estudos demonstram que diferentes definições foram apresentadas na literatura para o termo *background* e observam, portanto, que este não é um conceito trivial [2]. Alguns autores [5] define *background* como sendo uma concentração teoricamente natural de uma substância ou elemento em uma amostra, considerando as variáveis temporal e espacial da área sob investigação. Segundo o autor, Galuska (2006), o estabelecimento de uma definição mais precisa para o termo é um passo importante que deve anteciper a sua utilização em qualquer estudo. Sendo assim, estabelece para esse estudo que o *background* geoquímico ambiental são valores naturais das concentrações de metais no meio ambiente isento de fontes antropogênicas de poluição.

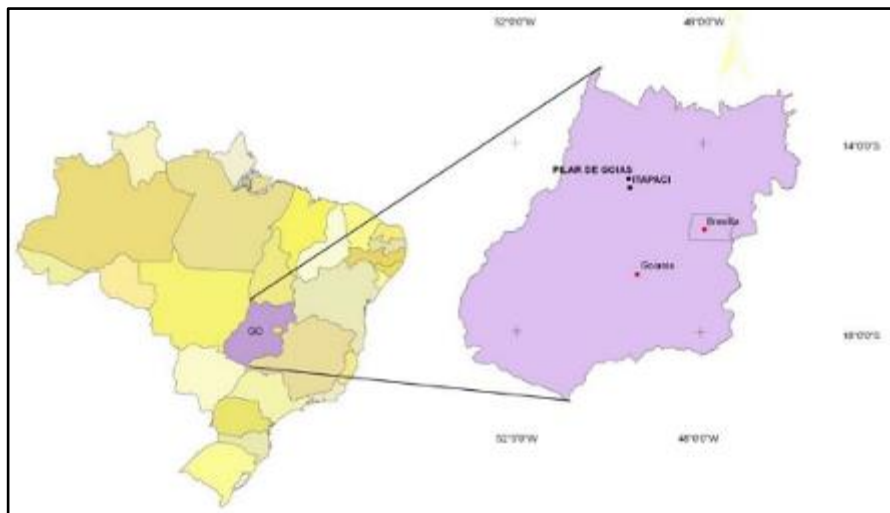
A despeito das diferentes definições, conclui-se que concentrações de *background* constituem uma ferramenta muito importante dentro do contexto ambiental, ao agirem como valores de referência ao impacto provocado por determinado parâmetro químico de interesse, a partir de uma atividade antrópica específica, sendo assim utilizado esse termo dentro da resolução de gestão de áreas contaminadas [6].

Neste contexto o presente estudo visa investigar os valores de *background* geoquímico para os metais em solo, águas superficiais e subterrâneas na área da Mina de Pilar de Goiás. Para alcançar este objetivo, o estudo baseou-se na caracterização física da área de interesse (geologia regional e local), na caracterização de solo da região, além das premissas estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 420/2009 que “*Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas*” [6].

A função de padrões e valores de *background* ou valores orientadores é promover um limite quantitativo no processo de avaliação e diagnóstico da qualidade dos recursos ambientais, como o solo e água subterrânea do presente trabalho, para subsidiar ações de prevenção e controle da poluição ou ações emergenciais, com vistas à proteção da saúde humana ou ambiental.

## METODOLOGIA

O empreendimento mineral da Equinox Gold localiza-se no município de Pilar de Goiás, no quadrante NW do Estado de Goiás. Saindo da cidade de Goiânia, o acesso se dá pela BR-153 a uma distância aproximada de 263 km. Já tomando por base a cidade de Brasília, a 280 km, o acesso se dá seguindo pela BR-070 até a cidade de Pirinópolis, seguindo a partir deste ponto pela BR-153 até Pilar de Goiás.



**Figura 1: Mapa com a localização dos municípios de Pilar de Goiás e Itapaci - GO**

### Geologia local

As jazidas minerais às quais se associa o empreendimento estão compreendidas em um contexto geológico regional caracterizado pela ocorrência de um complexo arcabouço litológico e estrutural que ocorre de forma bem pronunciada marcando feições conhecidas como “Cinturões de Rocha” ou pelo termo “Greenstone Belts”, como se encontra na literatura específica mundial.

Foi realizado pesquisa bibliográfica da geologia regional e local da área a fim de ser possível correlacionar com as formações pedológicas locais.

### Solo

A primeira etapa dos trabalhos consistiu no levantamento e estudo de todas as informações pré-existent sobre a área. Através da realização de revisão bibliográfica, reconhecimento

de padrões em imagens de satélite, e consulta em mapas da base de dados do projeto RADAMBRASIL v. 25 – Folha SD.22 Goiás [7] sobre os temas pedologia, geomorfologia, geologia e vegetação, foram identificadas as principais classes de solo e formações geológicas presentes, além da identificação das principais microbacias da região. Estas informações foram utilizadas como critério de amostragem de campo, para que o estudo seja representativo e atenda aos objetivos ao qual foi solicitado.

Na segunda etapa de trabalho, procedeu-se um caminhamento extensivo na área de forma a reconhecer os padrões de distribuição dos solos juntamente aos compartimentos da paisagem. As principais características intrínsecas dos solos utilizadas neste momento foram coloração, textura, presença de cascalho, profundidade dos solos, formação geológica ao qual pertencem, e fatores relativos aos estudos de análise de risco e background geoquímico, tais como posição em relação à drenagem e pilhas (coleta à montante e jusante), e possíveis teores naturais de metais.

A partir desse levantamento foram escolhidos 3 perfis de solos característicos da região e coletadas 3 amostras compostas para serem as referências de *background* geoquímico. Cada amostra foi composta por 11 sub-amostras segundo a metodologia definida.

Como especificado na Resolução CONAMA 420/2009 e em seu Anexo I [6], para cada uma das estações de interesse, 10 subestações, chamadas de amostras (AM1 à AM10) foram determinadas com o intuito de se avaliar a variabilidade local. Uma amostra composta (AM 11) foi coleta para avaliar a homogeneidade do solo e a qualidade do procedimento de amostragem.

Todos os solos foram descritos e coletados segundo critérios definidos em [8], sendo todos horizontes dos perfis descritos e apenas o horizonte B diagnóstico coletado. A nomenclatura de horizontes e identificação dos solos obedeceu às definições do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos [9].

Para a coleta de cada amostra, na superfície do local a ser amostrado foi limpo e as camadas superficiais do solo trado foram descartados, coletando preferencialmente o horizonte B dos solos sendo que para tal procedimento foi utilizado um trado holandês. Entre cada estação de coleta os materiais utilizados foram lavados com água deionizada evitando assim possível contaminação entre as estações trabalhadas. Após coleta, o material foi peneirado em peneira com abertura de 2 mm, depois homogeneizado, pesado (pelo menos 3 kg de amostra coleta) e etiquetado para serem enviados ao laboratório de análises de solos.

Os parâmetros analisados nas amostras de solo seguiram a metodologia da Embrapa [10] e são: pH em água; Carbono Orgânico; Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis; Potássio e sódio disponíveis; Valor SB (soma de cátions trocáveis); Acidez potencial ( $H^+ + Al^{3+}$ ); Valor T (CTC); Valor V (percentagem de saturação de bases); Valor m (percentagem de saturação com alumínio); e Teores de metais (Al, As, Ba, B, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V, Zn).

Os resultados das análises químicas da amostra de águas superficiais foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução do CONAMA 420/2009 [6].

## **Classificação de solos da região**

A classificação dos solos tem como base atributos morfológicos, químicos e físicos, elaborando assim modelos de distribuição de solos que podem ser representados na forma de mapas ou inventários representativos de determinada região. As classes de solos combinadas com informações relacionadas ao ambiente em que estão inseridos constituem base fundamental para composição de diagnósticos e planos de ação. No presente caso, as informações serão utilizadas na elaboração de valores de *background* para metais na área de influência direta do empreendimento.

### Critérios utilizados para a identificação das classes de solos

As definições das classes de solos e dos atributos empregados para seu estabelecimento, encontram-se de acordo com os critérios adotados pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA Solos [9].

Para identificação dos solos predominantes na região foram vistoriados e amostrados 32 pontos. Deste levantamento foi possível elaborar um esboço de mapa de solo pedológico para a região do entorno do empreendimento mineral.

### Atributos utilizados na subdivisão das classes

- Atividades das argilas (Ta e Tb): Refere-se à capacidade de troca de cátions (CTC) correspondente à fração argila.

Atividade alta (Ta) designa valor igual ou superior a 27 cmol<sub>e</sub>/kg de argila, e corresponde à presença de argilominerais silicatados do tipo 2:1 (esmectitas, vermiculitas, montmorilonitas, illitas, dentre outros). Atividade baixa (Tb) é definida por valor inferior a 27 cmol<sub>e</sub>/kg de argila, e corresponde à predominância de argilominerais dos tipos caulinita, óxidos de ferro (principalmente hematita e goethita), e óxidos de alumínio (gibbsita). Este critério não se aplica aos solos das classes texturais areia e areia franca. Para distinção de classes por este critério, é considerada a atividade da fração argila no horizonte B, ou no C, quando não existe B.

- Saturação por bases (V%): A saturação por bases refere-se à proporção de cátions básicos trocáveis em relação à CTC determinada a pH 7.

A expressão alta saturação por bases se aplica a solos com saturação por bases igual ou superior a 50% (Eutrófico) e baixa para valores inferiores a 50% (Distrófico). Para a distinção entre classes de solos por este critério é considerada a saturação por bases no horizonte diagnóstico subsuperficial (B ou C). Na ausência destes horizontes a aplicação do critério é definida para cada classe específica.

- Grupamento de classes texturais: Constitui condição distintiva de unidades de solos, diferenciadas segundo a composição granulométrica (fração menor que 2 mm). O grupamento textural é a reunião de uma ou mais classes de textura.

São utilizados os seguintes grupamentos texturais para distinção à partir do 5º nível categórico: (i) Textura arenosa - compreende as classes texturais areia e areia franca, teores de argila menores do que 15%; (ii) Textura média - compreende composições granulométricas com teor de argila entre 15% e 35%; (iii) Textura argilosa - compreende classes texturais ou parte delas tendo na composição granulométrica de 35% a 60% de argila; (iv) Textura muito argilosa - compreende a classe textural com mais de 60% de argila.

Para essas distinções é considerada a prevalência textural do horizonte B ou C. Não se especifica classe de textura ou grupamento granulométrico no caso de unidades de solo em que esta característica esteja implícita por definição (em Nitossolos ou Neossolos Quartzarênicos, por exemplo). No caso de expressiva variação textural no *solum* ou entre A e C, quando não existe B, quer se trate ou não de mudança textural abrupta, as gradações bem evidentes de granulometria qualificam distinções de unidades de solo, expressas por contraste textural acentuado em profundidade no solo. A designação é feita pelo registro de textura binária, sob a forma de fração (média/argilosa), por exemplo.

### Água superficial

A amostragem de água superficial envolve a coleta de uma porção representativa para análise, cujo resultado deverá fornecer uma imagem mais próxima da realidade do universo estudado. As coletas foram realizadas com base nas diretrizes estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT [11, 12].

A amostragem foi realizada por laboratório acreditado na ISO NBR 17.025 [13]. Foram coletadas 2 amostras de águas superficiais a montante do empreendimento. As amostras foram filtradas em campo com membrana de 0,45 µm para determinação dos metais dissolvidos. Os parâmetros temperatura, pH, oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), e potencial redox (Eh) foram medidos *in situ* com o equipamento multiparâmetro. O equipamento foi calibrado anteriormente à coleta como parte do protocolo de qualidade (QA/QC).

Os resultados das análises químicas da amostra de águas superficiais foram comparados com os valores estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/2005 [14] para águas superficiais e definirão os valores de *background* de água superficial para a região de Pilar de Goiás - GO.

### Água subterrânea

O método de coleta usado foi o de baixa vazão, sendo essa uma técnica muito vantajosa não somente na rapidez para a coleta de dados, mas também para aumentar a representatividade do dado coletado [15]. A técnica de baixa vazão tem a grande vantagem de não causar stress no fluxo subterrâneo do aquífero e conseqüentemente, possibilitar a coleta da água dos poços sem que seja preciso realizar a purga do poço de 3 a 5 vezes.

A amostragem foi realizada por laboratório acreditado na ISO NBR 17.025 [13]. Foi coletada 1 amostra de águas subterrânea de um poço à montante do empreendimento. Os parâmetros indicativos da qualidade da água que devem ser monitorados durante a purga são:

temperatura, pH, condutividade elétrica, potencial de óxido redução (Eh) e oxigênio dissolvido (OD).

Os resultados das análises químicas da amostra de águas superficiais serão comparados com os valores estabelecidos pela Resolução do CONAMA 396/2008 [16] para águas subterrâneas e definirão os valores de *background* de água superficial para a região de Pilar de Goiás GO.

### **Determinação de valores de background geoquímico**

A metodologia empregada nesse estudo é de identificação de áreas de baixo impacto antrópico em ambiente geológico representativo, seguida de coleta de amostras em pontos de interesse e tratamento estatístico dos resultados.

Para determinação do valor de referência de qualidade (VRQ) considerou-se os dados obtidos no tratamento estatístico, com base nos valores de mediana – Q2 (50%), quartil inferior – Q1 (25%) e quartil superior – Q3 (75%), assim como a determinação do percentil 90, conforme mencionado na Resolução CONAMA 420/09 [6].

O percentil 75 é mais próximo da mediana, sem ser permissivo ou restritivo. O percentil 90% é um valor que está na cauda superior da curva de distribuição, pouco representativo da população amostrada. Desde modo, adotou-se o valor do percentil 75% como VRQ para a região da área de influência direta do empreendimento da Equinox Gold em Pilar de Goiás-GO.

A determinação dos valores de referência de qualidade segue as seguintes premissas:

- Para as determinações das substâncias químicas em que todos os resultados analíticos forem menores do que o limite de quantificação praticável (LQP) do respectivo método analítico, eleger “<LQP” como sendo VRQ da substância e excluí-las dos demais procedimentos de interpretação estatística. Exemplo: Ag e Se (1 mg/kg) e Hg (0,5 mg/kg).
- Para interpretação estatística das substâncias químicas em que parte dos resultados analíticos forem menores que o limite de quantificação praticável (LQP), considerar como resultado na matriz de dados o valor LQP/2. Exemplo: Mo e Sb (0,5 mg/kg).
- Para as substâncias que apresentarem mais que 60% de resultados superiores ao limite de quantificação a definição de agrupamento de tipos de solo deverá ser realizada com base em teste estatístico que comprove semelhança entre os grupos amostrais.
- As substâncias cujo percentil selecionado for igual LQP/2 adotar “< LQP” como sendo o VRQ da substância.
- Para estabelecimento do VRQ de cada substância, avaliar a necessidade de se excluir da matriz de dados os resultados discrepantes (outliers), identificados por métodos estatísticos.

Os valores de BG foram detectados por meio da amplitude interquartis, representada por AIQ, que é dada pela diferença entre Q3 e Q1, respectivamente, o primeiro e o terceiro quartis. Assim, usualmente pode ser considerado outlier superior todo dado superior a  $(Q3+1,5AIQ)$  e, analogamente, outlier inferior todo valor menor que  $(Q1-1,5AIQ)$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Geologia regional e local

Na região central do Brasil, encontra-se a província Tocantins que é dividida entre três grupos principais de rochas: (i) Granitos Greenstones, que inclui os Greenstones de Pilar, Guarinos e Crixás; (ii) Rochas Máficas e Ultramáficas pertencentes aos complexos de Canabrava, Barro Alto e Niquelândia; (iii) Rochas da seqüência vulcano-sedimentar de Lucelândia, Coitezeiro e Palmeirópolis.

Os complexos gnáissicos da região (Pilar, Guarinos e Crixás) são geralmente compostos por Gnaisses tonalíticos, Biotita-granitos, Biotita-granodiorito e corpos pegmatíticos, além de feições intrusivas. Os Greenstone Belts são cobertos a Sul e a Norte por rochas sedimentares metamorfisadas de idade brasiliana (Neoproterozóico) dos Grupos Araxá e Santa Teresina, respectivamente.

Em termos mais locais é possível individualizar na área em estudo, os Greenstone Belts de Pilar e Guarinos, que são representados predominantemente por rochas vulcânicas básicas e metassedimentares. A feição estrutural mais notável das litologias do Greenstone relaciona-se à intensa deformação, em regime essencialmente dútil.

Nesta faixa aurífera verifica-se a presença de corpos de Xistos carbonosos pertencentes à Formação Serra do Moinho, sotoposta à Clorita-granada-xistos e Gnaisses félsicos e superposta à Talco-sericita-xistos da mesma formação. A Serra do Moinho é descrita pelo CPRM como Clorita-sericita-quartzo xisto, xisto carbonoso, muscovita-quartzo xisto, clorita-biotita xisto, muscovita quartzito, biotita xisto feldspático, xisto magnesiano e anfibolítico, talco-clorita xisto e formação ferrífera (metachert) (Figura 2).

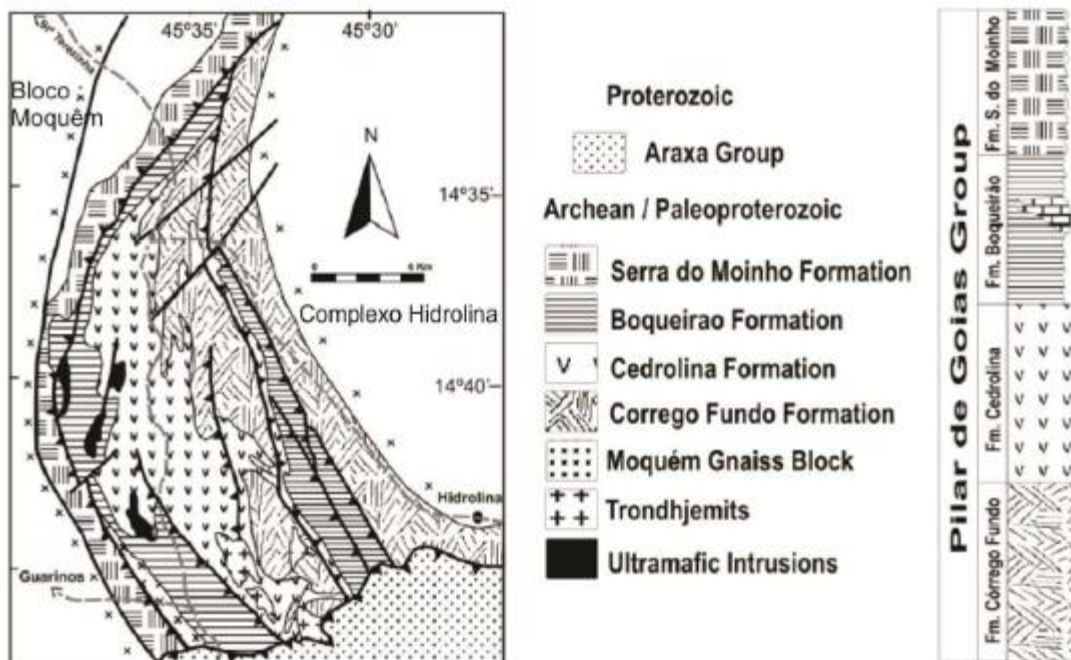


Figura 2: Mapa geológico do Greenstone belt de Pilar de Goiás e coluna estratigráfica (Fonte: Souza, 2011).



Os dois solos principais da área de estudo estão diretamente associados aos dois grupos geológicos principais, que seriam: 1- Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico: associa-se às rochas mais recente do Proterozoico Gr. Araxá, localizadas mais a SE da área de estudo e 2- Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico: associa-se às rochas mais antigas do Gr. Pilar de Goiás e correlacionados à sequência Vulcano-sedimentar arqueana de mesmo nome.

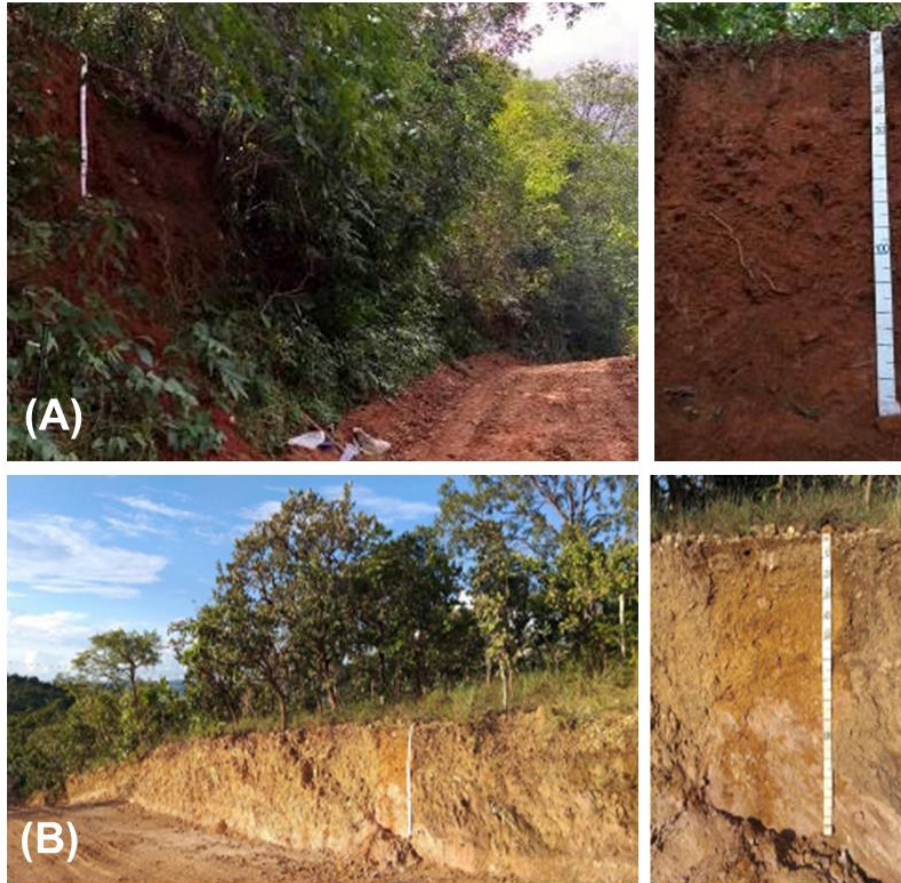
## Amostragem

Foram descritos 3 perfis de solos característicos da região, e paralelamente coletadas 3 amostras compostas para análise química (Tabela 1).

**Tabela 1: Estações de amostragem de solo para estudo de background geoquímico.**

Ponto	Coordenadas UTM		Elevação (m)	Profundidade (cm)	Amostras
	SIRGAS 2000	22L			
	mE	mS			
PBS1	651740	8365210	783	20-30+	11
PBS2	656293	8363427	817	20-30+	11
PBS3	649501	8369182	805	20-30+	11

A Figura 3 apresenta dois perfis típicos das amostras de *background* selecionadas sendo uma em cambissolo escuro (PBS 1) localizado no Grupo Pilar de Goiás (Fm Serra do Moinho) e a outra em cambissolo claro localizado dentro do Grupo Araxá (PBS 2).



**Figura 3: Perfis de solos descritos representativos de (A) PBS1 e (B) PBS2.**

Para a referência de água superficiais foram coletadas 2 amostras a montante do empreendimento no Córrego do Amâncio e Rio Vermelho. A tabela a seguir apresenta os dados dos pontos amostrados para este estudo (Tabela 2).

**Tabela 2: Localização dos pontos de amostragem de águas superficiais para o estudo de background.**

Ponto	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 22L		Elevação (m)
	mE	mS	
ASBG 01	0649491	8368661	759
ASBG 02	0651687	8366413	758

Para a referência de água subterrânea foi coletada 1 amostra (ASBG 01) um poço à montante do empreendimento. A tabela a seguir apresenta os dados do ponto amostrado para este estudo (Tabela 3).

**Tabela 3: Localização dos pontos de amostragem de águas subterrânea para o estudo de background.**

Ponto	Coordenadas UTM SIRGAS 2000 22L		Elevação (m)
	mE	mS	
ASBG 01	644937	8368654	763

## **Classificação de solos**

Os horizontes diagnosticados na área estão delineados a seguir:

Horizonte A moderado: Horizonte mineral que apresenta teores de carbono orgânico variáveis (geralmente entre 0,6 e 6%), espessura e/ou cor que não satisfaçam aquelas requeridas para horizonte A chernozêmico ou proeminente, além de não satisfazer também os requisitos para horizonte A antrópico, horizonte A fraco e horizonte hístico. É o tipo de horizonte A mais comum no território brasileiro, e na área de estudo.

Horizonte B incipiente (Bi): Trata-se de horizonte subsuperficial, subjacente ao A, Ap ou AB, que sofreu alteração química e física em grau não muito avançado, porém suficiente para o desenvolvimento de cor ou de estrutura, e no qual mais da metade do volume de todos os subhorizontes não deve consistir em estrutura da rocha original. Na área de estudo, foram identificadas duas variações do horizonte B incipiente (Bi) que caracterizam os Cambissolos da região: (1) Bi de solos derivados de litotipos do Grupo Araxá: cores amareladas (matiz 7,5 YR), e em menor quantidade ocorrência de cores bruno-avermelhadas (Perfil 5 – 2,5 YR 2,5/4); presença significativa de cascalho, enquadrados em sua maioria na classe muito cascalhenta (> 50% de cascalho), e em menor proporção na classe cascalhenta (entre 15 e 50% de cascalho); e pouco profundos, com espessura média de 40 cm; (2) Bi de solos derivados de litotipos da Formação Serra do Moinho: cores vermelhas, com matiz 2,5 YR e croma sempre igual ou maior a 6; presença significativa de cascalho, com predominância da classe cascalhenta; e são mais profundos que os anteriores, com espessura média estimada em 78 cm.

Horizonte B textural (Bt): É um horizonte mineral subsuperficial onde houve incremento de argilas (fração < 0,002mm), orientadas ou não, desde que não exclusivamente por descontinuidade litológica, resultante de acumulação ou concentração, absoluta ou relativa, decorrentes de processos de iluviação, e/ou formação in situ, e/ou herdado do material de origem, e/ou infiltração de argila com ou sem matéria orgânica, e/ou destruição de argila no horizonte A, e/ou perda de argila no horizonte A por erosão diferencial. O conteúdo de argila do horizonte B textural é maior que o do horizonte A e pode ou não ser maior que o do horizonte C. No presente estudo a variação de horizonte B textural encontrada corresponde à solos derivados de rochas da Formação Serra do Moinho, com cores avermelhadas (matiz 2,5 YR), cromas altos, e nem sempre apresentam gradiente textural, mas apresentam cerosidade como característica marcante.

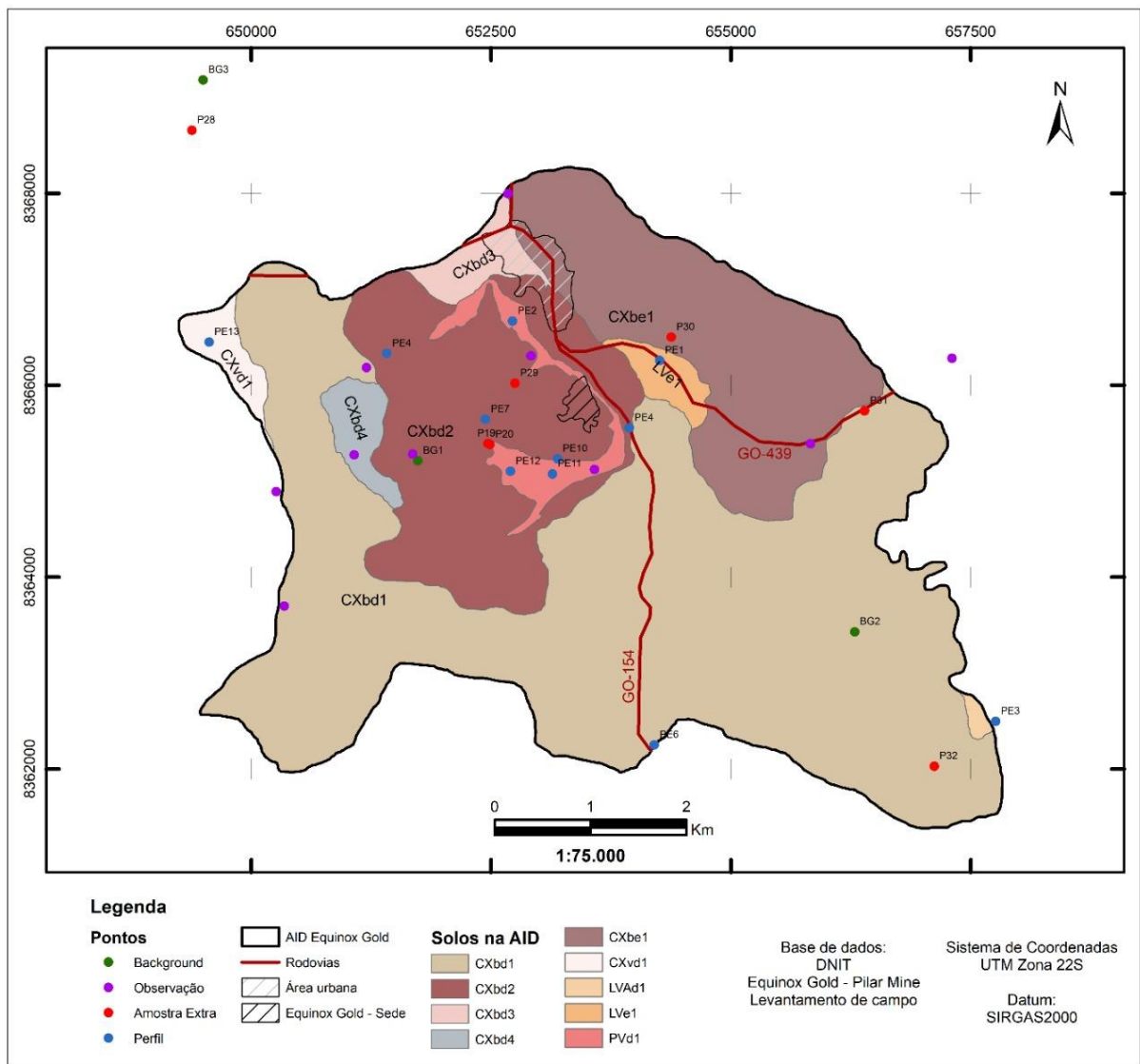
Horizonte B latossólico (Bw): É um horizonte mineral subsuperficial, cujos constituintes evidenciam avançado estágio de intemperização, explícita pela alteração completa ou quase completa dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo e/ou de minerais de argila 2:1, seguida de intensa dessilicificação, lixiviação de bases e concentração residual de sesquióxidos, argilas do tipo 1:1 e minerais primários resistentes ao intemperismo. Em geral, é constituído de quantidades variáveis de óxidos de ferro e alumínio, minerais de argila 1:1, e quartzo, podendo haver a predominância de quaisquer destes materiais.

As classes de solo identificadas na área de influência direta do empreendimento estão sistematizadas na Tabela 4.

**Tabela 4: Unidades de mapeamento (UM) delineadas na AID, e respectivas áreas e litologias associadas.**

UM	Descrição	Litologia associada	Área	
			ha	%
<b>CXbd1</b>	Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, A moderado, textura média cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado	Grupo Araxá	2.053.55	56.77
<b>CXbd2</b>	Cambissolo Háplico Tb Distrófico latossólico, A moderado, textura média e argilosa cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado	Fm Serra do Moinho	658.64	18.21
<b>CXbd3</b>	Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, A moderado, textura média cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado	Fm Boqueirão	63.54	1.76
<b>CXbd4</b>	Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico, A moderado, textura média cascalhenta, relevo ondulado	Fm Serra do Moinho	57.38	1.59
<b>CXbe1</b>	Cambissolo Háplico Tb Eutrófico latossólico, A moderado, textura argilosa cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado	Fm Cedrolina	595.66	16.47
<b>CXvd1</b>	Cambissolo Háplico Ta Distrófico típico, A moderado, textura média muito cascalhenta, relevo ondulado e forte ondulado	Complexo Moquém	50.25	1.39
<b>PVd1</b>	Argissolo Vermelho Distrófico típico, A moderado, textura argilosa, relevo ondulado e suave ondulado	Fm Serra do Moinho	84.62	2.34
<b>LVe1</b>	Latossolo Vermelho Eutrófico típico, A moderado, textura argilosa, relevo suave ondulado	Fm Cedrolina	45.15	1.25
<b>LVA1</b>	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, A moderado, textura média, relevo suave ondulado	Grupo Araxá	8.49	0.23

Essa descrição é importante pois ressalta as características morfológicas, químicas e físicas de cada classe, que se relacionam com fatores que devem ser levados em conta nos estudos de *background* geoquímico. As unidades de mapeamento (UM) foram definidas baseadas não apenas na taxonomia dos solos, mas levou em conta seu respectivo material de origem, que influencia diretamente nos seus atributos geoquímicos. A Figura 4 apresenta um mapa de distribuição dos solos na área da AID.



**Figura 4: Mapa de solos característicos da região.**

A composição textural dos solos analisados evidencia baixos teores de argila, com pouca amplitude de variação, sendo 10% a diferença entre os valores mínimo e máximo. Por outro lado, areia e silte apresentam maior variação entre os perfis.

Os solos provenientes de litologias com teores de ferro mais elevadas originaram solos com maiores teores de argila, o que é esperado pois assim que um átomo de ferro é liberado durante o intemperismo, na presença de oxigênio, tende a precipitar na forma de óxido ou oxihidróxido (hematita ou goethita), gerando argilominerais.

Litologias com relativamente menor teor de ferro geram argilominerais à partir da transformação (intemperismo) de feldspatos, micas, dentre outros minerais, que tendem a passar primeiro para a fração silte e posteriormente ao tamanho argila, sendo o tempo de formação de argilominerais silicatados relativamente mais demorado do que de óxidos de ferro.

A Tabela 5 apresenta a composição textural média dos solos representativos da região.

**Tabela 5: Composição textural de solos representativos da região de interesse.**

<b>Ponto</b>	<b>Solo</b>	<b>Areia (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Classe textural</b>
PBS1	CXbd2	34,07	34,66	31,27	Franco-Argiloso
PBS2	CXbd1	45,39	22,70	31,91	Franco-Argilo-Arenoso
PBS3	CXbd2	33,72	33,19	33,09	Franco-Argiloso

### Macronutrientes

Para as amostras deste estudo, sobre as características do complexo sortivo dos solos, os parâmetros analisados foram interpretados segundo a 5ª Aproximação - Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais [17], que apresenta classes de interpretação baseadas no uso agrônomo dos solos. Os métodos laboratoriais de extração dos parâmetros seguem as diretrizes de Embrapa [10], assim como as amostras de solos analisadas nesse estudo.

Quanto aos nutrientes, capacidade de troca catiônica – CTC efetiva (t) e potencial (T), e pH, predominam valores baixos ou muito baixos. Em resumo, os solos da AID são ácidos, distróficos, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes, baixa CTC, e baixos teores de MO. Essas características são esperadas, e comumente observadas em solos brasileiros, por suas condições climáticas tropicais que condicionam intenso intemperismo e lixiviação, além de ciclagem rápida de materiais orgânicos.

Quanto à constituição dos solos, os perfis que apresentam cores vermelhas e estrutura granular, indicam presença considerável de óxidos de ferro (hematita, goethita, maghemita, e possivelmente magnetita) e/ou óxidos de alumínio (gibbsita), fato confirmado pela digestão através do método USEPA 3050 [18]. Apesar do fato desse método atuar sobre todas as frações granulométricas presentes (areia, silte e argila), e não só na fração argila, essa inferência é possível porque a análise caracteriza a argila e as prováveis fontes de formação de novos argilominerais, que são formados à partir do intemperismo das frações areia e silte, quando constituídos de restos da rocha de origem e minerais primários (exceto quartzo).

### **Determinação de valores de background geoquímico**

#### Solo

A Tabela 6 apresenta os resultados de *background* geoquímico definidos para cada classe de solo característico da região. Em negrito encontram-se os valores que excederam os valores máximos permitidos da resolução de referência CONAMA 420/2009 [6].

**Tabela 6: Resultados do VRQ (percentil 75 – Q3) para cada classe de solo. Un. mg/kg.**

Parâmetro	VP	VI	Valor de referência de qualidade	
			Cambissolo háplico Tb distrófico latossólico da Fm. Serra do Moinho	Cambissolo háplico Tb distrófico típico do Gr. Araxá
Alumínio	-	-	443,7	321,5
Antimônio	2	25	1,3	1,3
Arsênio	15	150	<b>940,0</b>	4,5
Boro	-	-	28,8	17,9
Bário	150	750	58,9	26,5
Cálcio	-	-	131,0	96,0
Chumbo	72	900	18,8	8,6
Cobalto	25	90	9,3	2,4
Cobre	60	600	<b>78,3</b>	32,8
Cromo	75	400	<b>514,7</b>	58,5
Cádmio	1,3	20	<b>131,0</b>	0,7
Ferro	-	-	381,5	265,2
Magnésio	-	-	687,0	99,3
Manganês	-	-	630,9	97,3
Mercúrio	0,5	70	0,5	0,5
Molibdênio	30	120	0,5	0,5
Nitrato	-	-	66,7	56,2
Níquel	30	130	<b>170,3</b>	8,5
Prata	2	100	1,0	1,0
Selênio	5	-	1,0	1,0
Vanádio	-	1.000	122,4	59,3
Zinco	300	2.000	149,4	124,1

Para as substâncias e elementos Al, B, Ca, Fe, Mg, Mn, Nitrato e V não há valores estabelecidos na Resolução CONAMA nº 420/2009 como valores orientadores de prevenção e investigação [6]. Para os demais parâmetros, os valores de referência de qualidade (VRQ) determinados estatisticamente apresentaram valores abaixo dos valores de prevenção e investigação, com exceção do arsênio, cobre, cromo, cádmio e níquel (>VP) e arsênio, cromo, cádmio e níquel (>VI) no solo cambissolo háplico Tb distrófico latossólico da Fm. Serra do Moinho.

Dentro desse domínio de solo está a unidade operacional da Equinox Gold de Pilar de Goiás, portanto esses deverão ser os valores de referência de qualidade a serem considerados nessa operação industrial segundo apregoa a norma do CONAMA 420/2009 [6].

### Água superficial

Com base nos resultados obtidos para águas superficiais, observa-se que todos os elementos estão com a concentração máxima abaixo do valor orientado de referência da resolução CONAMA 357/2005 [14], com a exceção de elemento **manganês total** que apresentou concentração igual a **0,166 mg/L** no ponto ASBG 01. Portanto, esse seria uma referência atual de valor de *background* geoquímico para este parâmetro.

Os elementos de interesse para área de estudo, arsênio, ferro, cromo, níquel e cádmio não apresentaram valores de concentração acima dos valores preconizados na resolução CONAMA 357/05 [14], contudo, o trabalho aqui apresentado reporta somente uma campanha. Valores de *background* geoquímico para água superficial geralmente se reportam em faixas de concentração devido a variações sazonais típicas de amostras dessa natureza. Para a confirmação da faixa de valores determinados neste estudo, os pontos devem ser monitorados nos períodos de chuva e estiagem para avaliar as variações dos parâmetros de acordo com a sazonalidade.

### Água subterrânea

Com base nos resultados obtidos para as águas subterrâneas, observa-se que a concentração do elemento alumínio esteve ligeiramente acima dos limites estabelecidos pela Resolução do CONAMA 396/2008 [16]. Mas apresentam uma concentração natural da área de estudo.

## **CONCLUSÃO**

O estudo foi realizado conforme preconizado na resolução ambiental do CONAMA 420/09 para região de Pilar de Goiás, visando subsidiar estudos de investigação ambiental de risco à saúde humana e ecológica. A partir da caracterização da geologia e pedologia local e do reconhecimento local do uso de ocupação do solo foi possível realizar uma rede amostral representativa das áreas de menor impacto antrópico.

### Solos

A amostragem de solo foi realizada em três diferentes estações de monitoramento para cada classe de solo predominante nesta área, que seriam: cambissolos da Fm Serra do Moinho e Gr. Araxá. Além disso também foram investigados os solos em geral na área do empreendimento, servindo de embasamento para este estudo.

Com base na metodologia adotada para definição de *background* para solos, os valores de **arsênio, cobre, cromo, cádmio e níquel** apresentam valores acima do valor de prevenção (VP) e **arsênio, cromo, cádmio e níquel** acima do valor de investigação (VI) da norma vigente [6] para o cambissolo háplico Tb distrófico latossólico da Fm. Serra do Moinho. Esses valores são concentrações de referência técnica para futuros trabalhos de investigação ambiental e de avaliação de risco à saúde humana e ecológica.

### Águas Superficiais

A amostragem de águas superficiais foi realizada no Córrego do Amâncio e Rio Vermelho a montante do empreendimento e os resultados indicam uma boa qualidade da água sendo que todas as concentrações dos elementos analisados estão abaixo dos limites legais da resolução nacional [14], com a exceção do **manganês total (Mn)** que foi de **0,166 mg/L**, portanto este seria o valor de *background* geoquímico para este elemento.



## Água subterrânea

A amostragem de água subterrânea foi realizada em um poço a montante do empreendimento e os resultados indicam uma boa qualidade da água sendo que todas as concentrações dos elementos analisados estão abaixo dos limites legais [16], com a exceção do parâmetro **Alumínio (Al)** que foi de **0,312 mg/L**, enquanto o VMP é de apenas 0,10 mg/L.

É recomendado que os pontos de *background* geoquímico de água superficial e subterrânea possam ser monitorados mais vezes até que uma série histórica de mais de 3 ciclos hidrológicos se complete. Recomenda-se campanhas semestrais que contemplem a estação chuvosa e seca. A partir dessa série histórica será possível consolidar os valores de *background* geoquímico ambiental para a área investigada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Rodrigues, A.; Nalini, H. (2009). Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. Rev. Escola de Minas, vol. 62, nº 2. Ouro Preto.

[2] Reimann, C; Caritat, P. (1998). Chemical Elements in the Environment. Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist. Springer-Verlag, New-York, EUA, 398p.

[3] Matschullat, J.; Ottenstein, R.; Reimann, C. (2000). Geochemical Background – Can we calculate it?. Environmental Geology, vol. 39, nº 9, p. 990-1000.

[4] ECHA - European Chemicals Agency (2008). General Report.

[5] Galuska, A. (2006). A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. Environmental Geology, vol. 52, p. 861–870.

[6] BRASIL (2009). Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

[7] BRASIL (1981). Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Folha SD.22 Goiás: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. v. 25. Rio de Janeiro.

[8] Santos, R. D.; Santos, H. G.; Ker, J. C.; Anjos, L. H. C.; Shimizu, S. H. (2015). Manual de Coleta e Solo no Campo. Viçosa, MG: SBCS. 102p.

[9] EMBRAPA (2018). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª ed. Brasília, DF. 356p.

- [10] EMBRAPA (2017). Manual de métodos de análise de solo. 3ª ed. Brasília, DF. 573p.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 9.897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento. Rio de Janeiro.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1987). NBR 9.898: Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores – Procedimento. Rio de Janeiro.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2017). NBR 17.025: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro.
- [14] BRASIL (2005). Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- [15] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). NBR 15.847: Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento — Métodos de purga. Rio de Janeiro.
- [16] BRASIL (2008). Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 396 de 03 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
- [17] CFSEMG – Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais (1999). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. ed. Lavras. 359 p.
- [18] USEPA – United States Environmental protection Agency (1998). Method 3050 B. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa-3050b.pdf>>. Acesso em julho de 2020.