



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DÉBORAH ANGÉLICA RODRIGUES DOS SANTOS  
PRISCILA XAVIER DE CAMARGO**

**CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE  
BARÃO DE COCAIS - MG**

**PUBLICAÇÃO Nº: 02**

**GOIANÉSIA / GO  
2019**



**DÉBORAH ANGÉLICA RODRIGUES DOS SANTOS  
PRISCILA XAVIER DE CAMARGO**

**CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE  
BARÃO DE COCAIS - MG**

**PUBLICAÇÃO Nº: 02**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

**ORIENTADOR: Me. ANA CLÁUDIA OLIVEIRA SÉRVULO**

**GOIANÉSIA / GO: 2019**



**DÉBORAH ANGÉLICA RODRIGUES DOS SANTOS  
PRISCILA XAVIER DE CAMARGO**

**CLASSIFICAÇÃO DO USO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE  
BARÃO DE COCAIS - MG**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE  
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

**APROVADO POR:**

---

**Me. ANA CLÁUDIA OLIVEIRA SÉRVULO, Mestre em Agronomia (FACEG)  
(ORIENTADORA)**

---

**Esp. ROBSON DE OLIVEIRA FÉLIX, Especialista em Engenharia Civil (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

---

**Dr. THIAGO FERREIRA DA CUNHA, Doutor em Física (FACEG)  
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: GOIANÉSIA/GO, 02 de DEZEMBRO de 2019.**

*Dedico este trabalho:  
À minha mãe, Cleonice Rodrigues..*

***Déborah Angélica Rodrigues***

*Dedico este trabalho:  
À minha amada avó, Ana Rosa.*

***Priscila Xavier de Camargo***

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por que me dar força de vontade e coragem para superar todos os desafios e por nunca me deixar desistir, e por cada vitória e também por cada derrota que me trouxe aprendizados.

Em especial, quero agradecer minha mãe Cleonice Rodrigues, que com paciência e muita dedicação, nunca deixou de acreditar em mim, e assim me trouxe forças para seguir em frente. Ao meu pai Ailton Aparecido, que sempre demonstrou o orgulho em cada conquista. À minha irmã Emanuella Sophia, que me mostrou o significado do amor mais puro. À todos meus familiares, em especial aos meus tios Marcos Tulio, Maria Abadia e Cleide Rodrigues, minha madrinha Nilta Helena e minha prima Micaelle Alves.

Aos meus grandes amigos que a instituição me apresentou, em especial Clenio Souza, Raul Ferrão e Lucas Cardoso.

E sou grata por todas as pessoas que mesmo por pouco tempo, passou por minha vida nesses últimos 5 anos e teve um grande significado, que levarei pela a vida toda. Aos meus amigos que aguentaram minha impaciência e a dispersões em meio a correria do final do curso.

Em memória ao meu tio Roberto Rodrigues, e ao meu avô Emanuel Martins, à tia Margarida, por todos seus ensinamentos que sentirei eternas saudades.

E também desejo agradecer a todos nossos professores da instituição, que nos proporcionou tanto aprendizados. À nossa orientadora Me. Ana Cláudia, por sua ajuda na superação de dificuldade e pelas instruções em dispersar interesses em um novo cenário. E ao professor Mes. Gustavo Brito, por sua disponibilizadas em tirar duvidas cruciais em nosso trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Ao longo desses anos, aprendi que é necessário muita perseverança e paciência.. Primeiramente agradeço a Deus, pela vida e por permitir chegar até aqui, dando-me sabedoria e muita paciência para saber esperar por esse momento tão sonhado, perseverancia para nunca desistir e enfrentar todas as dificuldades encontradas ao longos desses anos.

Aos meus pais Adailzo (in memoriam) e Maria Aparecida, que sempre esteve comigo. Mãe à senhora é meu maior exemplo de honestidade e dignidade. Ao meu irmão Rafael.

A minha amada vó Ana Rosa, que sempre esteve ao meu lado quando eu mais precisava com seu amor inigualável, me aconselhando e sempre acreditando em mim. À senhora Vó Ana o meu eterno amor e gratidão por tudo.

Ao meu namorado Jairo Pacheco, o meu grande amor. Agradeço a Deus por ter te conhecido e a cada conselho que me deste, pela imensa paciência e companheirismo que teve comigo ao longo desses anos.

Agradeço a todos os meus familiares, tios, tias, primos, primas, por acreditaram no meu potencial e que sempre estiveram presente nesta caminhada.

Agradeço de forma especial meus amigos e os colegas da graduação que estiveram comigo ao decorrer desses anos e que nunca me esquecerei de vocês.

A nossa orientadora Me. Ana Cláudia deixo minha gratidão pela ajuda e orientação. E aos demais professores dessa instituição que de alguma forma contribuiu para minha formação.

*“Sem sonhos, a vida não te, brilho. Sem metas, os sonhos não têm alicerces. Sem prioridades, os sonhos não se tornam reais. Sonhe, trace metas, estabeleça prioridades e corra riscos para executar seus sonhos. Melhor é errar por tentar do que errar por se omitir!”*  
**Augusto Cury**

## RESUMO

Devido as ações antrópicas e uso desordenado dos recursos naturais, nosso planeta tem apresentado constantes mudanças nas paisagens devido as alterações no uso e ocupação do solo. Para reduzir, ou até mesmo cessar o uso irracional dos recursos naturais, faz-se necessário o constante monitoramento do uso e cobertura do solo, e para tal, tem-se utilizado imagens de satélite para obter informações espaço-temporais das modificações da paisagem. Deste modo, o presente trabalho foi desenvolvido na região do povoado de Socorro situada na cidade de Barão de Cocais, por se tratar de uma região que em 2019 entrou em alerta de risco devido ao provável rompimento da Barragem Gongo Soco, que foi construída com o mesmo modelo de alteamento à montante da barragem de Mariana e Brumadinho que se romperam respectivamente em 2015 e 2018 e geraram externalidade negativas para o estado de Minas Gerais e Espírito Santo. Com a classificação do uso do solo, foram identificadas as classes: solo exposto/área urbana, vegetação nativa, água, afloramento/campo/pastagem e reflorestamento. Através dessa classificação foi possível projetar o possível impacto na região. Para tal, foi utilizadas ferramentas de geoprocessamento e dados SRTM.

**Palavras-chave:** Paisagens, impactos, barragem, rompimento, projeção, classificação, solo.

## ABSTRACT

Due to anthropic actions and disordered use of natural resources, our planet has been constantly changing landscapes due to changes in land use and occupation. To reduce or even cease irrational use of natural resources, constant monitoring of land use and land cover is required, and satellite images have been used to obtain spatiotemporal information on landscape changes. Thus, the present work was developed in the region of the village of Socorro located in the city of Barão de Cocais, because it is a region that in 2019 came into risk alert due to the probable rupture of the Gongo Soco Dam, which was built with the same model of elevation upstream of the Mariana and Brumadinho dam that broke respectively in 2015 and 2018 and generated negative externalities for the state of Minas Gerais and Espírito Santo. By classifying land use, the following classes were identified: exposed soil / urban area, native vegetation, water, outcrop / field / pasture and reforestation. Through this classification it was possible to project the possible impact on the region. For this, SRTM geoprocessing and data tools were used.

**Keywords:** Landscapes, impacts, dam, disruption, projection, classification, soil.

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1</b> - Alçamento a montante.....	5
<b>Figura 2</b> - Alçamento a jusante.....	6
<b>Figura 3</b> - Alçamento por linha centro. ....	6
<b>Figura 4</b> – Esquema da Mina Gongo Soco, em Barão de Cocais.....	7
<b>Figura 5</b> - Povoado de Socorro – MG. ....	10
<b>Figura 6</b> - Bacia hidrografia do Rio Piracicaba – MG.....	11
<b>Figura 7</b> - Acesso do rejeito do Talude Sul até o povoado de Socorro. ....	12
<b>Figura 8</b> -Fluxograma das etapas para geração do modelo de classificação de ocupação. ....	14
<b>Figura 9</b> - Mapa da classificação de solo da cidade de Barão de Cocais - MG.....	15
<b>Figura 10</b> – Mapeamento da classificação do uso de solo da povoado de Socorro.....	16

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1</b> – Distribuição granulométricas, coeficientes granulométricos e parâmetros geotécnicos dos rejeitos da barragem Gongo Soco. ....	13
<b>Tabela 2</b> – Tabela de classificação de uso do solo da cidade de Barão de Cocais. ....	17
<b>Tabela 3</b> Tabela de classificação do uso de solo do povoado de Socorro. ....	17

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 Objetivo Geral .....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
1.3 JUSTIFICATIVA .....	2
<b>2 RESÍDUOS DO PROCESSO DE MINERAÇÃO DE FERRO</b> .....	3
2.1 REJEITOS .....	3
2.2 ESTÉREIS .....	4
<b>3 MÉTODOS CONSTRUTIVOS</b> .....	5
2.1 MÉTODO DE MONTANTE .....	5
2.2 MÉTODO A JUSANTE .....	5
2.3 MÉTODO LINHA DE CENTRO .....	6
<b>4 BARRAGEM DA MINA GONGO SOCO</b> .....	7
<b>5 MODELO ARCGIS ®</b> .....	8
5.1 DESCRIÇÃO DOS APLICATIVOS .....	8
5.1.1 ArcCatalog .....	8
5.1.2 ArcMap .....	8
5.1.3 ArcToolbox .....	8
<b>6 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	10
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	10
6.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRAFICA DA ÁREA EM ESTUDO .....	10
6.3 IMPACTOS DE DANOS APÓS O ROMPIMENTO DO TALUDE SUL .....	11
6.4 CARACTERÍSTICAS DOS REJEITOS .....	13
6.5 BASE DE DADOS .....	13
6.6 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E MAPEAMENTO DAS FORMAS DE USO E OCUPAÇÃO DE SOLO .....	14
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	15
<b>8 CONCLUSÃO</b> .....	19
<b>9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	20

## 1 INTRODUÇÃO

O setor minerário brasileiro cresceu entre os anos de 1995 e 2012, e sua representatividade passou de 0,8% para 4,3% do PIB. O desenvolvimento do setor promove o aumento na geração de resíduos produzidos pela extração de minério. O Brasil é um dos maiores produtores e exportadores de minérios do mundo, chegando a produzir 72 substâncias minerais, onde 23 são metálicas, 45 não-metálicas e 4 energéticos. Na produção mineral brasileira, 60% do valor total é obtido através do minério de ferro (PINHEIRO, 2011).

A mineração causa impacto significativo no meio ambiente, pois a atividade implica degradação na vegetação, exposição do solo a processos erosivos, alteração nos recursos hídricos tanto superficiais como subterrâneos, poluição do ar, entre outros aspectos negativos (CABRAL JUNIOR et al, 2008).

O uso desordenado dos recursos ambientais, como: solo, água e flora provoca aceleração dos processos erosivos, impermeabilização do solo, perda de biodiversidade, assoreamento de reservatórios e cursos d'água, entre outros impactos ao solo e ao meio ambiente. Com o acelerado crescimento populacional a demanda por novas áreas aumenta, para garantir a necessidade de moradias. O resulta, em muitas situações, como a ocupação desordenada de áreas e o uso descontrolado de recursos naturais (NASCIMENTO; FERNADES, 2016; SANTOS; SANTOS, 2010; VAEZA et al., 2010).

A vegetação nativa e o uso antrópico da terra influenciam de maneira direta os recursos hídricos e a produção de água, que são de extrema importância para o ser humano e o meio ambiente. Sendo assim, é necessário elaborar estratégias para explorar de maneira sustentável estes recursos visando a sua preservação e manutenção (MOREIRA et al., 2015).

A utilização racional dos recursos ambientais e a garantia do acesso a água, estão ligada diretamente a preservação das bacias hidrográficas, formas de uso e manejo adequado do solo. Para minimizar danos causados pelo mal-uso do solo, são realizadas estratégias de uso do solo com o auxílio de técnicas de georreferenciamento e sensoriamento remoto que podem ajudar a planejadores e legisladores a elaborar melhores formas de uso, para o desenvolvimento da região (PRUDENTE; ROSA, 2007).

Com isso tem-se realizado o monitoramento ambiental com o auxílio das ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para acompanhar e monitorar a dinâmica do uso e ocupação do solo. Assim, os efeitos prejudiciais ao meio físico diminuem, uma vez que o

acompanhamento desta dinâmica permite o diagnóstico das mudanças ocorridas sobre o meio ambiente (SILVA; FRANÇA, 2013).

Diante do exposto, neste trabalho, objetivou-se a realizar um diagnóstico das formas de uso e ocupação do solo no povoado de Socorro situada na cidade de Barão de Cocais – MG, a fim identificar as mudanças ocorridas dentro da área em estudo no município.

## 1.2 OBJETIVOS

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Realizar um diagnóstico da classificação do uso do solo no povoado de Socorro localizado em Barão de Cocais – MG.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Levantar as condições de drenagem superficial da região;
- Mapeamento do uso do solo no município de Barão de Cocais e do povoado de Socorro;
- Quantificar a área acometida pelo possível rompimento da barragem da Mina de Gongo Soco.

## 1.3 JUSTIFICATIVA

Diante do rompimento da barragem da Samarco em Mariana (2015), que acarretou 19 mortes e inúmeros danos socioeconômicos e ambientais e em menos de 4 anos, ocorreu o mesmo problema em Brumadinho (2019) com impacto ainda maior no estado de Minas Gerais, a população entrou em alerta com esse tipo de barragem, por se tratar do mesmo sistema de alteamento.

Após análises, foi constatado um maior risco de desastre na barragem da Mina Gongo Soco, localizada no município de Barão de Cocais, e devido a isso, optamos por esse local de estudo, para demonstrar o impacto da destruição caso o talude venha a ceder.

## 2 RESÍDUOS DO PROCESSO DE MINERAÇÃO DE FERRO

O processo de mineração pode ser definido como atividades relacionadas à extração econômica de bens minerais da crosta terrestre e através da lavra e beneficiamento dos minérios, causa grandes transformações no meio ambiente (CHAMMAS, 1989).

O Brasil ocupa uma posição mundial dominante, com inúmeras reservas mundiais, sendo de minerais metálicos e não metálicos. O país que vivemos produz mais de 70 diferentes bens minerais, sendo de minerais metálicos, não metálicos e energéticos (CETEM, 2001).

As atividades de mineração geram uma quantidade significativa de rejeitos, o qual é um subproduto inevitável. A criação de rejeitos afeta de forma qualitativa e quantitativa ao meio ambiente. Os rejeitos são estruturas geotécnicas que devem permanecer estáveis por períodos muitos longos, normalmente maiores que a própria vida útil da mina.

As barragens de rejeito são estruturas criadas com a finalidade de armazenar e tratar os efluentes sólidos, produzidos em grande quantidade, provenientes da mineração.

Atualmente, a legislação ambiental brasileira impõe normas rígidas para as companhias dedicadas à mineração, exigindo um elevado controle dos diferentes processos de exploração, e também para a deposição dos rejeitos originados do beneficiamento do minério, recomendando a utilização de barragens de rejeito (ABNT, 1993).

O rejeito da mineração, é o material proveniente do beneficiamento do minério de ferro, do qual já foi retirada a parte economicamente importante. Este rejeito pode estar na forma de fragmentos ou partículas secas, ou em via aquosa (IBAMA 1990, ABRAHÃO & MELLO 1998).

### 2.1 REJEITOS

A definição de rejeitos basicamente são os resíduos gerados diretamente na planta de beneficiamento de minérios, onde sua constituição é caracterizada pela presença bem definida de uma fração líquida e sólida, com concentração normalmente compreendida na faixa de 30 a 50% em peso. As características químicas da água liberada pela polpa são função do processo industrial de concentração do minério e poderão ter grande influência no projeto final de disposição dos rejeitos. Na condição do efluente líquido apresentar níveis elevados de substâncias tóxicas, o sistema de disposição deverá prever a recirculação da água ou tratamento prévio para descarga no ambiente (VICK, 1983).

Os rejeitos de mineração podem variar de materiais arenosos não plásticos até solos muito finos e de alta plasticidade.

## 2.2 ESTÉREIS

Os estéreis são resultantes de todo o material, provisoriamente sem valor econômico, extraído na operação da lavra com intuito de facilitar o aproveitamento do minério. Este material é formado normalmente por rochas ou solos provenientes do decapeamento da jazida. As pilhas de estéreis controladas são construídas de forma ascendente com uma geometria definida que garanta a estabilidade do aterro. É de grande importância na execução, que haja um eficiente sistema de drenagem superficial e de obras de proteção dos taludes (cobertura vegetal e pinturas impermeabilizantes) realizadas gradativamente com o crescimento da pilha. Essas medidas visam reduzir os efeitos das ações erosivas pluviais e eólicas sobre os taludes, impedindo o carreamento excessivo do sólido e o conseqüente assoreamento de cursos d'água (CHAMMAS 1989).

Existem também as pilhas executadas sem controle operacional, que são basicamente aterros de ponta tipo bota-fora onde o basculamento do estéril é realizado de forma direta sobre a encosta, sem qualquer tratamento da fundação ou execução prévia do sistema de drenagem (superficial e profunda).

As pilhas sem controle são caracterizadas, por sua grande instabilidade e sujeitas a movimentos de massa como escorregamentos e rupturas generalizadas. Além disso, pode causar também assoreamento de nascentes nas proximidades da área de disposição.

### 3 MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Existem três principais métodos construtivos ou de alteamento do barramento, que são: Montante, Jusante e Linha de Centro.

O método utilizado deve ser o mais adequado diante das características topográficas, geológicas, geotécnicas, hidrogeológicas, hidrológicas, sismológicas e climáticas, além de aspectos ambientais e de utilização da obra (ANA, 2016). Apesar que é mais comum optar-se pelo método que, em dada situação, proporciona a estabilidade adequada ao menor custo (EPA 1994).

#### 2.1 MÉTODO DE MONTANTE

Este método conta com o menor custo, maior velocidade de alteamento, mas também apresenta um grande risco de segurança, devido suas paredes serem construídas sobre uma base de rejeitos, ao invés de materiais externos ou pelo próprio solo, pondo em risco da água atravessar determinadas regiões do talude e enfraquecer a estrutura (PASSOS, 2009). Diante disso, não é recomendado sua construção em zonas tectonicamente ativas, um exemplo é no Chile e Peru, onde são proibidos esse tipo de alteamento. Em Minas Gerais, foi assinado um decreto instituindo a Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragem sobre as barragens já erguidas utilizando esse método, e para novos projetos, foram adicionados alguns procedimentos para serem adotados pelo empreendedor (MINAS GERAIS, 2016).

O alteamento a montante consiste na construção de diques sobre as praias formadas pela decantação do próprio rejeito, deslocando o eixo da obra em direção a montante (SOARES, 2010).

**Figura 1** - Alteamento a montante.



Fonte: Araújo (2006)

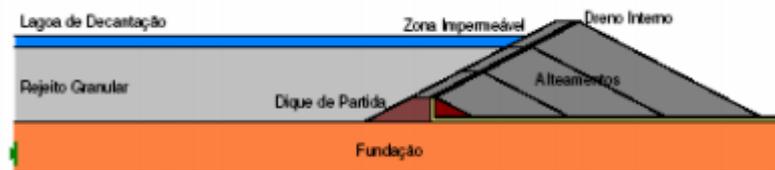
#### 2.2 MÉTODO A JUSANTE

O método a jusante consiste na construção e alteamento do barramento sempre a jusante, isto é, deslocamento do eixo de construção na direção oposta ao do lago de decantação, e devido a

isso, o dique deve ser adotado com drenagem interna e o talude a montante deve ser impermeabilizado.

Por sua vez, esse método de alteamento gera mais custos, devido ao maior volume de material que devem ser compactados e movimentados, e conta com uma menor velocidade de alteamento da barragem. Mas gera maior segurança e menor probabilidade de ruptura devido à alta resistência ao cisalhamento e a vibrações (SOARES 2010).

**Figura 2** - Alteamento a jusante.



Fonte: Araújo (2006).

### 2.3 MÉTODO LINHA DE CENTRO

O método da linha de centro, utiliza uma técnica que consiste na construção e alteamento do barramento tanto a montante quanto a jusante, com um dreno no eixo vertical, chamado linha de centro, sobre o rejeito depositado a montante e sobre o barramento a jusante. Essa técnica tenta minimizar as desvantagens entre os dois, mas também relaciona à segurança do método para jusante com o custo e velocidade do alteamento para montante. É caracterizado pela facilidade construtiva (PASSOS 2009).

**Figura 3** - Alteamento por linha centro.



Fonte: Araújo (2006).

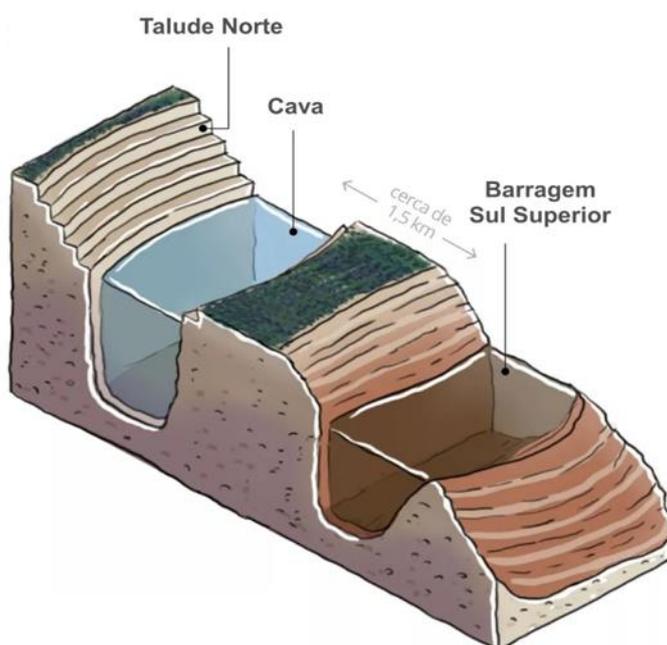
#### 4 BARRAGEM DA MINA GONGO SOCO

Após os colapsos causados pelos rompimentos das barragens de Mariana - MG em 2015 e Brumadinho - MG (2018), a Mina Gongo Soco, localizada em Barão de Cocais, na região central de Minas Gerais apresenta estado de alerta. Ela foi construída pelo método de alteamento a montante, onde nesse método, os rejeitos são lançados a montante desde a crista do dique inicial, a qual servirá como fundação para a construção do novo alteamento e é considerado o menos seguro (G1 MINAS, 2019).

O paredão se formou à medida que a Mina Gongo Soco foi sendo escavada para retirada de minério de ferro. Formada pelo Talude Norte, Cava e Barragem Sul Superior. Segundo a Vale, a Mina está paralisada desde 2016 (VALE, 2019). A estrutura em alerta de rompimento, seria o Talude Norte, que é um paredão inclinado que dá sustentação à cavidade de onde foi retirado o minério, que é separado por um paredão de 1,5 m da Barragem Sul Superior, onde está localizado os rejeitos da mineração e tem volume de cerca de 6 milhões de m<sup>3</sup>.

De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2019), o talude norte, quando se encontrava estável, se movimentava cerca de 10 cm por ano. Mas desde o final de 2018, onde entrou em situação de alerta, foi constatado uma movimentação superior a 2 metros. E no final do mês de maio (2019), foi constatado movimentação de 24 a 29 cm por dia

**Figura 4** – Esquema da Mina Gongo Soco, em Barão de Cocais.



Fonte: Roberta Jaworski/ G1 (2019).

## **5 MODELO ARCGIS ®**

Sabe-se que a história dos mapas é bem antiga, onde os mapas exercem grande importância na vida dos seres humanos. O programa ArcGIS® é um conjunto de programas que constituem um SIG, desenvolvido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute) (RODRIGUES et al., 2009). E apresenta uma grande utilidade para o monitoramento e planificação ambiental, esse programa tem sido utilizado na planificação ecológica, na avaliação de impactos ambientais e em algumas áreas através de sustentabilidade agrícola, etc (ROSA, 2004).

O ArcGIS é um sistema informação geográfica, que tem como utilidade: criar mapas, compartilhar, gerenciar, analisar dados espaciais, compilar dados geográficos (SALMONA 2018). O sistema ArcGIS® tem como base em sua estrutura três aplicativos: ArcCatalog, ArcMap e ArcToolbox.

### **5.1 DESCRIÇÃO DOS APLICATIVOS**

#### **5.1.1 ArcCatalog**

O ArcCatalog é um programa onde é possível criar e manejar arquivos e pastas, possui funcionalidades similares ao Windows Explorer, na realização de tarefas como: visualizar, copiar, mover, recortar, renomear, deletar, etc.

Esse aplicativo é um gerenciador de arquivos, que permite a criação e organização de dados geográficos (RODRIGUES et al., 2009).

#### **5.1.2 ArcMap**

O ArcMap constitui é um suporte de visualização, edição e análise de mapas; Esse aplicativo utiliza de ferramentas de manipulação de escala, definição de legenda e preparação de layout (RODRIGUES et al., 2009).

#### **5.1.3 ArcToolbox**

É o software de geoprocessamento, nele é disponibilizado acesso a todas as funcionalidades de processamento de dados. O aplicativo oferece mais de 100 ferramentas para

este tipo de utilização conforme o interesse da pesquisa. É uma poderosa “caixa de ferramentas” (RODRIGUES et al., 2009).

## 6 MATERIAL E MÉTODOS

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado abrangendo o povoado de Socorro – MG e o município de Barão de Cocais – MG, localizada nas coordenadas 19° 58' 46" S, 43° 35' 03" O (Figura 2), área aproximada de 7,37 km<sup>2</sup>. O município mineiro de Barão de Cocais detém de 30.000 habitantes e se localiza a 90 km de Belo Horizonte (IBGE, 2017).

**Figura 5 - Povoado de Socorro – MG.**



Fonte: Google Earth

### 6.2 CARACTERIZAÇÃO HIDROGRAFICA DA ÁREA EM ESTUDO

O presente estudo foi feito para o povoado de Socorro, localizada em Barão de Cocais em Minas Gerais, que atualmente corre o risco de devastamento caso ocorra o rompimento da barragem Gongo Soco. O município de Barão de Cocais está localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, que tem área de 5.465,38 km<sup>2</sup>, e representa cerca de 1% do território do Estado de Minas Gerais (Figura 3). Aproximadamente, 800 mil pessoas vivem na Bacia do Rio Piracicaba, totalizando 21 municípios do estado (IGAM, 2019). A cidade de Barão de Cocais comporta quatro

rios dessa bacia, que são: O rio São João, o Conceição, o Córrego São Miguel e o rio Una. Com o rompimento da barragem do talude sul da barragem de Gongo Soco, afetaria também a bacia do Rio doce, que foi impactada em 2015, a partir do rompimento da barragem de Mariana (VALLE, 2019).

**Figura 6** - Bacia hidrografia do Rio Piracicaba – MG.



Fonte: SALLES (2010).

### 6.3 IMPACTOS DE DANOS APÓS O ROMPIMENTO DO TALUDE SUL

Devido a instabilidade na Barragem Sul Superior da mina Gongo Soco, os moradores das comunidades de Socorro, Piteiras, Tubuleiro e Vila do Gongo localizadas na cidade de Barão de Cocais, entraram em alerta devido a alta chance de destruição total de sua área (VEJA 2019).

A estrutura contém cerca de 6 milhões de metros cúbicos de rejeitos, obtidas através da extração de minério de ferro. Em caso de um suposto rompimento, os rejeitos seriam despejados no Rio Santa Barbara, avançaria até o município de Barão de Cocais e isso colocariam em risco cerca de 6 mil moradores ribeirinhos. De Barão de Cocais, o Rio Santa Bárbara segue seu curso até o Rio Piracicaba, que é um dos afluentes do Rio Doce, onde em 2015 devido ao rompimento da barragem em Mariana, teve diversos impactos negativo em sua bacia (VALE, 2019).

Figura 7 - Acesso do rejeito do Talude Sul até o povoado de Socorro.



Fonte: VEJA (2019).

## 6.4 CARACTERÍSTICAS DOS REJEITOS

A barragem de Gongo Soco está em operação desde os anos 80, na contenção de rejeitos provenientes do beneficiamento de hematita.

De acordo com a proposta de classificação dos solos de ROBERTSON & CAMPANELLA (1983), a análise conjunta dos perfis da resistência de ponta corrigida, da razão de atrito e de poropressão dinâmica indicou um depósito de rejeitos com comportamento concordante às faixas areno-siltosas e areno-silto-argilosas. Os perfis de densidade indicam condições extremamente fofa do depósito ao longo de toda a profundidade, entretanto, destaca o acréscimo acentuado dos valores de desidade relativa nas camadas da superfície do depósito (KULHAWY & MAYNE, 1990).

**Tabela 0.1** – Distribuição granulométricas, coeficientes granulométricos e parâmetros geotécnicos dos rejeitos da barragem Gongo Soco.

Argila	Silte	Areia	D10	D50	CNU	CC	e mín	e máx
	(%)		(mm)					
15	58	27	0,001	0,032	39,5	10,6	0,801	1,534

D10: Diâmetro efetivo a 10%; D50: Diâmetro efetivo de 50%; CNU: Coeficiente de não uniformidade (Adimensional); CC: Coeficiente de curvatura (Adimensional); e: Índice de vazios.

Fonte: ALBUQUERQUE (2004)

## 6.5 BASE DE DADOS

Foi utilizada a base de cartográfica do Estado de Minas Gerais com limites municipais, bacias hidrográficas e rede de drenagem na escala 1:250.000 disponibilizada de maneira gratuita pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espacial – INPE.

O levantamento topográfico e hidrológico foi realizado a partir do software ArcGis. Este mapeamento utilizou imagens SRTM com 30m de resolução espacial e escala de 1:250.000.

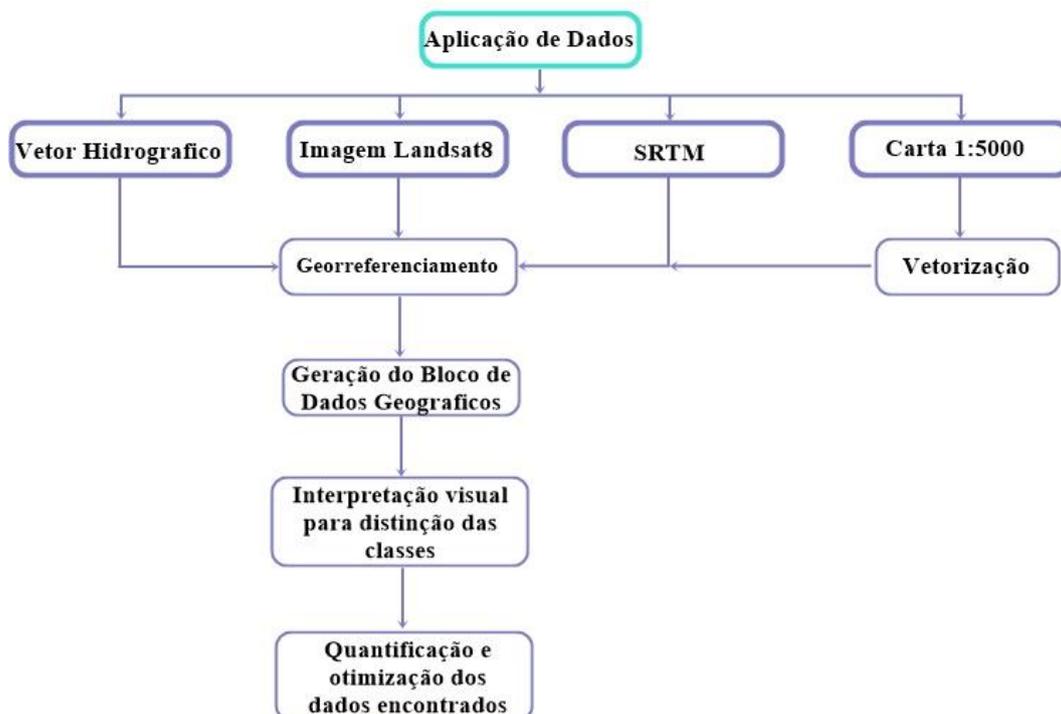
Para o mapeamento para distinguir as formas de uso e ocupação do solo na área de estudo também foi feito com o auxílio do ArcGis®. O respectivo projeto utilizou imagens do satélite Landsat8 registrada no dia 09 de setembro de 2019, 30m de resolução espacial e escala do projeto 1:250.000, convertida a RGB.

## 6.6 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E MAPEAMENTO DAS FORMAS DE USO E OCUPAÇÃO DE SOLO

Com auxílio do software de sistemas de informações geográficas (SIG) Arcmap10.4, foi realizado o recorte da delimitação do município de Barão de Cocais e da área de drenagem de influência sobre a comunidade de Socorro utilizando a base cartográfica em meio digital. A área de influência foi definida com base na análise da topografia local e da projeção de fluxo do escoamento superficial, sob a perspectiva de um possível rompimento da barragem de rejeitos da Mina de Gongo Soco.

Os mapas de uso e cobertura do solo foram delimitados e extraídas as feições para dentro da respectiva área de estudo. Foram quantificadas as áreas e percentual ocupado do mapeamento de classificação de cada.

**Figura 8**-Fluxograma das etapas para geração do modelo de classificação de ocupação.



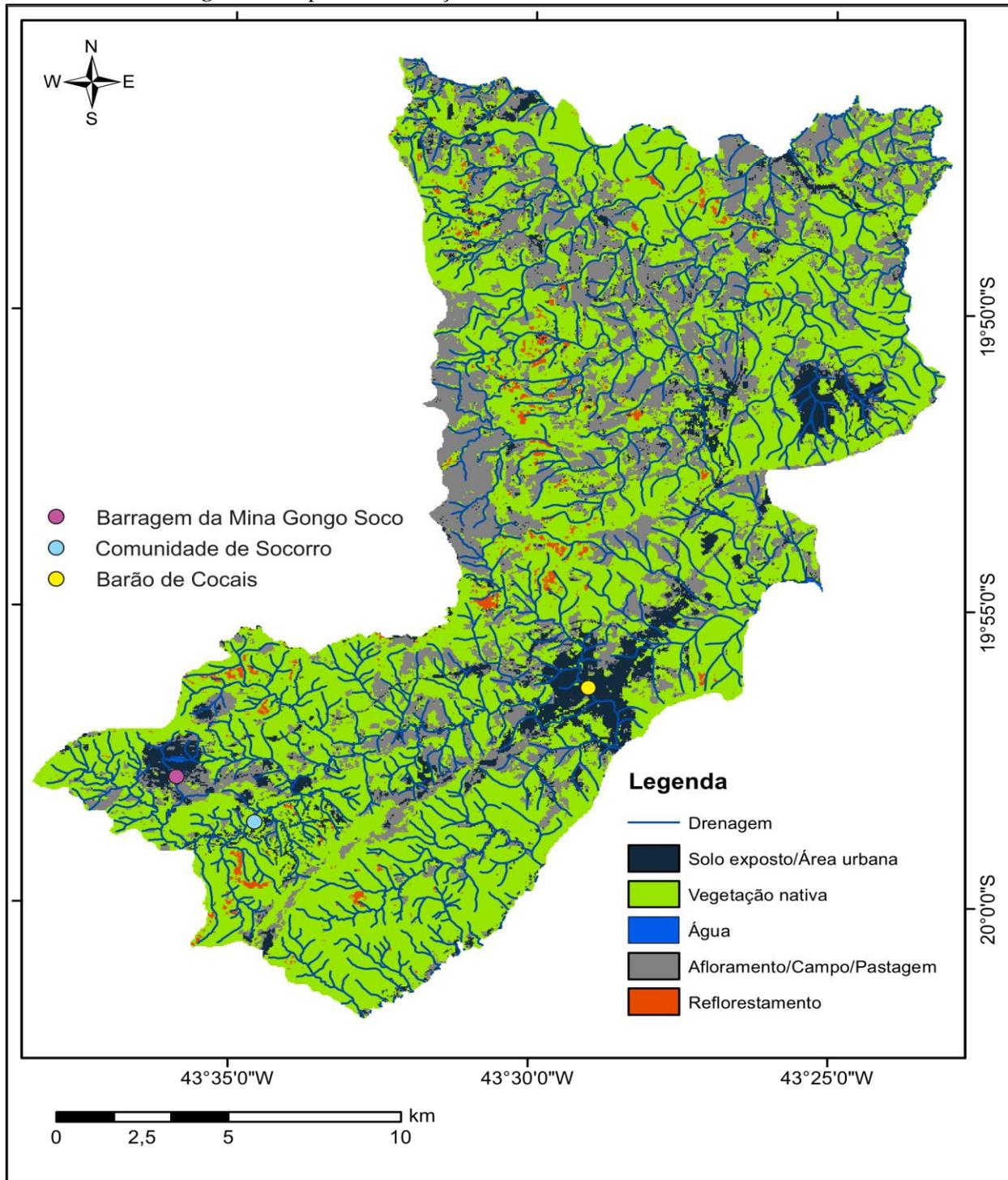
Fonte: Autor.

Os resultados de área e percentual ocupado por cada classe foram organizados em planilha eletrônica para identificar as classes de uso do solo dentro de cada área delimitada. Os mapas de uso e ocupação do solo foram realizados no ArcMap10.4 e permitiram uma análise visual e espacial dos fragmentos das formas de uso e ocupação do solo na área em estudo.

## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 9 consta a classificação do uso do solo dentro do limite municipal de Barão de Cocais. Foram identificadas as classes: solo exposto/área urbana, vegetação nativa, água, afloramento/campo/pastagem, e reflorestamento.

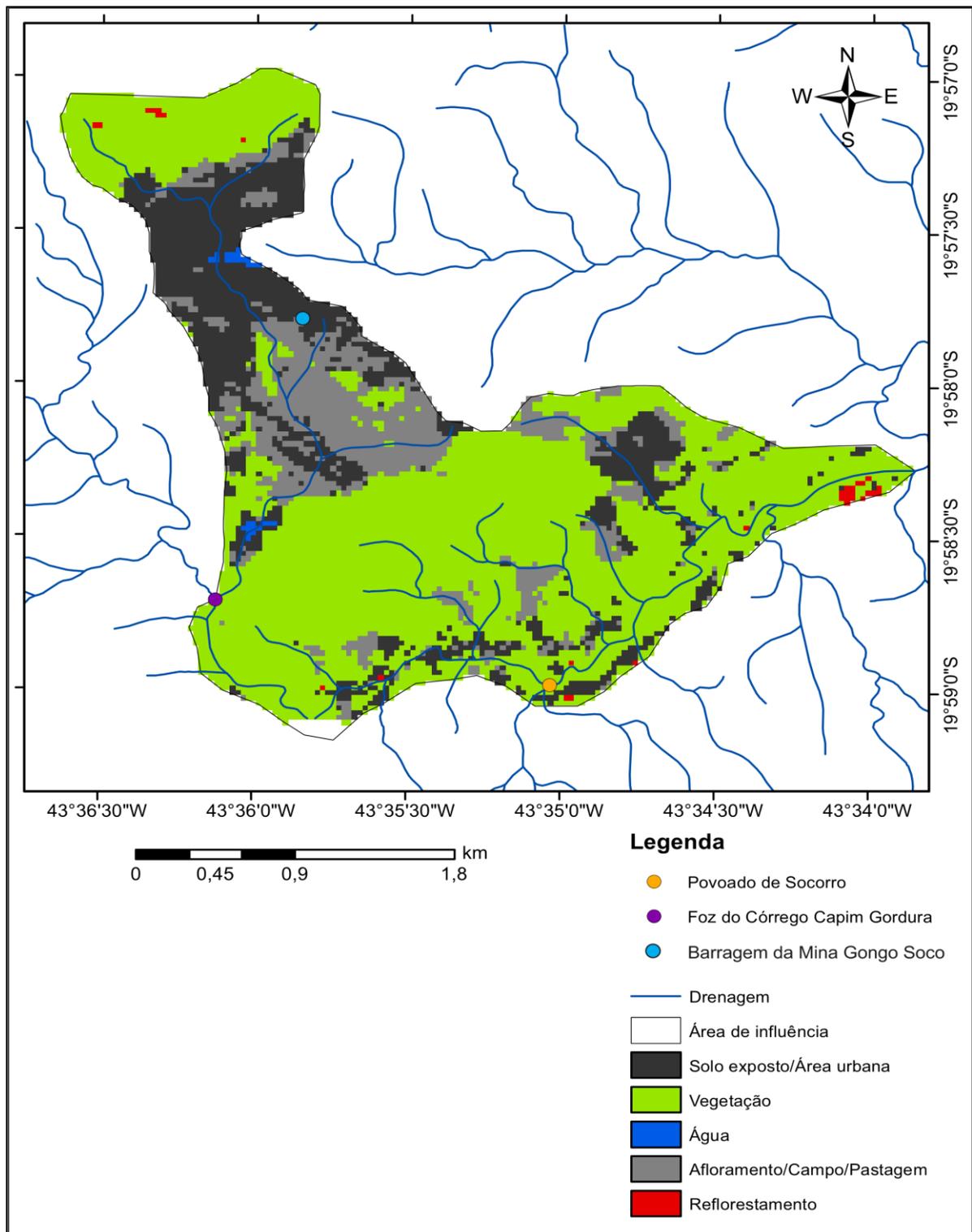
**Figura 9** - Mapa da classificação de solo da cidade de Barão de Cocais - MG.



Fonte: Autoras.

Na Figura 10 consta a classificação de uso do solo da área de drenagem de influência sobre o povoado de Socorro. Esta área inclui a bacia hidrográfica do Córrego Capim Gordura e a barragem de rejeitos da mina de Gongo Soco. A área de influência delimitada apresenta 7,37 km<sup>2</sup>.

**Figura 10**– Mapeamento da classificação do uso de solo da povoado de Socorro.



Fonte: Autoras.

Na Tabela 2 são apresentadas a distribuição das classes nos limites do município de Barão de Cocais. Maioria é composta por vegetação nativa (65,54%) e a menor é composta por corpos hídricos (0,04%). No total, o município possui 342,29 km<sup>2</sup>.

**Tabela 2** – Tabela de classificação de uso do solo da cidade de Barão de Cocais.

<b>CLASSE</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA EM (%)</b>
Solo exposto/Área urbana	29.256.300	8,55
Vegetação Nativa	224.326.800	65,54
Água	153.000	0,04
Afloramento/Campo/Pastagem	83.670.300	24,44
Reflorestamento	4.878.900	1,43
<b>TOTAL</b>	<b>342.285.300</b>	<b>100</b>

Fonte: Autoras.

Na Tabela 3 é apresentada a distribuição das classes de uso do solo sobre a área de influência do povoado de Socorro. Novamente, a vegetação nativa é predominante (62,08%).

**Tabela 0.3** Tabela de classificação do uso de solo do povoado de Socorro.

<b>CLASSE</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA EM (%)</b>
Solo exposto/Área urbana	1.556.100	21,12
Vegetação Nativa	4.575.600	62,08
Água	24.300	0,33
Afloramento/Campo/Pastagem	1.185.300	16,08
Reflorestamento	28.800	0,39
<b>TOTAL</b>	<b>7.370.100</b>	<b>100</b>

Fonte: Autoras.

Observa-se a semelhança entre as distribuições de classes do município e do povoado, destacando somente distinção na região de Solo exposto/Área urbana, comparada as suas porcentagens, visto que esta classe corresponde somente à 2,15% da área de influência.

Considerando a drenagem natural e a topografia da área de influência, na perspectiva de um possível rompimento da barragem de rejeitos, foi constatado maior acometimento sobre a vegetação nativa. Entretanto, devido à localização às margens do Rio São João, o povoado de Socorro seria totalmente afetado.

## 8 CONCLUSÃO

Como já vimos a partir do rompimento das barragens de Mariana – MG (2015) e Brumadinho – MG (2019), os danos afetam não só a população que moram nos arredores da região. Contudo a projeção de danos ambientais da fauna e flora tem impactos significativos e irreversíveis a partir do contato desse tipo de material com o solo e a hidrografia.

- O resultado obtido mostra a projeção de danos diretamente a população da comunidade de Socorro, localizada à 800m ao Sul da barragem e da cidade de Bar de Cocais, 12,8 km ao Norte da mina, que seria devastada após o rompimento da mesma;
- Impactos direto da bacia hidrográfica, atingindo o Rio São João, Rio Conceição, Córrego São Miguel, Rio Una, Rio Santa Barbara, até atingir o Rio Doce;
- Devido ao alto índice de vegetação encontrada na região, o ponto de maior impacto seria justamente em sua fauna e flora;
- Esta classificação pode ser utilizada como perspectivas para projetar com maior precisão os danos decorrentes de acidentes ambientais, como o rompimento da barragem de rejeitos.

Com os estragos gerados após o rompimentos desse tipo de barragem, o mais sensato seria justamente interditar as barragens construídas pelo método de alteamento à montante, tendo em vista que esse método é considerado o menos seguro dentre outros existentes. E os diques com relatórios estáveis, devem passar por inspeção constantes e severas. Outro meio para diminuição desse tipo de impactos, é gerar novas atribuições para o rejeitos. Já existe vários estudos propostos a isso.

## 9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V.** Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). Recuperação de áreas degradadas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.15-26.

**ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA.** Relatório de gestão do exercício 2018. 2019. Disponível em: <[https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-aud/relatorio-de-gestao/relatorio\\_ana\\_2018\\_v-enviada\\_tcu\\_compressed.pdf/view](https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-aud/relatorio-de-gestao/relatorio_ana_2018_v-enviada_tcu_compressed.pdf/view)> Acesso em: 29 de Abr. 2019.

**ARAÚJO, C. B.** CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO DE MINERAÇÃO DE FERRO. 2006. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

**ABRIL - A VIDA SOB AMEAÇA.** Minas Gerais, VEJA 2019. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/especiais/a-vida-sob-ameaca/>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

**ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 12808: Resíduos de Serviços de Saúde: classificação. São Paulo, 1993.

**ALBUQUERQUE FILHO, Luiz Heleno.** AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO GEOTÉCNICO DE BARRAGENS DE REJEITOS DE MINÉRIO DE FERRO ATRAVÉS DE ENSAIOS DE PIEZOCONE. 2004. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFMG, Ouro Preto, 2004. Disponível em: <[https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6145/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Avalia%C3%A7%C3%A3oComportamentoGeot%C3%A9cnico.pdf](https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/6145/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Avalia%C3%A7%C3%A3oComportamentoGeot%C3%A9cnico.pdf)>. Acesso em: 16 ago. 2019.

**ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO.** O talude da cava vai se romper. Minas Gerais, 20 maio 2019.

**CABRAL JUNIOR, M. et al.** A mineração no Estado de São Paulo: situação atual, perspectivas e desafios para o aproveitamento dos recursos minerais. *Geociências*, v.27, n.2, p.171-92, 2008.

**CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL.** Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o Brasil. Rio de Janeiro: Maria Laura Barreto, 2001. 216 p. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/Desenv\\_sustentavel/desenv\\_sustentavel.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/Desenv_sustentavel/desenv_sustentavel.pdf) <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/922>>. Acesso em: 12 maio 2019.

**CHAMMAS, R.** Notas de aula do curso de barragens de contenção de rejeitos. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Civil; Escola de Minas; UFOP, 1989.

**EPA (1994).** DESIGN AND EVALUATION OF TAILINGS DAMS: TECHNICAL REPORT. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, USA, 59 p.

**G1 - PARTE DE TALUTE DE MINA DA VALE SE DESPRENDE EM BARÃO DE COCAIS.** Belo Horizonte, 31 maio 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/05/31/parte-de-talude-de-mina-da-vale-se-desprende-em-barao-de-cocais-barragem-nao-foi-afetada.ghtml>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

**GOOGLE EARTH – MAPAS.** Disponível em :

<<https://www.google.com/maps/place/Socorro,+Bar%C3%A3o+de+Cocais+-+MG,+35970-000/@-19.9814953,-43.5914976,1401m/data=!3m2!1e3!4b1!4m3!1m7!3m6!1s0xa4482cc4f35a5d:0x5a94a0a6fd94d016!2sBar%C3%A3o+de+Cocais+-+MG!3b1!8m2!3d-19.9409449!4d-43.4813186!3m4!1s0xa43bb4ebae3d5d:0x9c5bd486521b8bc8!8m2!3d-19.9811028!4d-43.5873717>> Acesso em: 29 Nov. 2019.

**IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS.** Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração. Brasília: 1990. 96p.

**IBGE** – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Agência de Notícias, 2017. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/barao-de-cocais/panorama>>. Acessado em 01 Jun. 2019.

**IGAM** - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Expedição científica percorrerá Bacia do Piracicaba em diagnóstico de rios da região. Barão de Cocais, 22 maio 2019. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/2109-expedicao-cientifica-percorrer-bacia-do-piracicaba-em-diagnostico-de-rios-da-regiao>>. Acessado em 15 Abr. 2019.

**KULHAWY, F.H. & MAYNE, P.W.** (1990). Manual on estimating soil properties for foundation design. Report Electric Power Research Institute, Palo Alto.

**MINAS GERAIS.** Secretaria de Estado de Planejamento e Gestão. Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado (PMDI). Belo Horizonte, 2016.

**MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R.; DALFI, R. L.; CAMPOS, R. F.; SANTOS, G. M. A. D. A.; EUGENIO, F. C.** Confronto do uso e ocupação da terra em APPs no Município de Muqui, ES. Floresta e Ambiente, v.22, n.2, p. 141-152, 2015.

**NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L.** Mapeamento do uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. Ciência e Natura, Santa Maria, v.39, n.1, p.170-178, 2016.

**PASSOS, N. C. S. T.** (2009). Barragem de Rejeito: Avaliação dos Parâmetros Geotécnicos de Rejeito de Minério de Ferro utilizando Ensaio de Campos—Um Estudo de Caso. Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

**PINHEIRO, M. C.** 2011. Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração. Mário Cicareli Pinheiro. 1ª Edição. ABRH.

**PRUDENTE, T. D.; ROSA, R.** Geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicados no mapeamento de uso da terra e cobertura vegetal do município de Tupaciguara-MG. In:

Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Natal, 12, 2007, Rio Grande do Norte. Anais...Natal: SBGFA, 2007.

**ROBERTSON, P.K. & CAMPANELLA, R.G.** (1983). Interpretation of cone penetration tests. Part I: sand . Canadian Geotechnical Journal, v. 20, p. 718-733.

**ROSA, R. CARTOGRAFIA BÁSICA.** Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Laboratório de Geoprocessamento. Uberlândia, São Paulo. 2004. Disponível em: <<https://www.espectrogeo.com.br/o-que-e-o-arcgis-e-o-arcgis-pro-quais-as-diferencas-entre-eles/>>. Acesso em 27 nov. 2019.

**SANTOS, A. L. C.; SANTOS, F.** Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Vaza – Barris, Sergipe. Revista Multidisciplinar da UNIESP: Saber Acadêmico, São Paulo, n. 10, p. 57-67, 2010.

**SANTOS, D. B. O.** Aplicação da RUSLE a uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

**SILVA, L. S.; FRANÇA, C. A. S. S. M.** SIG como ferramenta de mapeamento das formas de uso e ocupação do solo na APA Igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre. Anuais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 2013. 13 – 18.

**SILVA, T.I.; RODRIGUES, S. C.** TUTORIAL DE CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA ARCGIS 9.2 E ENVI 4.0. Revista Geográfica Acadêmica. 64 f., ISSN 1678-7226.

**SOARES, L .** BARRAGEM DE REJEITOS. In: Tratamento de minérios. 2010. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. Cap. 19, p. 829-896.

**SOUZA JUNIOR, T. F.; MOREIRA, E. B.; HEINECK, K. S.** BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO NO BRASIL. Rolo, Rio Grande do Sul, v. 05, n. 34, p.1-39, 01 nov. 2018. Disponível em:

<<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/7423/pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2019.

**VAEZA, R. F. et al.** Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. Floresta e Ambiente, Rio de Janeiro, v.12, n.1, p. 23-29, 2010. Disponível em: < <http://www.floram.org/files/v17n1/v17n1a3.pdf>>. Acesso em: 25 Abr. 2019.

**VALE** (Minas Gerais). VALE ESCLARECE SOBRE MINA GONGO SOCO. 2019. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/Vale-esclarece-sobre-mina-Gongo-Soco.aspx>>. Acesso em: 16 maio 2019.

**VICK, S. G.** Planning, design and analysis of tailing dams. New York: John Wiley & Sons,1983. 369p.