



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**ANÁLISE INTEGRADA PARA QUANTIFICAR O VOLUME DE REJEITO  
GERADO NA MINA DE ÁGUA LIMPA, RIO PIRACICABA (MINAS GERAIS),  
VISANDO SEU APROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

TATHIANA RODRIGUES CAETANO

BELO HORIZONTE

2015

TATHIANA RODRIGUES CAETANO

**ANÁLISE INTEGRADA PARA QUANTIFICAR O VOLUME DE REJEITO  
GERADO NA MINA DE ÁGUA LIMPA, RIO PIRACICABA (MINAS GERAIS),  
VISANDO SEU APROVEITAMENTO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Hersília de Andrade e Santos

BELO HORIZONTE

2015

TATHIANA RODRIGUES CAETANO

PLANO DE MANEJO DE REJEITOS DA MINA DE ÁGUA LIMPA, EM RIO  
PIRACICABA - MG

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Centro Federal de Educação Tecnológica de  
Minas Gerais como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Data de aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

Hersília de Andrade e Santos  
Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> do CEFET – MG - Orientadora

---

Evandro Carrusca de Oliveira  
Prof. Me.do CEFET – MG

---

Isabela Labarrère Vieira Pereira  
Prof<sup>a</sup> Me. do CEFET – MG

Caetano, Tathiana Rodrigues

Análise integrada para quantificar o volume de rejeito gerado na Mina de Água Limpa, Rio Piracicaba (minas gerais), visando seu aproveitamento na construção civil / Tathiana Rodrigues Caetano. – 2015.

77f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Monografia apresentada ao curso de bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Hersília de Andrade e Santos.

Bibliografia: f. 65-69.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2015.

1. Mineração de ferro. 2. Plano de Manejo. 3. Rejeito. 4. Vida-útil. I. Santos, Hersília de Andrade. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dra. Hersília de Andrade e Santos, pelos conselhos sempre úteis e precisos com que, sabiamente, orientou este trabalho.

Aos meus pais, Iracilda e Antônio Carlos, meus irmãos, Gustavo e Paulo e minha avó Maria Therezinha pelo apoio incondicional e motivação em todas as horas.

Ao Derly pela ajuda fundamental na realização deste trabalho.

Aos colegas do CEFET-MG, pelo apoio constante e amizade.

Aos professores do CEFET-MG, que contribuíram com a minha formação, meu reconhecimento.

À Vale e à Fapemig pelo apoio ao projeto.

*“Para mim, é muito melhor compreender o universo como ele realmente é do que persistir no engano, por mais satisfatório e tranquilizador que possa parecer.”*

Carl Sagan

## RESUMO

A mineração é um dos principais setores que demandam adequação do seu processo de exploração e beneficiamento quanto aos novos conceitos de reúso, reaproveitamento e otimização operacional, de forma a garantir serviços e produtos mais sustentáveis ambientalmente. O problema da vida útil dos barramentos e diques de mineração de ferro é que, quando comparada com os destinados para produção de energia e para captação de água para tratamento e distribuição, possui um período pequeno de funcionamento. Do ponto de vista ambiental, não é necessário apenas barrar os rejeitos produzidos, mas encontrar uma forma de utilizar esses rejeitos de mineração em outros setores, para que possa haver a diminuição de seu volume, além de promover a otimização desse barramento, para que a sua vida útil seja maximizada. Portanto, o objetivo deste trabalho foi identificar diretrizes para um plano de manejo de rejeitos na Mina de Água Limpa, localizada em Rio Piracicaba (MG). Para tanto, foi calculado a vida útil do reservatório do Diogo, que em 10 anos atingirá o seu limite de armazenamento de rejeitos, as curvas de cota-volume deste mesmo reservatório e, a estimativa de quanto tempo seria necessário para que a Pilha do Monjolo, já desativada, tivesse todo o rejeito armazenado reutilizado como agregado em concreto estrutural, argamassas e geopolímeros, utilizados na construção civil. Com essas diretrizes levantadas percebe-se a necessidade de um plano de manejo eficiente, de forma que o meio ambiente seja resguardado quando os rejeitos de mineração de ferro forem barrados.

**Palavras-chave:** mineração de ferro, plano de manejo, rejeito, vida útil.

## ABSTRACT

Mining is one of the main sectors that require adjustment of the process of exploration and processing on the new concepts of reuse, recycling and operational optimization, to ensure services and products more sustainable environmentally. The problem of lifespan and iron mining levees is that, compared with those intended for energy production and for raising water treatment and distribution, has a short period of operation. From an environmental point of view, is not only necessary to stop the produced waste, but finding a way to use these mining tailings in other sectors, so that there may be a decrease in volume, and promote the optimization of this bus, so that the its useful life is maximized. Therefore, the aim of this study was to identify guidelines for tailings management plan in Água Limpa Mine, located in Rio Piracicaba (MG). Therefore, it was estimated lifespan of the Diogo reservoir , that in 10 years will reach its waste storage limit, the dimension-volume curves of the same tank and, moreover, it is estimated how long it would take for the Monjolo, since disabled, had all the stored waste re-used as aggregate in structural concrete, mortar and geopolymers, used in construction. With these guidelines raised realizes the need for an effective management plan, so that the environment is safeguarded when the iron mining tailings are barred.

**Keywords:** iron mining, management plan, reject, lifespan



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - a) Localização da cidade de Rio Piracicaba; b) Mina de Água Limpa.....	18
Figura 2 - Fluxograma de operação da Mina de Água Limpa.....	19
Figura 3 - Barragem do Diogo.....	20
Figura 4 - Vista frontal da Pilha do Monjolo.....	21
Figura 5 - Detalhe do lançamento do rejeito na Pilha do Monjolo .....	21
Figura 6 - Fluxograma típico de tratamento de minério.....	31
Figura 7 - Evolução no tempo das atividades relativas às barragens de rejeito .....	33
Figura 8 - Concepção do SNISB .....	34
Figura 9 - Aspectos Legais relacionados ao Fechamento de Mina no Estado de Minas Gerais .....	37
Figura 10 - Delimitação da Pilha do Monjolo utilizando o Google Earth.....	40
Figura 11 - Rejeito gerado (rejeito espiral, jigue e lama) na Mina de Água Limpa de 2008 a 2012 .....	42
Figura 12 - Lama gerada na Mina de Água Limpa de 2008 a 2012 .....	43
Figura 13 - Localização do Reservatório A e do Reservatório B.....	44
Figura 14 - (a) Pontos fornecidos sem confirmação de localidade; (b) Detalhe dos pontos com as cotas arbitrárias .....	45
Figura 15 - Pontos do reservatório lançados no DATUM SAD69.....	46
Figura 16 - Pontos do reservatório lançados no DATUM SIRGAS2000.....	46
Figura 17 - Coordenadas dos pontos da batimetria .....	47
Figura 18 - (a) Coordenadas com caneová; (b) Detalhe das coordenadas completas .....	47
Figura 19 - Detalhe da rede de triangulação na geração de do MDT (Modelo Digital de Terreno).....	48
Figura 20 - Triangulação do reservatório A .....	48
Figura 21 - Detalhe da superfície 3D gerada.....	49
Figura 22 - Detalhe das curvas de nível geradas a partir do MDT.....	49
Figura 23 - Perfil longitudinal sobre o modelo gerado.....	50
Figura 24 - Seções transversais sobre o perfil estaqueado de 20 em 20m.....	50
Figura 25 - Entrada no DataGEOSIS para cálculo de Área de Inundação em múltiplos níveis .....	50
Figura 26 - Cálculo da Área de Inundação em múltiplos níveis em andamento .....	51
Figura 27 - Vista em 3D da Mina de Água Limpa .....	53

Figura 28 - Declividades do reservatório A.....	54
Figura 29 - Declividades do reservatório B.....	54
Figura 30 - Visualização Hilden do modelo do perfil do reservatório A gerado .....	55
Figura 31 - Visualização Conceitual do modelo do perfil do reservatório A gerado .....	55
Figura 32 - Visualização Hilden do modelo do perfil do reservatório B gerado.....	55
Figura 33 - Visualização Conceitual do modelo do perfil do reservatório B gerado .....	55
Figura 34 - Áreas de inundação para os níveis 1, 4, 7 e 10 do reservatório A (marrom para corte e o azul para aterro). .....	57
Figura 35 - Áreas de inundação para os níveis 1, 4, 7 e 10 do reservatório B (marrom para corte e o azul para aterro). .....	58
Figura 36 - Gráfico de Cota-Volume do reservatório A.....	59
Figura 37 - Gráfico de Cota-Volume do reservatório B.....	59
Figura 38 - Vida útil do Reservatório do Diogo considerando a deposição e a eficiência de retenção de rejeitos .....	60

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Características da Barragem do Diogo .....	20
Tabela 2 - Características da pilha do Monjolo .....	21
Tabela 3 - Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte.....	26
Tabela 4 - Principais normas técnicas aplicáveis à mineração de ferro e seus impactos ambientais.....	29
Tabela 5 - Peso específico médio aparente do rejeito do Reservatório do Diogo .....	52
Tabela 6- Tabela das áreas de inundação calculadas do reservatório A.....	56
Tabela 7 - Tabela das áreas de inundação calculadas do reservatório B.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência nacional das Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ASCII – American Standard Code for Information Interchange (Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação)

CAD - Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

CEFET - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

CFEM - Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

CSV - Arquivo separado por vírgulas

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

Fe - Ferro

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente

GPR - Ground Penetration Radar (Radar de Penetração do Solo)

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração

ICMS – Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

Kg – Quilograma

L – Litro

m<sup>2</sup> - Metros quadrados

m<sup>3</sup> - Metros cúbicos

MDT – Modelo Digital de Terreno

NA – Nível d'água

NRM – Norma Reguladora da Mineração

PAFEM - Plano Ambiental de Fechamento de Mina

PCHs - Pequenas Centrais Hidrelétricas

PIS – Programa de Integração Social

PNSB - Programa Nacional de Segurança de Barragens

RADA - Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

SAD – South American Datum

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

SIRGAS – Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas

SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente

SMIG – Serviço de Mineração e Geologia

SNISB - Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

SRTM– Shuttle Radar Topography Mission (Missão Topográfica Radar Shuttle)

SUPRAMLM – Superintendências Regionais de Regularização Ambiental do Leste Mineiro

t – Tonelada

UHs - Usinas Hidrelétricas

UTM – Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	<b>ix</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. RELEVÂNCIA DO ESTUDO</b> .....	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1. OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>17</b>
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2. POLÍTICA, LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS</b> .....	<b>22</b>
3.2.1. <i>Código de Mineração</i> .....	22
3.2.2. <i>Política Nacional do Meio Ambiente - Lei 6938/81</i> .....	23
3.2.3. <i>Recuperação de Áreas Degradadas - Decreto 97632/89</i> .....	24
3.2.4. <i>Licenciamento de Atividade Mineral - Decreto 97507/89</i> .....	24
3.2.5. <i>Política Nacional de Segurança de Barragens - Lei 12334/2010</i> .....	25
3.2.6. <i>Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004</i> .....	25
3.2.7. <i>Deliberação Normativa COPAM Nº 127/ 2008</i> .....	27
3.2.8. <i>Normas técnicas aplicáveis</i> .....	29
<b>3.3. MINERAÇÃO DE FERRO</b> .....	<b>30</b>
3.3.1. <i>Vale</i> .....	30
3.3.2. <i>Processos da Mineração de Ferro</i> .....	30
3.3.3. <i>Disposição de Rejeitos</i> .....	32
3.3.4. <i>Vida Útil</i> .....	33
3.3.5. <i>Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens</i> .....	34
3.3.6. <i>Sustentabilidade na Mineração de Ferro</i> .....	35
3.3.7. <i>Fechamento de Mina</i> .....	36
<b>3.4. REUSO DE REJEITOS DA MINERAÇÃO DE FERRO</b> .....	<b>37</b>
3.4.1. <i>Concreto e Argamassa</i> .....	38

<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1. ANÁLISE DA REDUÇÃO DOS ESPAÇOS OCUPADOS POR PILHAS .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2. ANÁLISE DA VIDA ÚTIL DOS RESERVATÓRIOS .....</b>	<b>41</b>
4.2.1. <i>O rejeito</i> .....	42
4.2.2. <i>Os reservatórios</i> .....	43
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
<b>6. DISCUSSÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>64</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>70</b>

## 1. RELEVÂNCIA DO ESTUDO

As atividades de mineração e seus produtos têm um impacto direto no cotidiano das pessoas e, ao mesmo tempo, envolvem uma série de etapas, muitas vezes desconhecidas pela sociedade (IBRAM, 2012). Entretanto, ao mesmo tempo, é de conhecimento comum que essas atividades geram uma grande degradação ambiental. Sendo assim, as demandas por sustentabilidade ambiental têm provocado ajustes nos processos das principais atividades econômicas do Brasil como os observados na geração de energia, agricultura, construção civil, indústria e, também, no processo minerário.

A mineração é um dos principais setores que demandam adequação do seu processo de exploração e beneficiamento quanto aos novos conceitos de reúso, reaproveitamento e otimização operacional, de forma a garantir serviços e produtos mais sustentáveis ambientalmente.

O gerenciamento dos sedimentos gerados pela mineração é um processo que envolve a construção de barragens e diques, sejam eles de rejeitos ou *rom* (bom mineral a ser beneficiado), de forma a evitar impactos ambientais a jusante dos principais cursos d'água da região (ANA, 2005). Além disso, há o problema da vida útil desses barramentos e diques que, quando comparada com os destinados para produção de energia e para captação de água para tratamento e distribuição, possui um período pequeno de funcionamento.

O foco do presente estudo é a Mina de Água Limpa, localizado no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais e na bacia hidrográfica do Rio Doce. Ao longo dos anos, praticamente todos os rejeitos gerados nesta mina vêm sendo acumulados em barragens locais sem um estudo que procure integrar, à atividade de mineração, a otimização da disposição e estocagem dos sólidos e água em questão. Entretanto, do ponto de vista ambiental, não é necessário apenas barrar os rejeitos produzidos, mas encontrar uma forma de utilizar esses rejeitos de mineração em outros setores, para que possa haver a diminuição de seu volume, além de promover a otimização desse barramento, para que a sua vida útil seja maximizada.

Este trabalho é parte integrante de um projeto maior, que conta com o apoio da Vale e da Fapemig. Neste projeto foram geradas duas dissertações de mestrado e esta monografia, que são complementares no que se refere à análise integrada dos rejeitos da Mina de Água Limpa.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Identificar diretrizes para um plano de manejo de rejeitos, de mineração de ferro, na Mina de Água Limpa, localizada em Rio Piracicaba (MG).

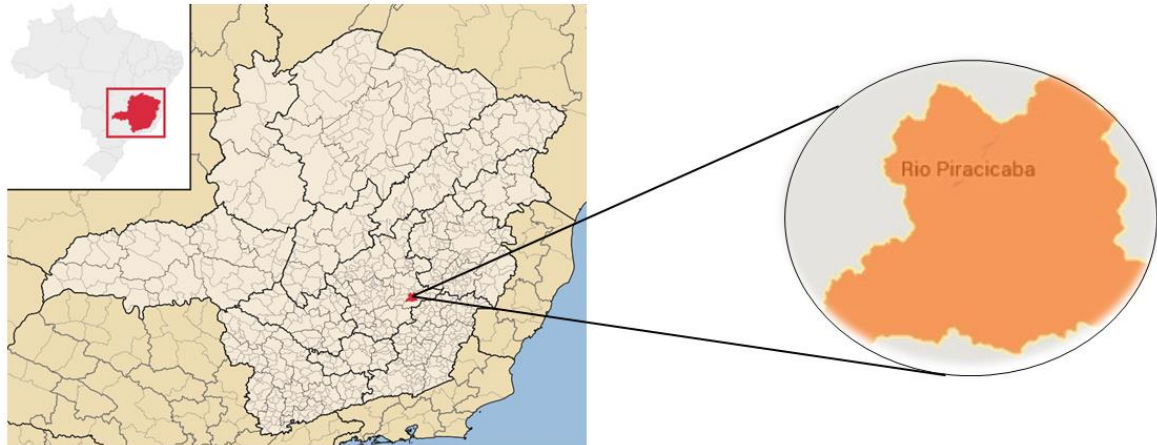
### **2.2. Objetivos Específicos**

- Estimar curvas de consumo de rejeito a partir dos experimentos realizados para reutilização destes na construção civil;
- Estimar o tempo necessário para uma possível eliminação da pilha rejeitos do Monjolo da Mina de Água Limpa, a partir da reutilização destes na construção civil;
- Estimar curvas de deposição de rejeitos na barragem do Diogo a partir das informações batimétricas e das imagens do GPR (Ground Penetration Radar);
- Estimar a vida útil da barragem do Diogo.

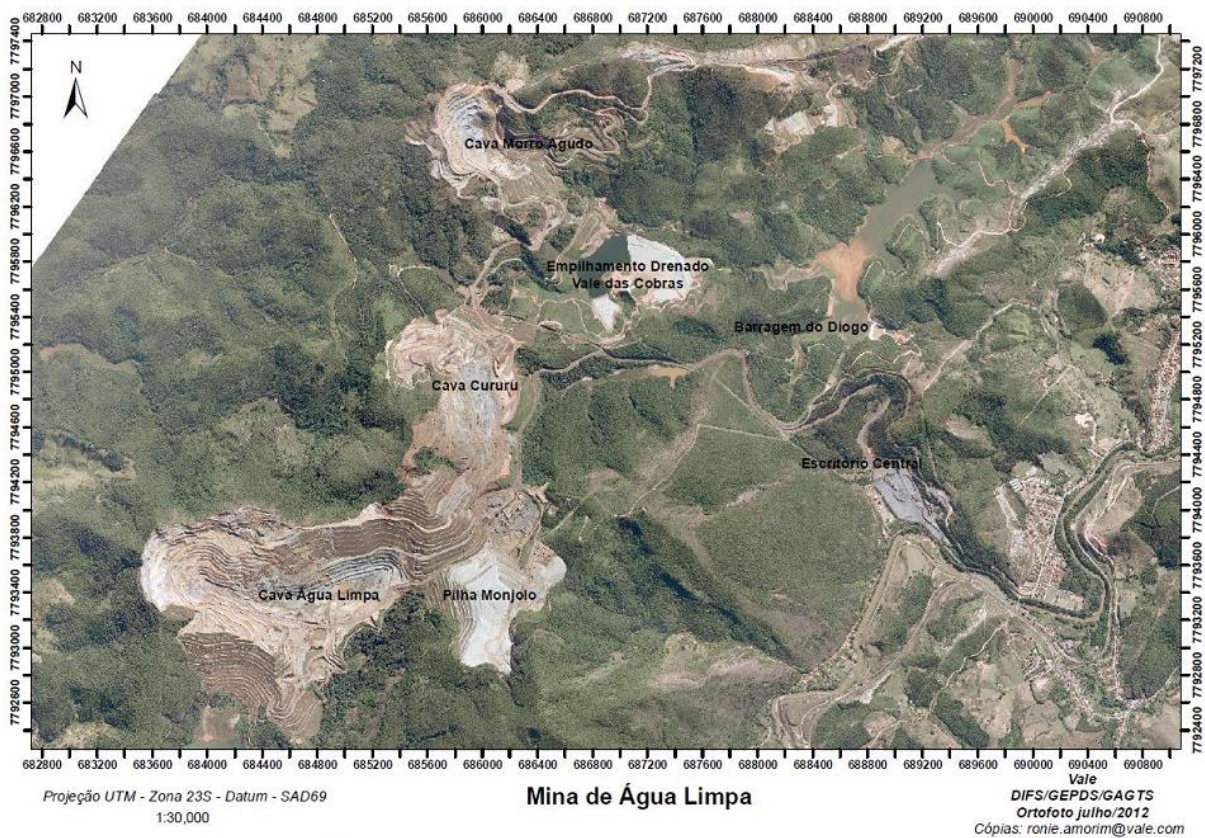
### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Área de estudo

Localizado no município de Rio Piracicaba - MG (Fig. 1a), a Mina Minerária de Água Limpa (Fig. 1b) possui área equivalente a 4329ha, e contempla as cavas, pilhas, barragens e a usina de tratamento do minério, além das unidades de apoio (MARTINI, 2014).



(a)



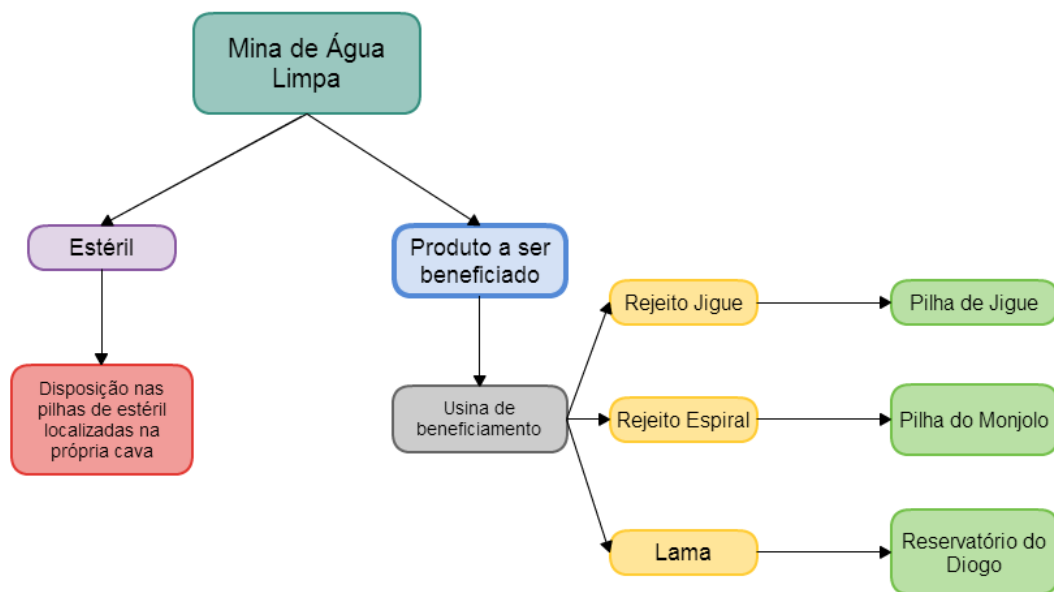
(b)

**Figura 1** - a) Localização da cidade de Rio Piracicaba; b) Mina de Água Limpa  
 FONTE: VALE S/A (Adaptado)

A região apresenta temperaturas mais brandas ao longo de todo o ano e é caracterizada por dois períodos distintos: um período mais quente, e outro mais frio. Há elevada precipitação ao longo do ano, distribuída em duas estações bem definidas: período chuvoso de outubro a março, e período mais seco, de abril a setembro (DNIT, 2006).

A área da bacia hidrográfica na qual a região está inserida apresenta problemas ambientais significantes, pois concentra, em uma área relativamente pequena, várias atividades econômicas importantes e altamente impactantes, como a siderurgia, a mineração, o desmatamento para produção de carvão e o despejo de efluentes urbanos (DNIT, 2006).

Na mina de Água Limpa, os rejeitos da mineração são dispostos conforme o fluxograma apresentado (Fig. 2), sendo o estéril deixado na própria cava da mina, o jigge colocado em uma pilha, o rejeito espiral depositado diretamente na Pilha do Monjolo e a lama drenada diretamente para as barragens (MARTINI, 2014).



**Figura 2** - Fluxograma de operação da Mina de Água Limpa.  
FONTE: MARTINI, 2014 (Adaptado).

A Mina de Água Limpa é considerada de grande porte, e estima-se que o beneficiamento realizado na mesma possua uma recuperação média de 51% do minério bruto (MARTINI, 2014).

O rejeito arenoso é disposto em forma de pilha pelo método de lançamento hidráulico para montante, na Pilha do Monjolo, que atualmente já se encontra desativada (Fig. 4 e 5). Já a lama oriunda do beneficiamento, composta de siltes e argilas, é disposta em reservatórios formados por barramento convencional de curso d'água (Barragem do Diogo). (OLIVEIRA, 2010).

Até 2007, a barragem do Diogo (Fig. 3) era destinada ao armazenamento de água, após esse período, com a compra da área por uma empresa de mineração, o barramento foi licenciado para receber o rejeito do processo da empresa (SUPRAMLM, 2011). Com relação à classificação de risco da Fundação Estadual de Meio Ambiente de Minas Gerais (FEAM), após a mudança do uso da área, a barragem do Diogo passou a ser enquadrada com alto potencial de dano ambiental (Risco 3) (Tab. 1), assim como a pilha do Monjolo (Tab. 2).



**Figura 3 - Barragem do Diogo**  
 FONTE: VALE S/A

**Tabela 1 - Características da Barragem do Diogo**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>BARRAGEM DO DIOGO</b>
<b>Altura atual (m)</b>	25
<b>Volume do aterro (m<sup>3</sup>)</b>	65.000
<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>	2.400.000
<b>Classe de risco</b>	III – alto potencial de dano ambiental

FONTE: MARTINI, 2014 (adaptado)



**Figura 4 - Vista frontal da Pilha do Monjolo**  
 FONTE: Acervo da autora



**Figura 5 - Detalhe do lançamento do rejeito na Pilha do Monjolo**  
 FONTE: Acervo da autora

**Tabela 2 - Características da pilha do Monjolo**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>PILHA DO MONJOLO</b>
<b>Altura atual (m)</b>	19
<b>Volume do aterro (m<sup>3</sup>)</b>	52.500
<b>Volume da pilha (m<sup>3</sup>)</b>	400.000
<b>Classe de risco</b>	III – alto potencial de dano ambiental

FONTE: MARTINI, 2014 (adaptado)

## 3.2. Política, legislação e normas técnicas aplicáveis

### 3.2.1. Código de Mineração

Antes mesmo de possuir a atual Constituição Federal, o Brasil já tinha um Código de Mineração vigente. Este código, promulgado em 1967, define, entre outras coisas, que os recursos minerais, inclusive os do subsolo, pertencem ao Estado e que para explorá-los deve-se possuir uma autorização da União.

De acordo com a Constituição Federal de 1988, no seu artigo 225,

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Além disso, a constituição apresenta duas inovações no que diz respeito à proteção das áreas naturais: a primeira é a exigência de que essas áreas somente possam ser alteradas ou suprimidas por lei; e a segunda é “a vedação de qualquer utilização dessa área, de forma que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção” (MACHADO, 2013).

O atual Código de Mineração foi publicado durante o regime militar e para atualizá-lo, o governo federal enviou, em 2013, uma nova proposta que se juntou a outros seis projetos de lei sobre o assunto que já tramitavam na Câmara dos Deputados desde 2011 (Agência Câmara Notícias, 2015). Para melhor controlar a atividade do setor, o governo quer, primeiramente, transformar o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em agência reguladora e depois criar um Conselho Nacional de Mineração, formado por pessoas de relevância do mercado, políticos, com o objetivo de avaliar e traçar políticas de médio e longo prazo para o setor, ou seja, a ideia do novo Código é mudar o modelo de autorização de exploração de jazidas. O governo pretende fazer leilões públicos de áreas minerais, após estudos de viabilidade, sendo que não necessariamente vence a que tiver elaborado os estudos. Em muitos casos os estudos serão feitos pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM), e a agência reguladora será responsável por definir as condições dos leilões e fiscalizar o cumprimento dos prazos. Além disso, se o novo código for aprovado, será criado o Conselho Nacional de Política Mineral, que contará com técnicos dos Ministérios de Minas e Energia, Fazenda, Desenvolvimento e Casa Civil, que discutirá políticas de médio e longo prazos para o setor (SMIG, 2015).

Um dos pontos que devem gerar maior questionamento por parte dos empresários é a mudança nas alíquotas de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais

(CFEM). Além de aumentar exponencialmente essas taxas, também conhecidas como royalties da mineração, o governo quer mudar a base de cálculo. Segundo estudos técnicos do governo, a arrecadação da CFEM deve passar de 1,8 bilhões de reais por ano para cerca de 4,2 bilhões de reais anuais. Outra questão que deve ser abordada no novo código são os prazos, tanto das concessões quanto das atividades, haveria o aumento do prazo para os estudos técnicos para identificação de jazidas, volume e viabilidade de exploração, sem especificar quais minérios seriam explorados. E, as empresas que vencerem os leilões poderão explorar o território por 30 anos, prorrogáveis por 20 anos. Com essas mudanças as principais empresas de mineração do país serão diretamente impactadas pelas mudanças. Alguns especialistas dizem que as maiores terão mais cacife para vencer os leilões, deixando as menores em segundo plano no setor. Entretanto, o aumento das alíquotas da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) vai prejudicar os planos e orçamentos de todas, ainda mais se for aprovada a mudança da base de cálculo, que deixaria de incidir sobre o faturamento líquido e passaria sobre o bruto (antes de descontos como de tributos incidentes sobre a comercialização do minério - ICMS, PIS e Cofins - e despesas com transportes e seguro) (SMIG, 2015).

Entretanto, apesar de a legislação mineral ser considerada avançada no Brasil e está ao passo de sofrer alterações significativas, não existe uma lei federal que delibere sobre o fechamento de minas, uma das etapas do processo de mineração que deveria ser considerada, uma vez que demanda acompanhamento da empresa de mineração que operava no local. Apenas o estado de Minas Gerais possui legislação sobre o tema, dado ao fato de sua economia ser baseada grande parte na extração de minerais, principalmente o minério de ferro.

### 3.2.2. Política Nacional do Meio Ambiente - Lei 6938/81

A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo:

a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.

Essa lei considera o meio ambiente como um patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo, e para isso, institui à

racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar; o planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais; a proteção dos ecossistemas,

com a preservação de áreas representativas; o controle e zoneamento das atividades potencial ou efetivamente poluidoras; os incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais; o acompanhamento do estado da qualidade ambiental; a recuperação de áreas degradadas; a proteção de áreas ameaçadas de degradação.

A Política Nacional do Meio Ambiente visa à compatibilização do desenvolvimento econômico social com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, por isso, impõe ao poluidor a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

Além disso, ela atribui ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), a competência de determinar, quando julgar necessário, a realização de estudos das alternativas e das possíveis consequências ambientais de projetos públicos ou privados, requisitando aos órgãos federais, estaduais e municipais, bem assim a entidades privadas, as informações indispensáveis para apreciação dos estudos de impacto ambiental, e respectivos relatórios, no caso de obras ou atividades de significativa degradação ambiental, especialmente nas áreas consideradas patrimônio

### 3.2.3. Recuperação de Áreas Degradadas - Decreto 97632/89

Segundo este decreto, os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão apresentar um Estudo de Impacto Ambiental - EIA e um Relatório do Impacto Ambiental - RIMA, que será submetido à aprovação do órgão ambiental competente, e deve constar plano de recuperação de área degradada.

Ainda segundo o decreto 97632,

são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais. A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

### 3.2.4. Licenciamento de Atividade Mineral - Decreto 97507/89

O decreto delibera que

as atividades, individual ou coletiva, que realizam extração mineral em depósitos de colúvio, elúvio ou aluvião, nos álveos de cursos d'água ou nas



margens reservadas, bem como nos depósitos secundários, chapadas, vertentes e altos dos morros utilizando equipamentos do tipo dragas, moinhos, balsas, pares de bombas, bicas e quaisquer outros equipamentos que apresentem afinidades, deverão ser licenciados pelo órgão ambiental competente.

Além disso, são vetadas as atividades descritas acima em mananciais de abastecimento público e seus tributários e em outras áreas ecologicamente sensíveis, a critério do órgão ambiental competente.

### 3.2.5. Política Nacional de Segurança de Barragens - Lei 12334/2010

Essa lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. Além disso, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e implementa o Plano de Segurança de Barragens como um de seus instrumentos, que tem como objetivos apresentar à sociedade um panorama da implantação da PNSB e de sua eficácia na evolução da segurança das barragens brasileiras, na redução de incidentes e acidentes, e na melhoria da gestão de riscos.

### 3.2.6. Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004

Criado em 1977, o Conselho de Política Ambiental (COPAM) é um órgão normativo, colegiado, consultivo e deliberativo, subordinado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), que tem por finalidade deliberar sobre diretrizes, políticas, normas regulamentares e técnicas, padrões e outras medidas de caráter operacional, para preservação e conservação do meio ambiente e dos recursos ambientais, bem como sobre a sua aplicação pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, pelas entidades a ela vinculadas e pelos demais órgãos locais (SEMAD, 2015).

A deliberação normativa nº 74 de 2004 estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental.

Os empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente são enquadradas em seis classes que conjugam o porte e o potencial poluidor ou degradador do meio ambiente, conforme a Tabela 3:

**Tabela 3** - Determinação da classe do empreendimento a partir do potencial poluidor da atividade e do porte.

		Potencial poluidor/ degradador geral da atividade		
		P	M	G
Porte do empreendimento	P	1	1	3
	M	2	3	5
	G	4	5	6

O potencial poluidor/degradador da atividade é considerado pequeno (P), médio (M) ou grande (G), em função das características intrínsecas da atividade, conforme as listagens. O potencial poluidor é considerado sobre as variáveis ambientais: ar, água e solo. Para efeito de simplificação inclui-se no potencial poluidor sobre o ar os efeitos de poluição sonora, e sobre o solo os efeitos nos meios biótico e socioeconômico.

Segundo essa deliberação as lavras de minério de ferro recebem as seguintes classificações:

- Lavra a céu aberto sem tratamento ou com tratamento a seco

Pot. Poluidor/Degradador: Ar: M Água: M Solo: G Geral: M

Porte:

Produção Bruta  $\leq$  300.000 t/ano: Pequeno

300.000 < Produção Bruta  $\leq$  1.500.000 t/ano: Médio

Produção Bruta > 1.500.000 t/ano: Grande

- Lavra a céu aberto com tratamento a úmido

Pot. Poluidor/Degradador: Ar: M Água: G Solo: G Geral: G

Porte:

Produção Bruta  $\leq$  300.000 t/ano: Pequeno

300.000 < Produção Bruta  $\leq$  1.500.000 t/ano: Médio

Produção Bruta > 1.500.000 t/ano: Grande

Os empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente sujeitas ao licenciamento ambiental no nível estadual são aqueles enquadrados nas classes 3, 4, 5 e 6. Portanto, a mineração de ferro é um desses empreendimentos.

### 3.2.7. Deliberação Normativa COPAM Nº 127/ 2008

A deliberação normativa nº 127 de 2008 estabelece diretrizes e procedimentos para avaliação ambiental da fase de fechamento de mina. E, para tanto, considera a mineração uma

atividade propulsora do desenvolvimento, de interesse nacional, de utilidade pública e que pode desempenhar importante função ambiental; que o titular de direito minerário deve adotar medidas que contribuam para a produção e o uso seguro dos minerais, respeitando as normas ambientais e objetivando o desenvolvimento sustentável; que as ações que garantirão o descomissionamento, a reabilitação e o uso futuro das áreas mineradas devem fazer parte de um plano a ser aprovado pelos órgãos ambientais competentes; a necessidade do estabelecimento de instrumentos que atestem a execução da reabilitação ambiental de áreas mineradas de forma a garantir a proteção do meio ambiente, com foco no uso futuro sustentável das áreas, valorizando o bem-estar individual e comunitário.

Segundo essa deliberação as atividades minerárias desenvolvidas no Estado de Minas Gerais deverão incluir no seu planejamento os projetos de reabilitação ambiental da área impactada, a qual deverá ser concomitante com a lavra, ao longo da vida útil do empreendimento. O fechamento da mina deve ser planejado desde a concepção do empreendimento, tendo como objetivos primordiais:

I - garantir que após o fechamento da mina os impactos ambientais, sociais e econômicos sejam mitigados;

II - manter a área após o fechamento da mina em condições seguras e estáveis, com a aplicação das melhores técnicas de controle e monitoramento;

III - proporcionar à área impactada pela atividade minerária um uso futuro que respeite os aspectos socioambientais e econômicos da área de influência do empreendimento.

Além disso, a desativação de estruturas do empreendimento deverá ser previamente comunicada ao órgão ambiental, e as respectivas informações e medidas de controle deverão ser incorporadas ao Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental (Rada) subsequente. Com antecedência mínima de dois anos do fechamento da mina, o empreendedor deverá protocolizar na unidade do órgão ambiental responsável pelo licenciamento do empreendimento o Plano Ambiental de Fechamento de Mina (Pafem), contemplando:

I - a reavaliação dos aspectos e impactos ambientais diagnosticados nos estudos que subsidiaram os processos de licenciamento do empreendimento, de modo a verificar a real extensão dos impactos e a eficácia das medidas mitigadoras e compensatórias executadas;

II - a síntese e avaliação dos projetos e ações socioambientais desenvolvidos visando a sustentabilidade da área de influência do empreendimento;

III - a avaliação dos impactos socioambientais após o fechamento da mina, incluindo os aspectos relacionados à recolocação de trabalhadores e propostas para o envolvimento da comunidade no processo;

IV - a definição das ações que serão executadas após o fechamento da mina visando à manutenção das condições de segurança da área minerada e das estruturas existentes, a continuidade da reabilitação ambiental, a definição de parâmetros e frequência para o monitoramento e a identificação de indicadores de qualidade ambiental adequados;

V - a apresentação de proposta de alternativas para uso futuro da área minerada, considerando os aspectos sociais, econômicos e ambientais da área de influência direta do empreendimento;

VI - o cronograma de implantação do plano, incluindo todas as etapas previstas, os processos de avaliação e revisão e a execução do monitoramento ambiental;

VII - estimativa de custos do fechamento da mina, em cada etapa.

Art. 6º Também ficam obrigados a elaborar e protocolizar o Plano Ambiental de Fechamento de Mina no órgão ambiental estadual os responsáveis por empreendimentos que:

I - estiverem a menos de dois anos do fechamento da mina na data de publicação desta deliberação;

II - tenham seus registros e autorizações no Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM anulados, revogados ou declarados caducos.

III - configurem mina abandonada;

Além do fechamento da mina, a deliberação trata também dos casos em que o responsável pelo empreendimento vier a paralisar suas atividades de forma temporária, em consequência de fatos fortuitos, desastres naturais, impedimentos técnicos, problemas de ordem econômica ou decisões judiciais. Este deverá comunicar o fato ao órgão ambiental e apresentar um relatório circunstanciado sobre as condições da mina, contemplando:

I - a descrição da situação atual da área, com ênfase nos aspectos físicos e biológicos;

II - a definição das ações que serão executadas durante a paralisação do empreendimento visando à manutenção das condições de segurança da área minerada e das estruturas existentes, a continuidade da reabilitação ambiental, a definição de parâmetros e frequência para o monitoramento;

III - o cronograma de implantação das ações;

IV - estimativa de custos de execução das ações;

V - a previsão de retomada da atividade minerária.

Para os empreendimentos enquadrados nas classes 5 e 6, segundo a Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004, após a apresentação do Plano Ambiental de Fechamento de Mina ao órgão ambiental estadual, o empreendedor deverá promover reunião pública no município onde se localiza o empreendimento, com o objetivo de apresentar o Pafem às partes interessadas, com ênfase nos aspectos ambientais e sociais correlatos ao fechamento da atividade, bem como nas propostas de uso futuro da área minerada, com o intuito de colher opiniões e sugestões da comunidade diretamente afetada.

### 3.2.8. Normas técnicas aplicáveis

A tabela a seguir (Tab. 4) mostra quais as principais normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e do DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) aplicáveis as questões relacionadas à mineração de ferro e aos impactos ambientais decorrentes desse tipo de empreendimento.

**Tabela 4** - Principais normas técnicas aplicáveis à mineração de ferro e seus impactos ambientais

NORMA	DESCRIÇÃO
ABNT NBR 12649:1992	Fixa as diretrizes exigíveis para a caracterização do potencial poluidor e modificador, das atividades da mineração, nas suas diferentes etapas, a partir da análise dos parâmetros de qualidade da água, para orientação no controle e na possível instalação da exploração mineral.
ABNT NBR 13028:2006	Especifica os requisitos mínimos para elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos de beneficiamento, contenção de sedimentos e reservação de água em mineração, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente.
ABNT NBR 13029:2006	Especifica os requisitos mínimos para a elaboração e apresentação de projeto de pilha para disposição de estéril gerado por lavra de mina e céu aberto ou de mina subterrânea, visando atender às condições de segurança, operacionalidade, economicidade e desativação, minimizando os impactos ao meio ambiente.
ABNT NBR 13030:1999	Fixa diretrizes para elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pelas atividades de mineração, visando a obtenção de subsídios técnicos que possibilitem a manutenção e/ou melhoria da qualidade ambiental, independente da fase de instalação do projeto.
ABNT NBR ISO 14001:2004	Especifica os requisitos relativos a um sistema da gestão ambiental, permitindo a uma organização desenvolver e implementar uma política e objetivos que levem em conta os requisitos legais e outros requisitos por ela subscritos e informações referentes aos aspectos ambientais significativos. Aplica-se aos aspectos ambientais que a organização identifica como aqueles que possa controlar e aqueles que possa influenciar. Em si, esta Norma não estabelece critérios específicos de desempenho ambiental.
DNPM NRM nº 19	Define procedimentos para disposição de estéril, rejeito e produtos da mineração.
DNPM NRM nº 20	Define procedimentos administrativos e operacionais em caso de fechamento de mina, suspensão e retomada das operações mineiras.
DNPM NRM nº 21	Define procedimentos administrativos e operacionais em caso de reabilitação de áreas pesquisadas, mineradas e impactadas.

### 3.3. Mineração de Ferro

Segundo o dicionário Houaiss (2001), minérios são “elementos extrativos que contêm minerais úteis em proporções apreciáveis e que exigem elaboração especial para serem aproveitados na indústria”.

Para o aproveitamento desses minérios existe um conjunto processos, atividades e indústrias. A obtenção do minério compreende as etapas de lavra e beneficiamento (BOSCOV, 2008).

A única forma pela qual se obtém o ferro (Fe), industrialmente, é a partir de substâncias minerais, e apenas alguns destes podem ser economicamente explorados para a obtenção do metal, seja pela quantidade desse elemento nesses minerais, pela concentração ou distribuição desses minerais nas rochas que constituem os corpos de minério. Ainda assim, o ferro é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre (CARVALHO *et al.*, 2013).

Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), em 2013, as reservas mundiais de minério de ferro totalizam 170 bilhões de toneladas, e as reservas lavráveis brasileiras, com um teor médio de 49,0% de ferro, representam 13,6% das reservas mundiais. Os principais estados brasileiros detentores de reservas de minério de ferro são: Minas Gerais (72,5%), Mato Grosso do Sul (13,1%) e Pará (10,7%).

#### 3.3.1. Vale

O principal negócio da empresa é a mineração, e mesmo sendo a maior produtora de minério de ferro do Brasil atua também em outros segmentos minerais. Além disso, atua também nas áreas de logística, energia e siderurgia. No setor de Energia, nos últimos anos, a empresa está investindo, principalmente, no segmento de hidroeletricidade. Atualmente, possui participação societária em 12 usinas hidrelétricas (UHs) e em nove pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) em operação no Brasil (VALE, 2015).

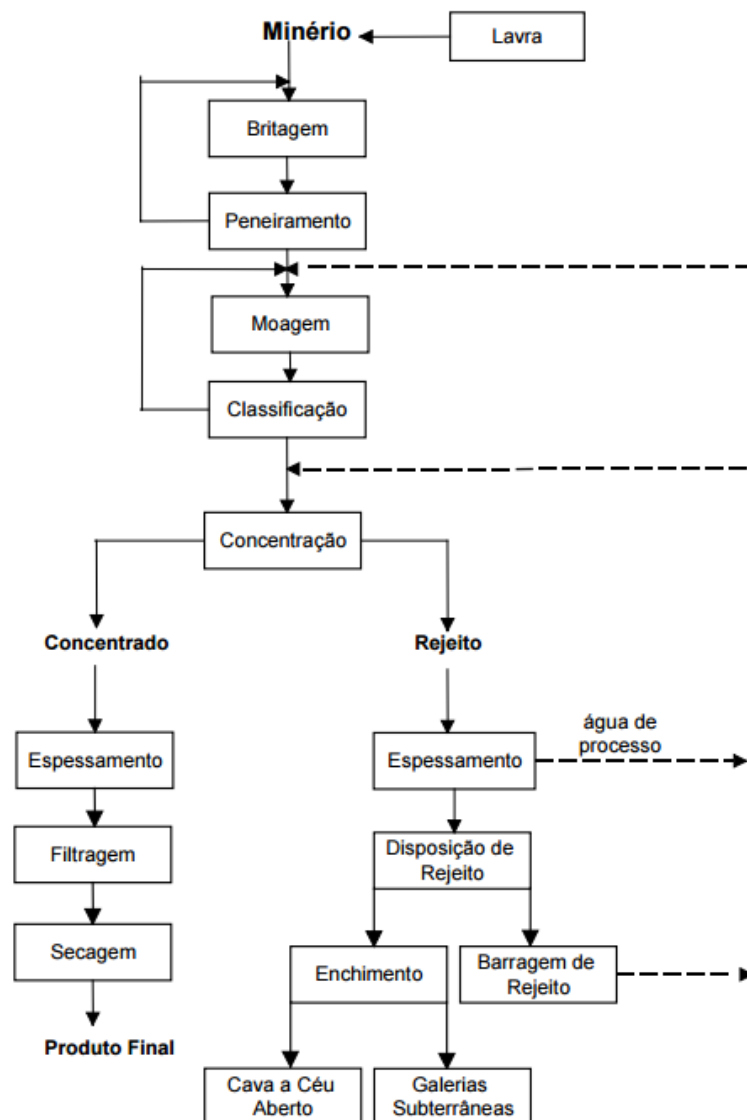
A Vale conta com quatro grandes sistemas produtivos no país, que juntos, reúnem um conjunto de minas, usinas de beneficiamento e pelletizadoras que produzem uma grande diversidade de minérios, como minério de ferro, pelotas, manganês e cobre (VALE, 2015).

#### 3.3.2. Processos da Mineração de Ferro

O tratamento ou beneficiamento de minérios consiste de operações visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem

contudo modificar a identidade química ou física dos minerais. Os principais processos de beneficiamento são (Fig. 6) (LUZ e LINS, 2004):

- Fragmentação (britagem e moagem)
- Classificação (peneiramento)
- Concentração
- Amostragem
- Manuseio dos materiais
- Desaguamento (espessamento e filtragem)
- Secagem
- Disposição dos rejeitos



**Figura 6** - Fluxograma típico de tratamento de minério  
 FONTE: LUZ e LINS, 2004.

### 3.3.3. Disposição de Rejeitos

Segundo o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, em sua resolução nº 29 de 2002:

- Estéril é qualquer material não aproveitável como minério e descartado pela operação de lavra antes do beneficiamento, em caráter definitivo ou temporário.
- O sistema de disposição de estéril consiste em estrutura projetada e implantada para acumular materiais, em caráter temporário ou definitivo, dispostos de modo planejado e controlado em condições de estabilidade geotécnica e protegidos de ações erosivas;
- Rejeito é todo material descartado proveniente de plantas de beneficiamento de minério;
- O sistema de disposição de rejeitos é composto por estruturas de engenharia para contenção e deposição de resíduos originados de beneficiamento de minérios, captação de água e tratamento de efluentes;

O processo de mineração gera grande quantidade de resíduos, que devem ser tratados e dispostos adequadamente para minimizar o impacto ambiental decorrente. Os principais tipos de resíduos produzidos pelas atividades mineradoras em termos de volume são os estéreis e os rejeitos (BOSCOV, 2008).

Esses resíduos são dispostos principalmente em barramentos para decantação e contenção de finos, também denominadas barragem de rejeitos, que são estruturas de engenharia construídas transversalmente ao eixo de vales secos ou não, com a finalidade de conter os sólidos provenientes da erosão e carreamento a partir de áreas decapeadas de lavra ou depósitos de estéril (CNRH, 2002).

Segundo Lozano (2006), a disposição dos rejeitos pode ser feita a céu aberto, de forma subterrânea, ou subaquática, entretanto, a disposição subaquática não é recomendada por causa dos impactos ambientais que ela causa. Ainda segundo este autor, a forma de disposição mais comum é a céu aberto, e pode ser feita em pilhas controladas ou em estruturas de contenção localizadas em bacias em vales.

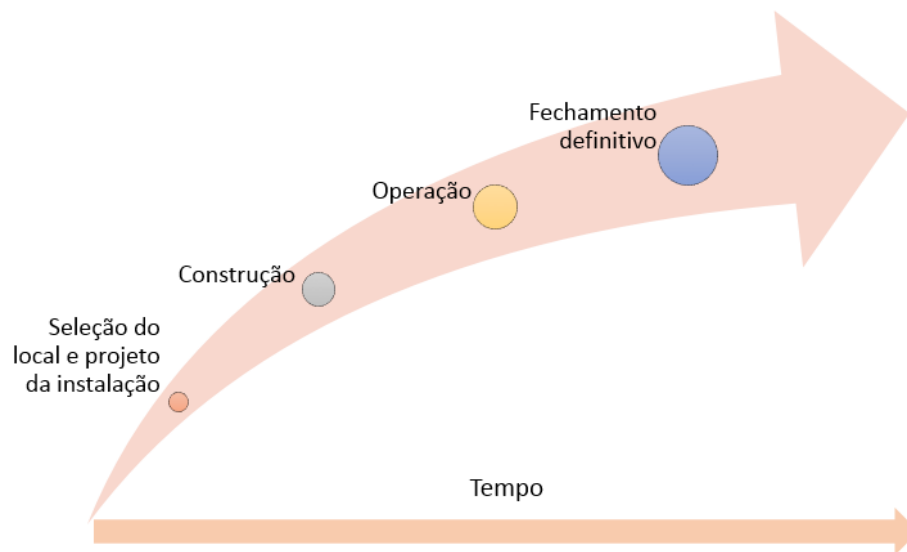
Segundo Vick (1983) e (1999), depois de estabelecida a barragem de rejeitos, ela ainda pode possuir estágios posteriores de construção, os chamados alteamentos. Estes podem assumir diferentes configurações, e são geralmente classificados em três classes: método de montante, método da jusante e método da linha de centro, cada método difere-se do outro pela direção em que os alteamentos são feitos em relação ao primeiro dique construído.

A vida útil de uma barragem pode ser entendida como o tempo que esta leva para ser assoreada, a ponto de impedir o seu uso de acordo com o planejamento inicial (Fig. 7) (BUFON *et al.*, 2009). A vida útil é função da descarga sólida de entrada, da eficiência de



entrada de sedimento no reservatório e do peso específico do sedimento retido (VILLELA; PONCE, 1986).

Sendo assim, considerando os impactos causados por essas estruturas, o espaço demandado para sua construção e a vida útil das mesmas, que é muito menor do que um barramento de água devido à natureza do material barrado, pode-se dizer que a mineração do futuro será aquela que promoverá a reciclagem das barragens de rejeitos.



**Figura 7** - Evolução no tempo das atividades relativas às barragens de rejeito  
 FONTE: LOZANO, 2006.

#### 3.3.4. Vida Útil

Entende-se por vida útil o período de tempo durante o qual a barragem, ou suas partes, mantém o desempenho esperado, quando submetido apenas às atividades de manutenção pré-definidas em projeto. O assoreamento do reservatório delimita muitas vezes vida a útil da própria barragem (ABNT, 2013).

O tempo de vida útil de uma barragem está, inicialmente, na dependência do bom ou mau desempenho do seu projeto, de sua construção, de sua operação e de sua manutenção, sejam eles atuando isoladamente ou em conjunto, refletindo, com isso, na taxa de depreciação a ser determinada (CARVALHO, 2008).

A vida útil de uma barragem de contenções de rejeitos de mineração é significativamente menor do que a de reservatórios de água, isto porque a taxa de sedimentação e o assoreamento nessas é muito maior, tornando-se assim um grande problema

e um dos maiores desafios a serem solucionados para as empresas mineradoras (ANNEL, 2006).

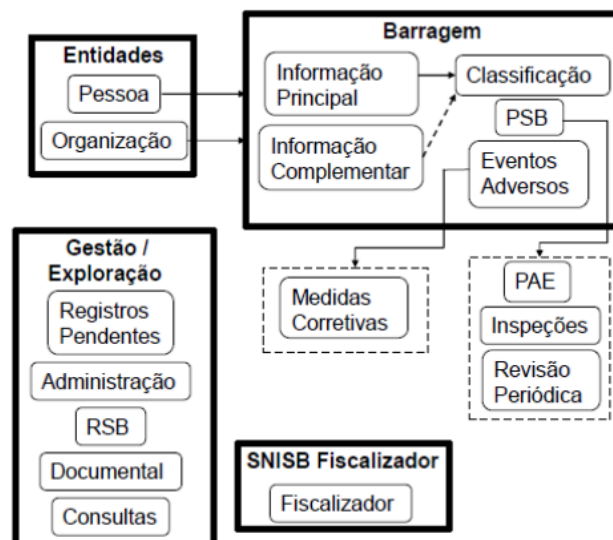
Qualquer barragem é projetada para que se tenha nível de desempenhos satisfatórios ao longo de sua vida útil, sendo necessário que, após a sua conclusão e no período de sua operação, esse nível seja acompanhado e monitorado. Sendo assim a perda do volume útil dos barramentos ocorre, principalmente, pelo assoreamento do reservatório e pelo mau desempenho do seu projeto, construção, operação e manutenção (CARVALHO, 2008).

Sendo assim, pode-se dizer que mineração do futuro será aquela que promoverá a reciclagem das barragens de rejeitos.

### 3.3.5. Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragens

O Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) é o registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o território nacional, e compreende um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de suas informações, contemplando barragens em construção, em operação e desativadas (BRASIL, 2010b).

A Figura 8 apresenta a concepção do SNISB, que foi finalizada pela Agência Nacional das Águas (ANA) em novembro de 2014.



**Figura 8 - Concepção do SNISB**  
 FONTE: ARAUJO, 2014.

### 3.3.6. Sustentabilidade na Mineração de Ferro

Segundo o Ministério da Integração Nacional (2002), risco é definido como:

probabilidade e severidade de um efeito adverso para a saúde, para a propriedade ou para o meio ambiente. O risco é estimado por expectativas matemáticas das consequências de um evento adverso.

E, de acordo com o Artigo 1º da Resolução n.º 001/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Impacto Ambiental é

qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetem diretamente ou indiretamente: a saúde, a segurança, e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias ambientais; a qualidade dos recursos ambientais.

Sendo assim, os riscos e impactos ambientais associados às barragens de rejeitos e depósitos de estéril estão dentre os mais significativos para o setor de mineração, estando relacionados principalmente a quantidade de resíduos gerada, potenciais passivos por contaminação por uso de resíduos perigosos, modificações de *habitat* natural de espécies, barramento de rejeitos, efeitos da drenagem ácida de minas, potencial de acidentes decorrentes de rompimento de barragens de rejeitos ou pilhas de estéril, dentre outros. As barragens de rejeitos, no Brasil, passaram a possuir requisitos de prevenção e controle ambientais e de riscos de acidentes somente a partir da década de 1990. (DIAS, 2013).

Segundo Dias (2013),

Passivos e acidentes ambientais também têm capacidade de gerar efeitos econômicos e sociais, como depreciação de ativos, danos à saúde de pessoas, fatalidades, impactos econômicos em comunidades e localidades que ficam no entorno das áreas afetadas, etc. Além destes efeitos, há riscos financeiros, legais e de reputação decorrentes de eventos ou de passivos ambientais que podem interferir perenemente no valor das empresas.

Sendo assim, melhorar a capacidade de identificar riscos e impactos e definir as adequadas medidas de prevenção e mitigação se torna extremamente necessário. Entretanto, não há muitas informações públicas disponíveis sobre como é feita a gestão de barragens de rejeito e depósitos de estéril no Brasil, o que dificulta que essas ações sejam implementadas de forma efetiva em todo território nacional. Mesmo assim o país tem avançado nos últimos anos no que se refere à “sustentabilidade na mineração”, seja com a implementação e cumprimento de legislações ou devido à mudança de pensamento da sociedade, que passou a

cobrar das empresas mineradoras maior comprometimento com o aspecto ambiental (BARRETO, 2001).

### 3.3.7. *Fechamento de Mina*

Os empreendimentos minerários possuem um ciclo de vida útil, e após este período muitas instalações são abandonadas sem nenhum processo de descomissionamento e de reabilitação de áreas degradadas, em função dos custos deste processo, bem como em razão da falta de aspectos legais que disciplinam a fase de desativação dos empreendimentos do setor (TONIDANDEL et al., 2012).

Segundo Barreto (2001),

a constituição de 1988 faz referências específicas à recuperação de áreas degradadas pela mineração, entretanto não prevê uma regulamentação específica para o fechamento de minas. O fechamento de minas é um processo que deve ser encarado como mais uma etapa do projeto de mineração, planejado de acordo com o projeto de lavra; e suas atividades e custos, na medida do possível, devem estar previstos desde o início do empreendimento. Nesse processo (planejamento e avaliação do empreendimento) é fundamental a participação da sociedade civil organizada e, principalmente, da comunidade local a ser afetada.

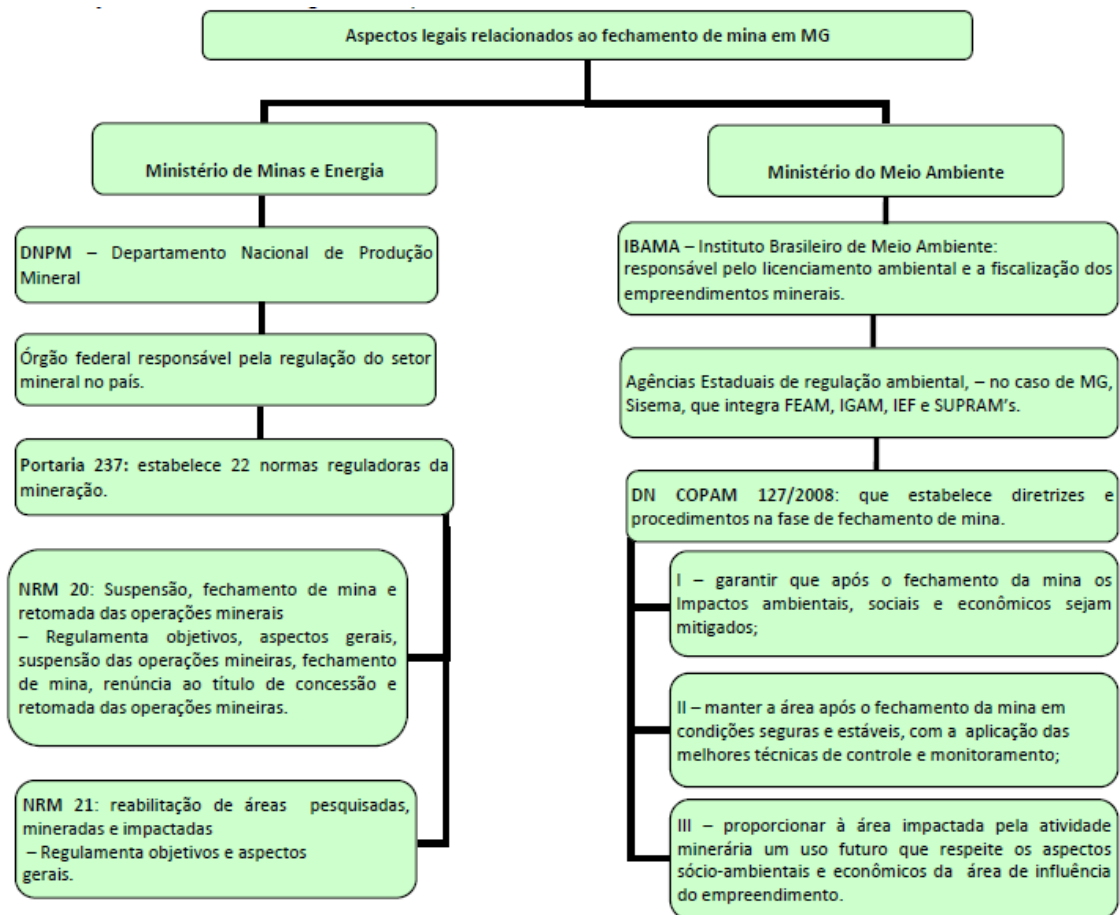
A desativação de empreendimentos minerários e posteriormente a reutilização dos seus espaços, representam um desafio para o setor da mineração. Para que o fechamento de uma mina seja eficiente, este deve seguir algumas diretrizes, dentre as quais se destacam (IBRAM, 2013):

- O planejamento do fechamento deve começar desde a concepção do projeto de uma nova mina.
- O planejamento do fechamento deve envolver as partes interessadas externas e internas.
- Os resultados do planejamento devem ser registrados em planos de fechamento e outros documentos correlatos.
- O planejamento do fechamento deve ser atualizado sempre que houver modificações substanciais no projeto da mina ou nas condições do entorno.

O principal desafio, de acordo com Villas Bôas e Barreto (2000), não é somente a recuperação de áreas degradadas, mas sim, “a incorporação da questão social, além da ambiental, nos processos de fechamento de minas, e mesmo o redimensionamento da questão ambiental dentro de uma nova concepção, que é a do desenvolvimento sustentável”.

Vale ressaltar que as principais diretrizes brasileiras e internacionais tratam principalmente sobre o fechamento programado, ou seja, aquele que ocorre após a exaustão das reservas, segundo um plano de lavra predeterminado. Entretanto, pode existir também casos de fechamento prematuro de uma mina (SÁNCHEZ, 2011).

Minas Gerais é um estado com mais de três séculos de tradição em atividades de mineração, que requerem cuidados especiais e trabalhos específicos de gerenciamento ambiental durante e após a vida útil dos empreendimentos. Por esse motivo o estado possui a liderança tanto na produção mineral do país, quanto nas legislações aplicadas a esse setor (Fig. 9) (TONIDANDEL et al., 2012).



**Figura 9** - Aspectos Legais relacionados ao Fechamento de Mina no Estado de Minas Gerais  
FONTE: Tonidandel *et al.* (2012)

### 3.4. Reúso de rejeitos da mineração de ferro

A reutilização e disposição final de rejeitos da mineração, atualmente, não é mais vista como apenas uma alternativa para redução de custos mas, principalmente, como uma

necessidade, para que se possa eliminar ou mitigar os problemas ambientais gerados por esses resíduos. Com a redução da disponibilidade de materiais naturais, o estudo da utilização destes materiais ganha cada vez mais importância (COELHO, 2008).

Entretanto, a reutilização desses rejeitos é dificultada pelas impurezas incorporadas durante seu processamento, por isso, a preocupação de um estudo prévio da utilização ou adição de rejeitos em alguns materiais deve ser considerado, para que este não acabe se tornando um risco para as pessoas envolvidas no processo (NOCITI, 2011).

Há diversos estudos que visam comprovar a viabilidade da reutilização do rejeito de mineração como agregado ou matéria prima para a produção de outros materiais, sendo que eles constituem agregados potencialmente interessantes como materiais de construção. (COELHO, 2008).

Dentre esses estudos, pode-se citar Vergara (2012) que estudou a aplicabilidade dos rejeitos de mineração de ferro para utilização em filtros de barragens, Nociti (2011) que estudou o aproveitamento de rejeitos oriundos da extração de minério de ferro na fabricação de cerâmicas vermelhas e Coelho (2008), que estudou o comportamento mecânico de rejeito de minério de ferro reforçados com fibras sintéticas.

#### *3.4.1. Concreto e Argamassa*

Segundo Pianca (1980), os concretos “são misturas de pastas de cimentos e materiais inertes, constituídos por areia e brita ou pedregulho em determinadas proporções”. O seu uso data dos tempo mais remotos, sendo que o seu emprego na atualidade se encontra em todos os tipos de estruturas e, dado seu custo mais baixo, ocupou lugares antes exclusivos de outros materiais estruturais. Pode-se afirmar que à medida que se desenvolve a indústria do cimento, se multiplicam suas aplicações na construção (SÜSSEKIND, 1981). A proporção entre os componentes do concreto é também conhecida por dosagem ou traço. As regras de cálculo e de execução para a produção do concreto encontram-se codificadas, no Brasil, em um conjunto de regulamentos e normas técnicas (GUERRIN, 1973).

Já as argamassas, segundo Pianca (1980), “são pastas compostas de aglomerantes e água, as quais se incorpora geralmente um material inerte para diminuir a contração e torná-las mais econômicas”.

Atualmente, o reaproveitamento de resíduos de outras indústrias, como por exemplo o da mineração, vêm sendo pesquisados para incorporação dos mesmos ao concreto e argamassa como agregados.

Dentre as diversas pesquisas existentes, pode-se citar a de Fontes *et al.* (2014), que estudou o resíduo da mineração de ferro como matéria-prima alternativa no desenvolvimento de argamassas de revestimento e assentamento, a de Toffolo *et al.* (2014), que estudou a viabilidade técnica de elementos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de barragem de minério de ferro e a pesquisa de Franco *et al.* (2014), que estudou a aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto.

Ramos (2014), que também faz parte dos pesquisadores que escolheram a área do reaproveitamento de rejeitos, estudou a “Aplicação de rejeitos de mineração de ferro como agregados em compósitos geopoliméricos”, utilizando para isso rejeitos da Pilha do Monjolo. Em seus estudos, a autora investigou a substituição de agregados de quartzo por rejeitos de mineração na produção de argamassas geopoliméricas. Como resultados, foi verificado a possibilidade de aplicação dos rejeitos de mineração na produção de argamassas e concretos estruturais, de modo a elevar a capacidade sustentável dos geopolímeros e a reduzir o impacto ambiental associado ao grande volume e à disposição dos rejeitos. A porcentagem ideal de substituição encontrada por Ramos (2014) é de aproximadamente 50%, uma vez que essa porcentagem não gerou grandes alterações na densidade aparente do produto final.

## 4. METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em duas etapas de forma a chegar ao objetivo final: análise da redução dos espaços ocupados por pilhas e análise da vida útil dos reservatórios

### 4.1. Análise da redução dos espaços ocupados por pilhas

Utilizou-se os estudos de Ramos (2014) para prever a redução do espaço ocupado pela Pilha do Monjolo, calculando-se quanto tempo seria gasto para utilizar todo o volume de rejeito empilhado como agregado na produção de concreto estrutural em Minas Gerais.

O volume da pilha do Monjolo, 400000 m<sup>3</sup>, foi obtido no Inventário de barragens da Feam de 2012.

O georreferenciamento da área da pilha através do Google Earth forneceu uma estimativa de área de 475.417 m<sup>2</sup> (Fig. 10), que foi compatível com a informação do volume coletado no inventário.



**Figura 10** - Delimitação da Pilha do Monjolo utilizando o Google Earth

Calculou-se a quantidade de tempo gastos para utilizar todo o rejeito existente na Pilha do Monjolo. Este cálculo considerou que o rejeito seria utilizado na produção de concreto estrutural, como foi sugerido por Ramos (2014). Além disso, também foi considerado que todo cimento produzido mensalmente em Minas Gerais seria utilizado na fabricação de concretos estruturais.

O traço utilizado foi o 1:2:3, que para 1m<sup>3</sup> de concreto produzido utiliza 344 Kg de cimento, 486 litros de areia seca, 364 litros de brita e 210 litros de água (HELENE e



TERZIAN, 1992). Além disso, o cimento considerado para o cálculo foi o CP-II, que segundo Ribeiro *et al.* (2013) possui uma massa específica de  $3,00 \text{ t/m}^3$ .

Como a substituição de agregado por rejeito de mineração proposta por Ramos (2014) é de aproximadamente 50%, tem-se que o traço da substituição utilizaria: 344 Kg de cimento, 243 litros de areia, 243 litros de rejeito de mineração, 364 litros de brita e 210 litros de água.

Abaixo encontra-se o passo a passo dos cálculos realizados:

- 1) Cálculo da quantidade de concreto que seria necessário produzir para gastar todo o volume de rejeito disponível na Pilha do Monjolo.
- 2) Volume de cimento produzido em Minas Gerais considerando os dados fornecidos pelo SNIC para o ano de 2014.
- 3) Cálculo da quantidade de concreto que seria necessário produzir para gastar todo cimento produzido em Minas Gerais.
- 4) Cálculo do volume de rejeito que seria utilizado para a produção da quantidade de concreto apresentada no item anterior.
- 5) Tempo gasto para consumir todo o rejeito da Pilha do Monjolo, considerando os dados obtidos nos itens anteriores.

#### **4.2. Análise da vida útil dos reservatórios**

Utilizou-se os programas AutoCAD, Global Mapper e Civil3D para plotar a batimetria do reservatório do Diogo em 3D.

Os pontos da batimetria foram fornecidos pela Vale S/A e estavam em AutoCAD. Para se obter os pontos em tabela, converteu-se os dados do AutoCAD no software Global Mapper e este gerou como resultado um arquivo .csv (arquivo separado por vírgulas), que foi importado para o Civil 3D para que a geração da superfície pudesse ser realizada.

Com o Civil3D, calculou-se o volume do reservatório e gerou-se uma curva de cota volume. Além disso, foi realizado a análise dos dados de declividade do reservatório e a projeção dos volumes a cada cota.

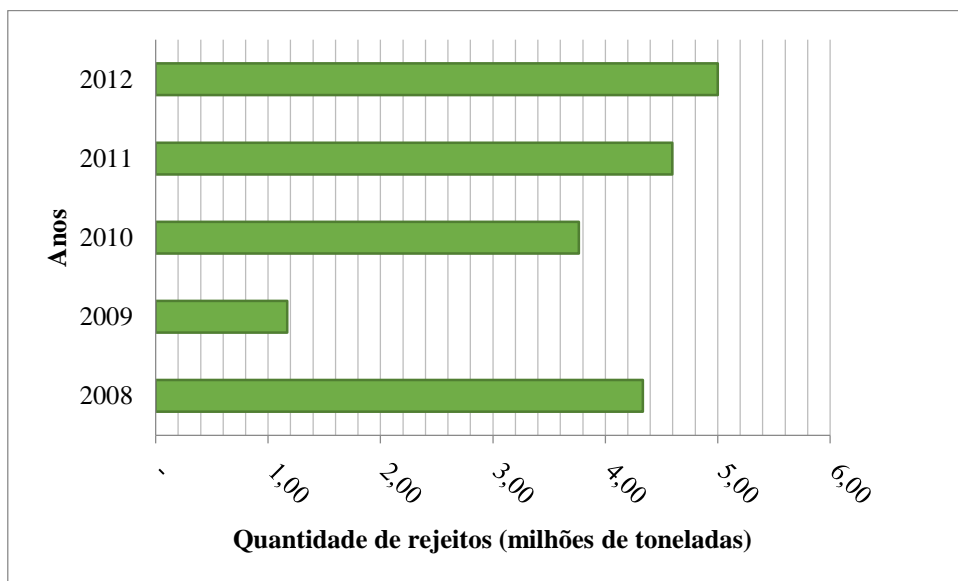
Para a realização desta parte do trabalho tentou-se responder duas perguntas que passam por caminhos semelhantes:

1. Qual a capacidade da barragem em absorver rejeito (vida útil)?
2. Qual a quantidade de rejeito gerado no processo produtivo, estimado para através de uma extrapolação que se alcançará a vida útil?

Para melhor compreensão da resposta às duas perguntas vamos dividir a metodologia em duas partes:

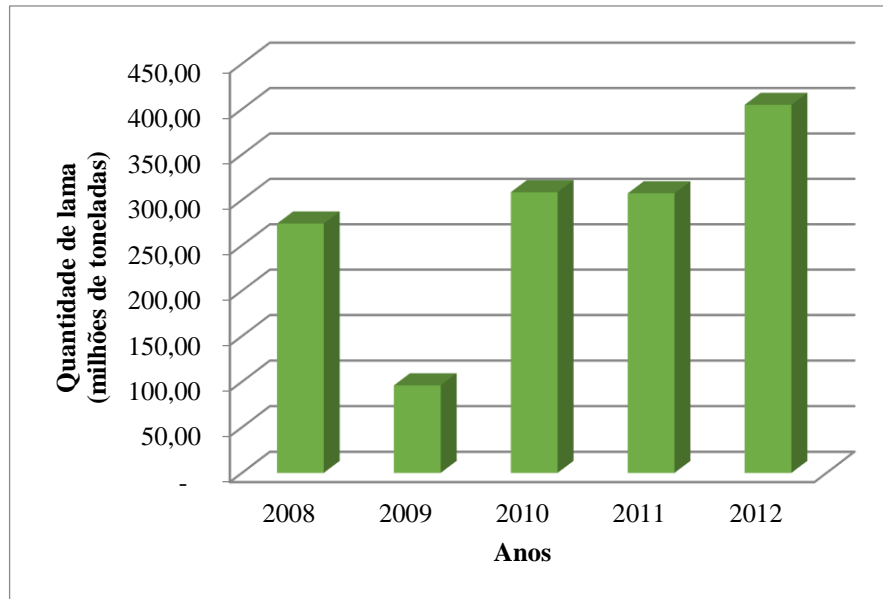
#### 4.2.1. O rejeito

Segundo Martini (2014), a produção de rejeitos na Mina de Água Limpa variou entre 1,2 e 5 milhões de toneladas de 2008 a 2012 (Fig. 11).



**Figura 11** - Rejeito gerado (rejeito espiral, jigue e lama) na Mina de Água Limpa de 2008 a 2012  
FONTE: MARTINI, 2014.

A produção específica de lama, tipo de rejeito que é disposto nos reservatórios, pela empresa está representada na figura 12 (Martini, 2014).

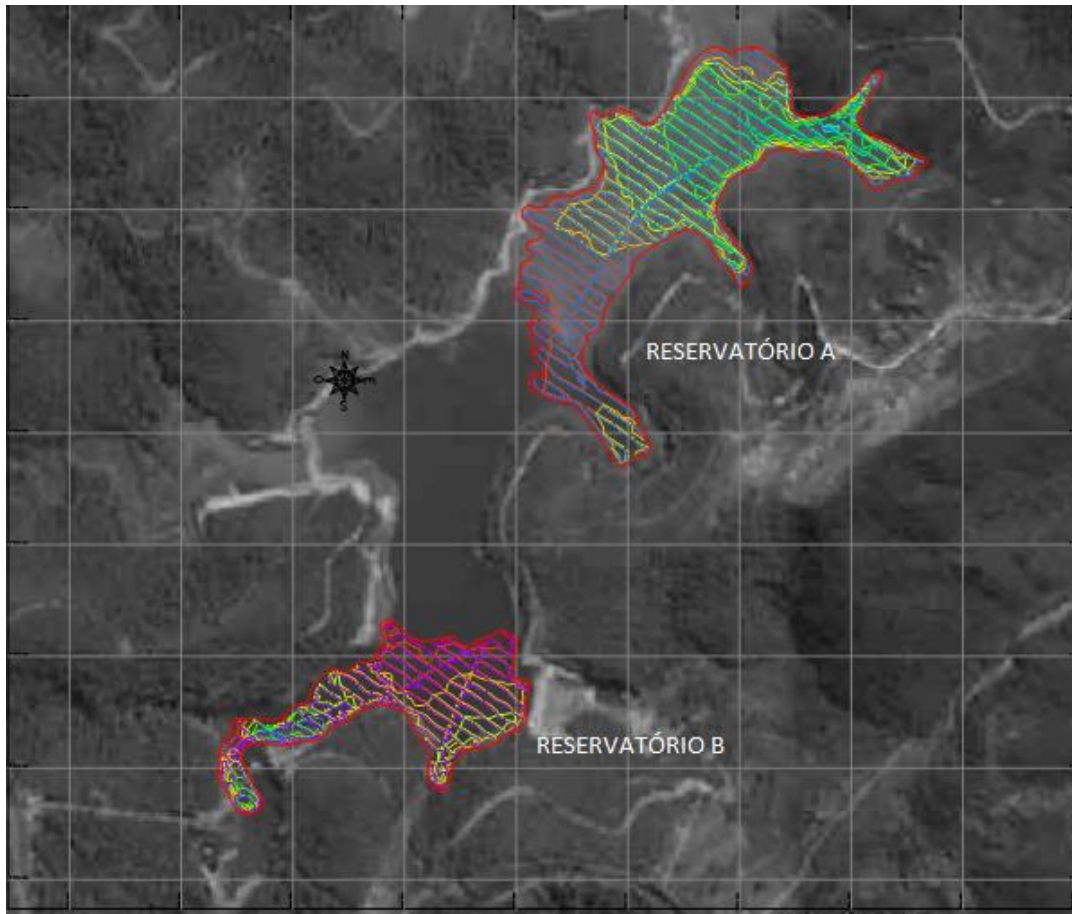


**Figura 12** - Lama gerada na Mina de Água Limpa de 2008 a 2012  
FONTE: MARTINI, 2014.

Para todos os cálculos realizados neste trabalho foram considerados estes dados de produção de rejeitos.

#### 4.2.2. Os reservatórios

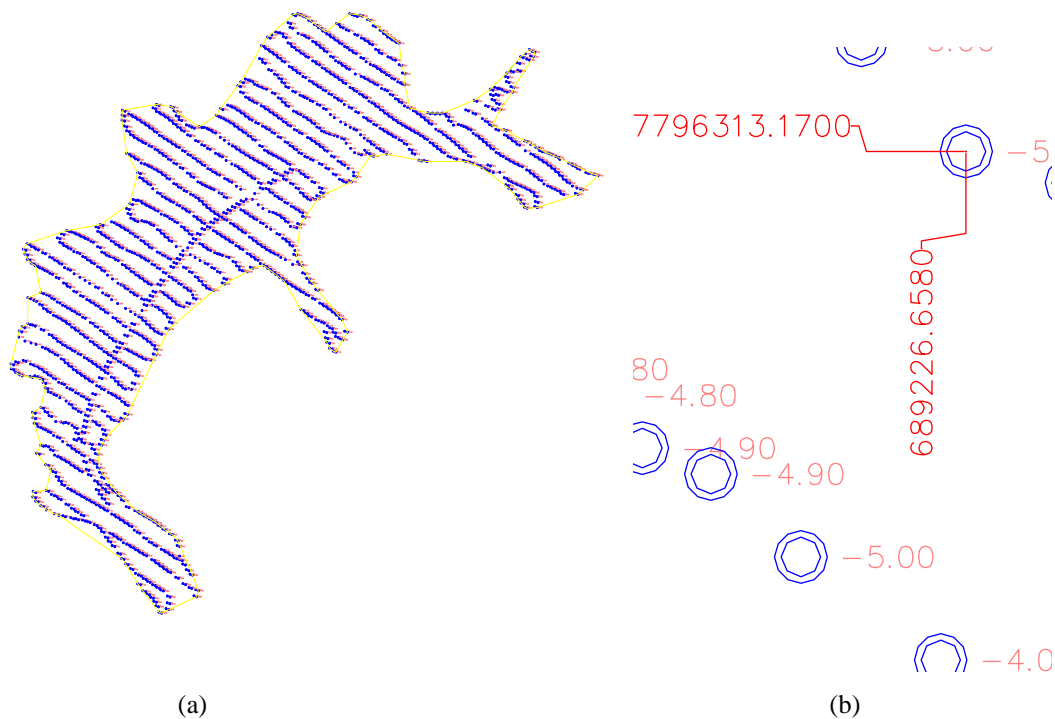
Como o reservatório do Diogo possui duas partes distintas que não são conectadas (separadas por rejeitos já depositados), chamou-se a parte mais ao norte de Reservatório A e a mais ao sul de reservatório B (Fig. 13).



**Figura 13** - Localização do Reservatório A e do Reservatório B do Diogo.  
FONTE: Autoria própria

Uma vez de posse dos dados iniciais fornecidos sobre o reservatório em questão, fez-se o caminho para o conhecimento do potencial (volume útil) do reservatório do Diogo.

A planta com os dados fornecidos pela Vale continha pontos parcialmente georreferenciados, coordenadas UTM sem DATUM informado e cotas da batimetria de campo referidas a uma origem arbitrária (Fig. 14).

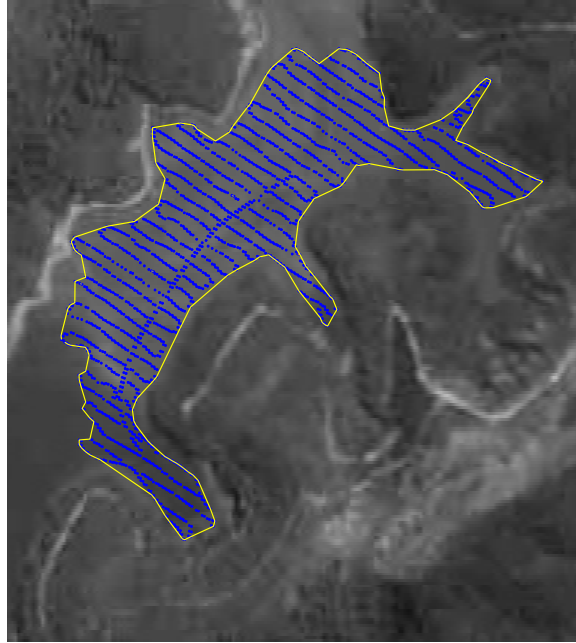


**Figura 14** - (a) Pontos fornecidos sem confirmação de localidade; (b) Detalhe dos pontos com as cotas arbitrárias

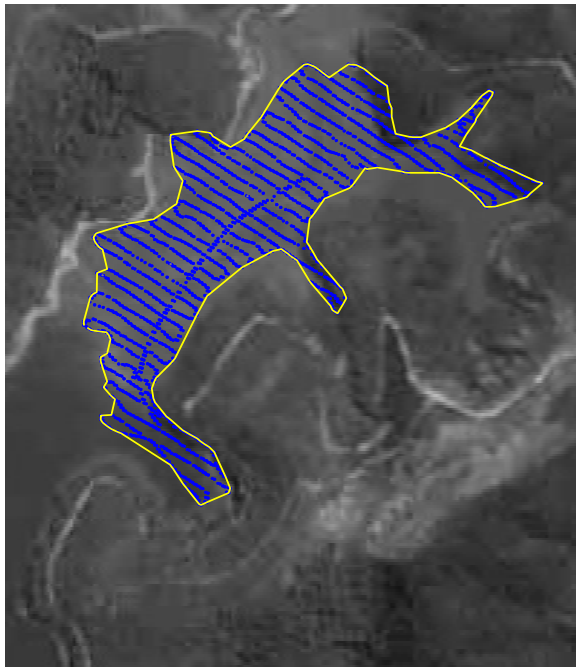
FONTE: Autoria própria

Sabendo em que cidade se localiza o reservatório, Rio Piracicaba – MG, buscou-se sua posição no Google Earth e, localizando a área do complexo minerário, foi identificada a região onde está a barragem.

Importando automaticamente a imagem georreferenciada nos dois DATUNS mais utilizados atualmente: SIRGAS2000 (Fig. 16), o oficial em uso no Brasil desde outubro de 2014, e o SAD69 (Fig. 15), recentemente substituído pelo anteriormente citado, percebeu-se o encaixe no DATUM SAD69.



**Figura 15** - Pontos do reservatório lançados no DATUM SAD69  
FONTE: Autorial própria



**Figura 16** - Pontos do reservatório lançados no DATUM SIRGAS2000  
FONTE: Autorial própria

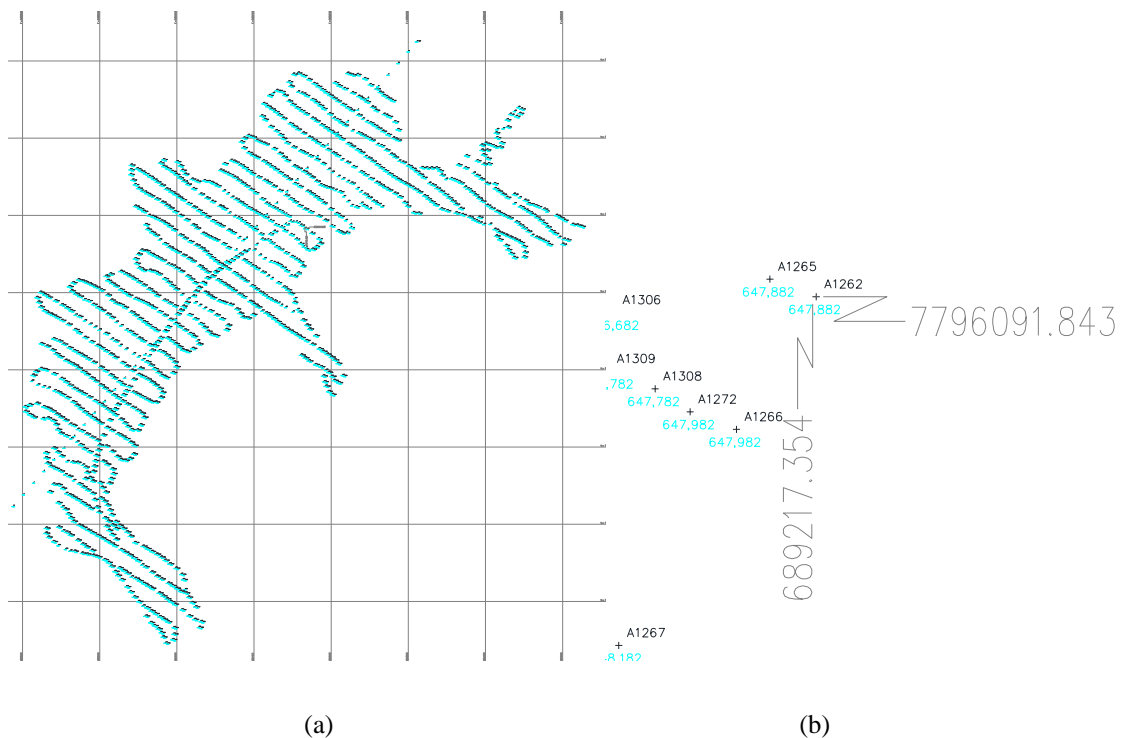
Confirmado o DATUM e a localização com relação ao Fuso da coordenada UTM, procedeu-se à filtragem das coordenadas e cotas para torná-las completas, convertendo as cotas em elevações referenciadas ao NMM (nível médio do mar) (Fig. 17). Para tal, os pontos filtrados foram convertidos para o formato ASCII.

Este formato, ASCII, é base de comunicação com os mais diversos softwares topográficos. Neste caso específico combinou-se o AutoCad Civil3d com o DataGEOSIS.

COORDENADAS BATIMETRIA COM COTAS BRUTAS_TAB - Bloco de notas					
Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda					
A1	689246,786	7796310,090	649,282	-1,100	648,182
A2	689228,644	7796283,362	649,282	-1,800	647,482
A3	689222,864	7796277,273	649,282	-1,600	647,682
A4	689225,448	7796288,970	649,282	-4,000	645,282

**Figura 17** - Coordenadas dos pontos da batimetria  
FONTE: Autoria própria

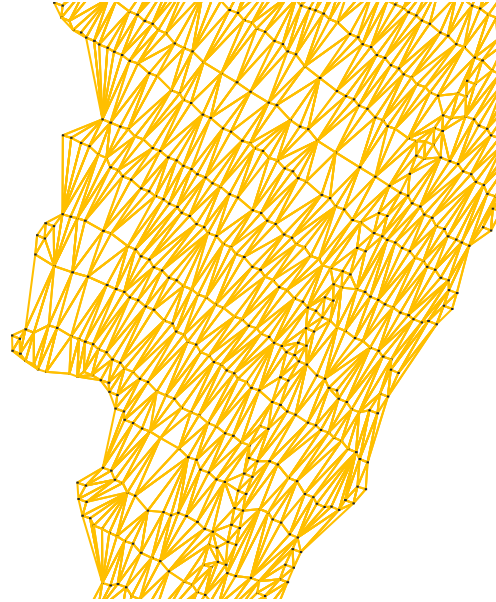
Feito este ajuste, de posse das coordenadas completas E, N e H (leste, norte e elevação), importou-se os dados para o DataGEOSIS onde formou-se o desenho contendo estes pontos coordenados e uma linha de contorno para delimitar a batimetria, bem como uma Canevá (malha de coordenadas) (Fig. 18).



**Figura 18** - (a) Coordenadas com canevá; (b) Detalhe das coordenadas completas  
FONTE: Autoria própria

A geração de um modelo digital da superfície é fundamental para todas as análises posteriores. Assim foi realizada uma triangulação (Fig. 19 e 20) para gerar uma superfície de níveis combinando-a com as posições planas de modo a ter-se um modelo 3D (Fig. 21).

Esta rede de triângulos segue diversas premissas em seu ajuste, sendo em quase 100% dos casos fundamental para bons resultados nos cálculos de volumes e demais informações. Ou seja, estas visualizações do modelo são geradas unicamente para verificar visualmente se não existem defeitos grosseiros na modelagem 3D.

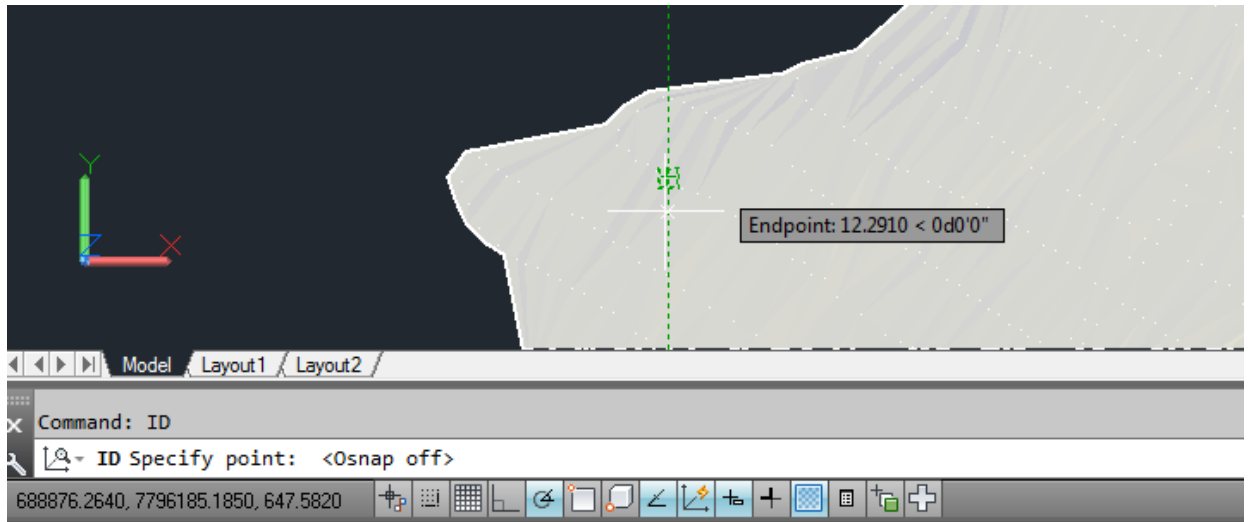


**Figura 19** - Detalhe da rede de triangulação na geração do MDT (Modelo Digital de Terreno)  
FONTE: Autoria própria



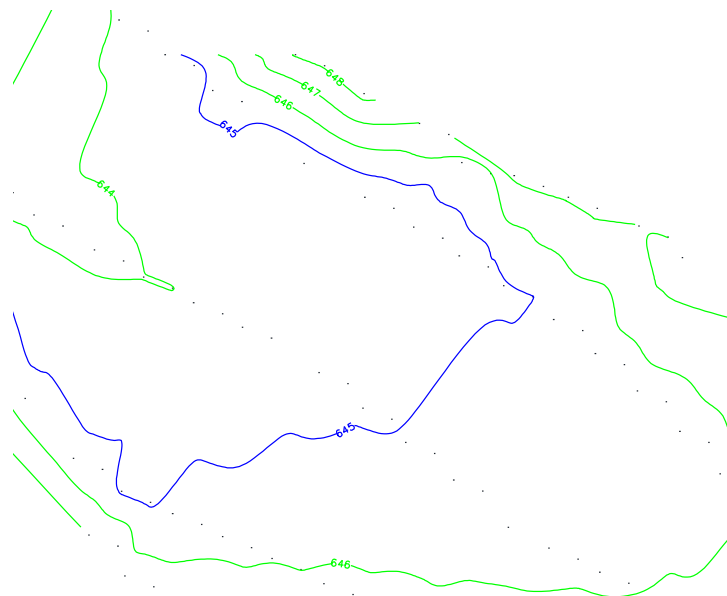
**Figura 20** - Triangulação do reservatório A  
FONTE: Autoria própria





**Figura 21** - Detalhe da superfície 3D gerada  
 FONTE: Autoria própria

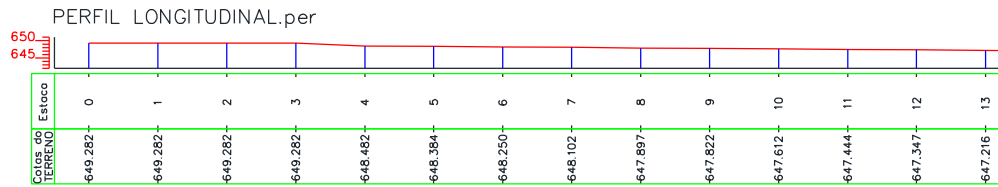
A triangulação permite a interpolação das informações como elevações pontuais para toda a superfície do modelo gerado. Este passo é fundamental para gerar as outras informações para o estudo do reservatório, pois agora pode-se “fatiar” o modelo gerando as curvas de nível (Fig. 22).



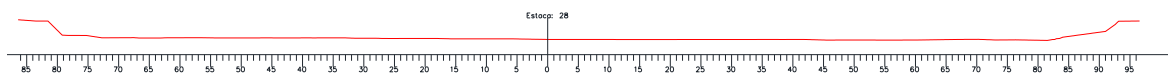
**Figura 22** - Detalhe das curvas de nível geradas a partir do MDT  
 FONTE: Autoria própria

Para conhecer em diversas direções os limites e elevações da barragem, criou-se um perfil longitudinal e sobre ele, com um estaqueamento de 20 em 20m, as suas seções transversais (Fig. 23 e 24).

Estes elementos fazem parte dos serviços de documentação técnica para verificações de etapas de serviços bem como verificação por redundância.



**Figura 23** - Perfil longitudinal sobre o modelo gerado  
FONTE: Autoria própria

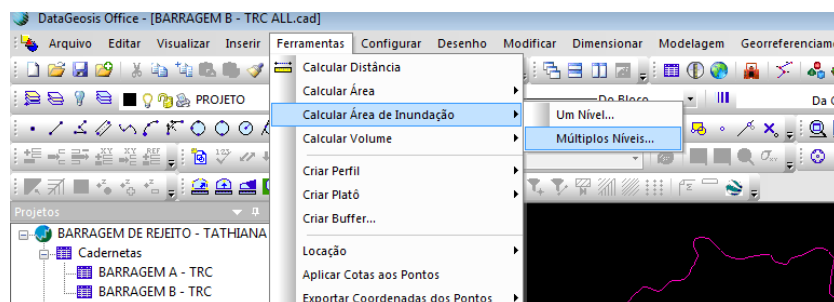


**Figura 24** - Seções transversais sobre o perfil estaqueado de 20 em 20m  
FONTE: Autoria própria

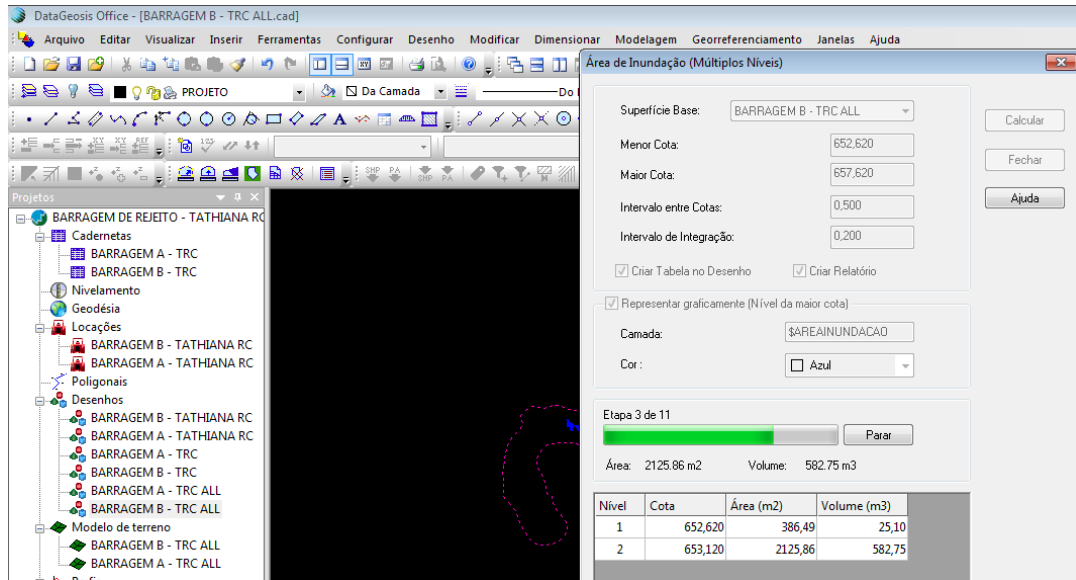
Para uma rápida avaliação do comportamento do fundo da barragem em termos de declividades foi gerado um mapa de declividades. Este mapa apresenta manchas por zonas de declividades em faixas percentuais relativas aos pontos de elevações por vizinhos.

Finalmente, a geração da curva cota-volume foi realizada através da medição de volume para cada acréscimo de uma taxa fixa de elevação de 0,5 m.

Esta medição foi feita simulando cotas de inundação o que respeita perfeitamente as declividades variáveis tanto do fundo como dos bordos da barragem. A partir das informações geradas criou-se uma correlação ente cota e volume (Fig. 25 e 26).



**Figura 25** - Entrada no DataGEOSIS para cálculo de Área de Inundação em múltiplos níveis  
FONTE: Autoria própria



**Figura 26** - Cálculo da Área de Inundação em múltiplos níveis em andamento  
 FONTE: Autoria própria

Como o assoreamento do reservatório delimita a vida útil da barragem, foi utilizada a equação básica para o cálculo de assoreamento de barragens (CARVALHO, 2008):

$$S = \frac{D_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 \times Q_{st} \times E_r}{\gamma_{ap}}$$

$$T = \frac{V_{res}}{S}$$

Sendo:

S = volume de sedimento retido no reservatório, m<sup>3</sup>/ano

D<sub>st</sub>= deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório, t/ano

E<sub>r</sub> = eficiência de retenção do sedimento afluente ao reservatório, fração

γ<sub>ap</sub> = peso específico aparente médio dos depósitos, t/m<sup>3</sup>

Q<sub>st</sub> = descarga sólida total média afluente ao reservatório, t/dia

T = tempo de assoreamento de um determinado volume, anos

V<sub>res</sub> = determinado volume do reservatório, total, volume morto ou outro, m<sup>3</sup>

Os valores do deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório (considerou-se as informações de produção de rejeito do item 4.2.1) e o peso específico aparente médio dos depósitos foram obtidos a partir da dissertação de Martini (2014). Com relação ao peso

específico, Martini (2014) encontrou dois valores para os depósitos do fundo do reservatório (Tab. 5), sendo assim, para o cálculo utilizou-se a média aritmética desses valores.

**Tabela 5** - Peso específico médio aparente do rejeito do Reservatório do Diogo

Amostra	Peso específico médio aparente (t/m <sup>3</sup> )
1	2,86
2	3,15
Média	3,005

Para o valor do volume do reservatório, utilizou-se o resultado obtido no cálculo de volume realizado no software Civil 3D: 60.7271,03 m<sup>3</sup>. Vale ressaltar que este valor difere dos dados fornecidos no inventário de barragens da Feam, isso se deve ao fato de que parte do reservatório do Diogo já está assoreado, e portanto, esta parte não foi considerada nos cálculos realizados neste trabalho.

## 5. RESULTADOS

De acordo com os cálculos realizados, o rejeito presente na Pilha do Monjolo seria capaz de produzir 1.646.090,5 m<sup>3</sup> de concreto. Sendo assim, considerando os dados do Sindicato Nacional da Indústria do Cimento (SNIC), que informa que Minas Gerais produz em média 1.152.243,5 t/mês de cimento e ainda considerando que o estado consome toda produção, tem-se que para acabar com a Pilha do Monjolo seriam necessários aproximadamente 15 dias. Ressalta-se que para este cálculo foi considerado que toda a produção de cimento de Minas Gerais foi utilizada para concreto estrutural e que em todo este concreto há a substituição de 50% do agregado fino (areia) pelo rejeito existente na Pilha do Monjolo.

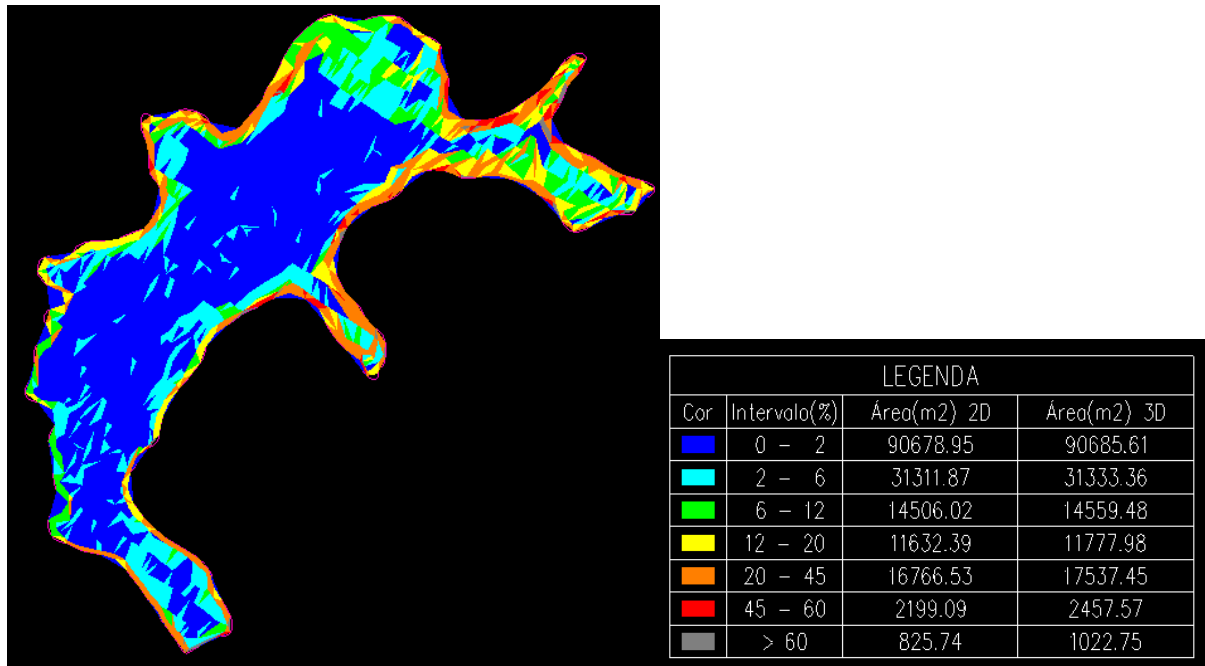
Este tempo pode ser considerado baixo mas vale ressaltar que Minas Gerais detém 1/16 da produção nacional de cimento, segundo o SNIC.

Através dos dados SRTM obtidos no site da Embrapa, foi possível fazer um levantamento da topografia do terreno da Mina de Água Limpa de antes da mineração chegar ao local. A esses dados, foi sobreposto a imagem de satélite adquirida no Google Earth. Como resultado dessa sobreposição tem-se o perfil topográfico anterior junto com a imagem atual do local de estudo deste trabalho (Fig. 27). Pode-se perceber que no local onde anteriormente era um morro hoje se tem as cavas para extração do minério de ferro.

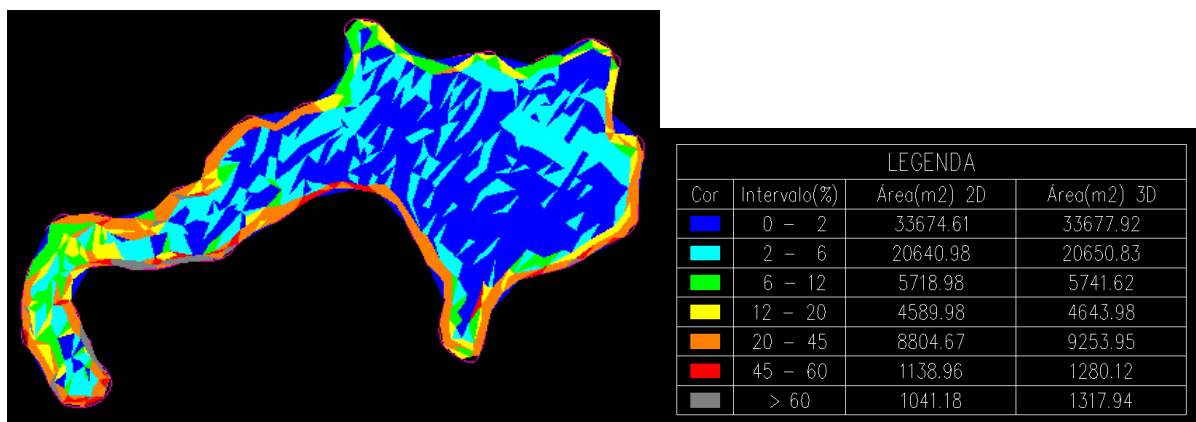


**Figura 27** - Vista em 3D da Mina de Água Limpa  
FONTE: Autoria própria

Os resultados obtidos para as declividades dos reservatórios são apresentados a seguir (Fig. 28 e 29):



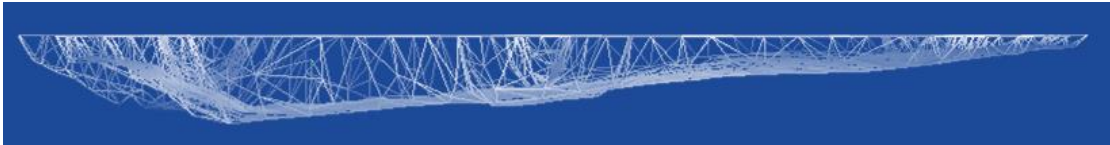
**Figura 28 - Declividades do reservatório A**  
 FONTE: Autoria própria



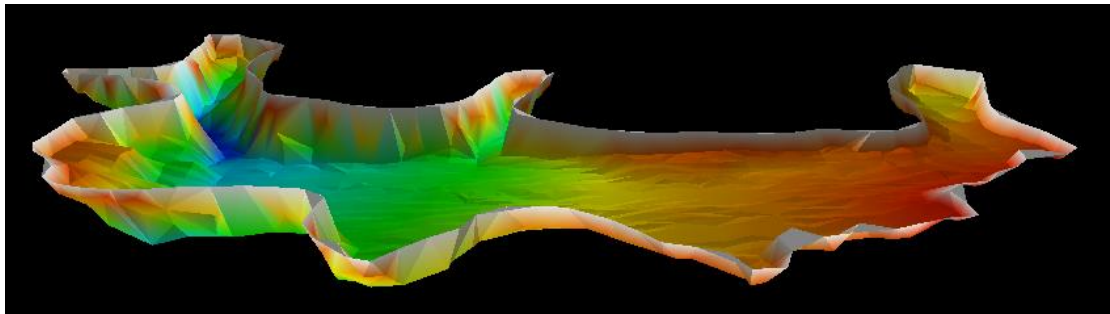
**Figura 29 - Declividades do reservatório B**  
 FONTE: Autoria própria

É possível observar que a maioria do reservatório possui pequenas declividades. Sendo que as maiores delas se encontram mais próximo de onde o rejeito está acumulado.

A seguir têm-se duas vistas (Hilden e Conceitual) do modelo gerado com gradação de cores por profundidade indo do branco ao azul escuro, sendo o branco a região mais elevada (Fig. 30, 31, 32 e 33). Estas visualizações foram geradas com exagero vertical de 10x, pois dado as dimensões dos reservatórios pouco se perceberia das diferenças de nível sem este artifício.



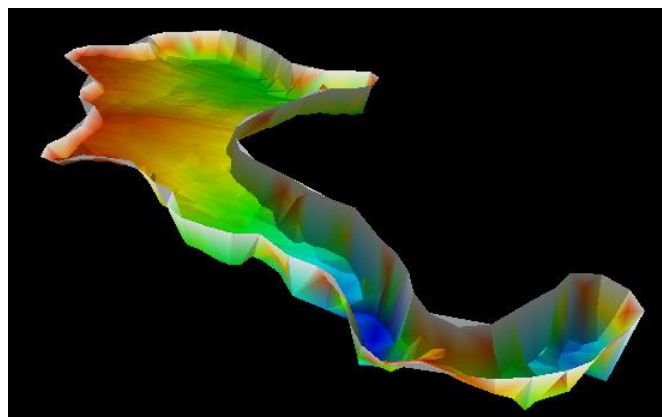
**Figura 30** - Visualização Hilden do modelo do perfil do reservatório A gerado  
FONTE: Autoria própria



**Figura 31** - Visualização Conceitual do modelo do perfil do reservatório A gerado  
FONTE: Autoria própria



**Figura 32** - Visualização Hilden do modelo do perfil do reservatório B gerado  
FONTE: Autoria própria



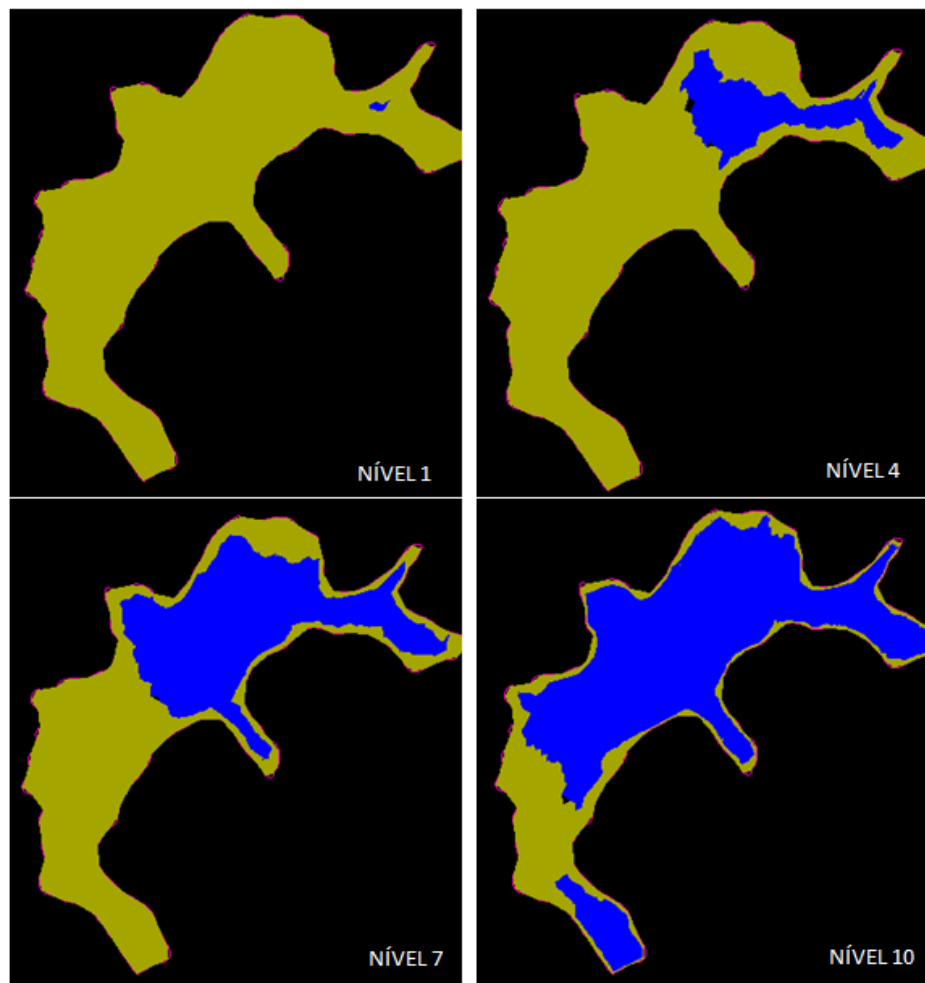
**Figura 33** - Visualização Conceitual do modelo do perfil do reservatório B gerado  
FONTE: Autoria própria

Os modelos de área de inundação com relação às cotas do reservatório juntamente com suas respectivas tabelas são apresentados nas tabelas 6 e 7 e nas figuras 34 e 35. Todos os planos de inundação gerados estão presentes no Anexo 1.

**Tabela 6-** Tabela das áreas de inundação calculadas do reservatório A

<b>ÁREA DE INUNDAÇÃO DO RESERVATÓRIO A</b>			
<b>Nível</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
1	651,620	306,760	13,020
2	652,120	3654,200	1078,990
3	652,620	7970,220	3564,250
4	653,120	23650,910	11233,870
5	653,620	38494,190	26703,850
6	654,120	56406,680	50488,910
7	654,620	69944,520	82250,480
8	655,120	81676,060	120101,490
9	655,620	98226,110	164783,280
10	656,120	121609,380	219405,900
11	656,620	145108,870	286672,730
12	657,120	156564,910	362533,900
13	657,620	163308,870	443641,320



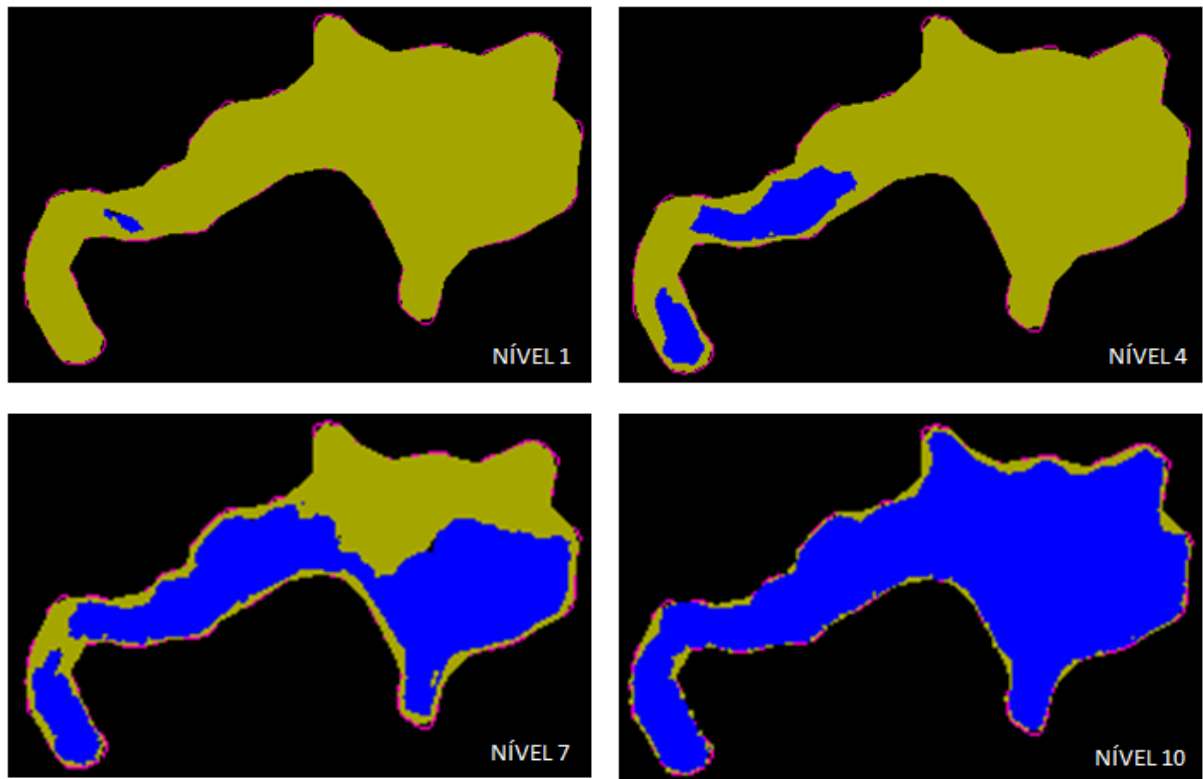


**Figura 34** - Áreas de inundação para os níveis 1, 4, 7 e 10 do reservatório A (marrom para corte e o azul para aterro).

FONTE: Autoria própria

**Tabela 7** - Tabela das áreas de inundação calculadas do reservatório B

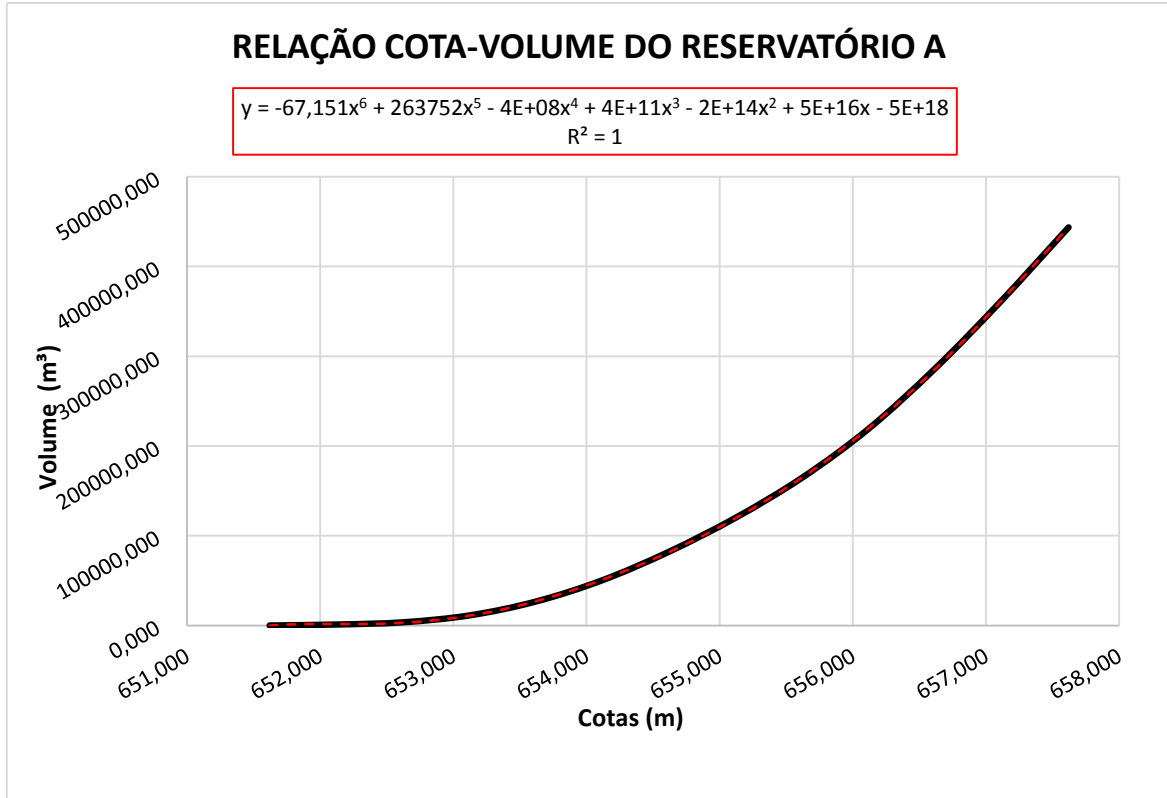
<b>ÁREA DE INUNDAÇÃO DO RESERVATÓRIO B</b>			
<b>Nível</b>	<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
1	652,620	386,490	25,100
2	653,120	2125,860	582,750
3	653,620	5353,180	2521,760
4	654,120	8081,130	5886,870
5	654,620	17460,740	11530,720
6	655,120	29677,200	23471,700
7	655,620	42026,310	41407,690
8	656,120	52858,480	65202,180
9	656,620	63085,230	94196,550
10	657,120	69544,360	127759,780
11	657,620	73263,820	163629,710



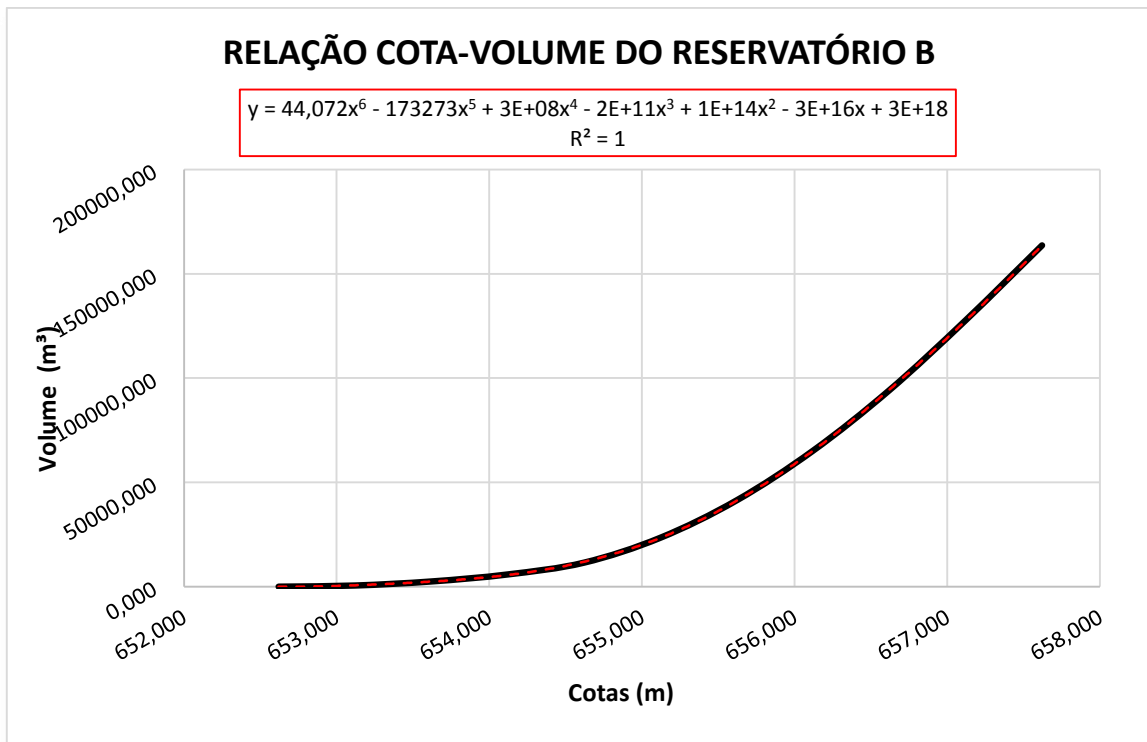
**Figura 35** - Áreas de inundação para os níveis 1, 4, 7 e 10 do reservatório B (marrom para corte e o azul para aterro).

FONTE: Autoria própria

As curvas de cota-volume geradas a partir da batimetria dos reservatórios estão representadas nas figuras 36 e 37.

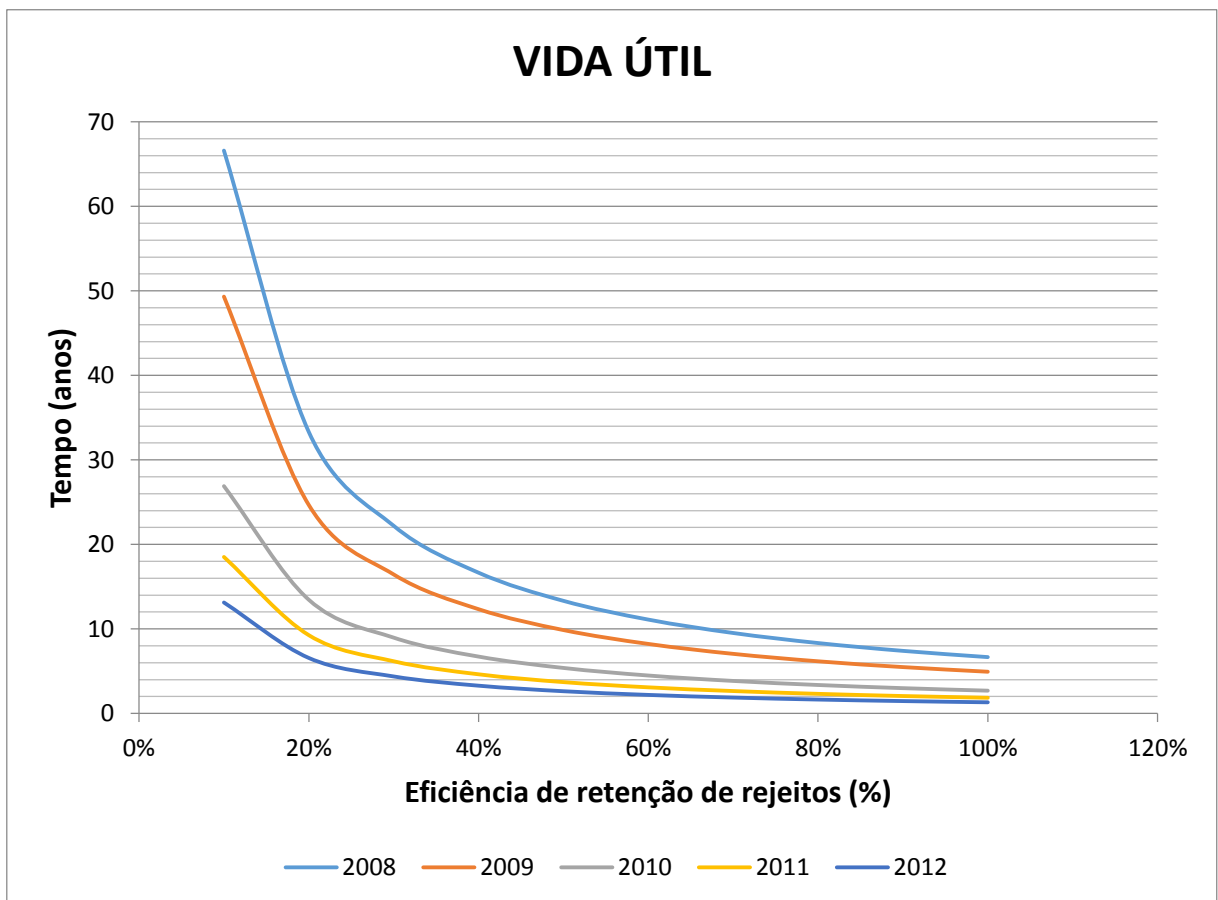


**Figura 36** - Gráfico de Cota-Volume do reservatório A  
 FONTE: Autoria própria



**Figura 37** - Gráfico de Cota-Volume do reservatório B  
 FONTE: Autoria própria

A partir do cálculo do assoreamento foi possível plotar o gráfico que mostra a eficiência de retenção de sedimentos no reservatório do Diogo, segundo cenários de eficiência, que variaram de 10 à 100% (Fig. 38). Nele é possível perceber que quanto mais eficiente for a eficiência de retenção, menor será a vida útil do reservatório com o decorrer do tempo. Ou seja, se tivermos uma produção de minério como 2012 e o reservatório retendo com alta eficiência (em torno de 80%), a vida útil da barragem do Diogo é de menos de 10 anos.



**Figura 38** - Vida útil do Reservatório do Diogo considerando a deposição e a eficiência de retenção de rejeitos  
 FONTE: Autoria própria

## 6. DISCUSSÃO

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, um plano de manejo é um documento consistente, elaborado a partir de diversos estudos, incluindo diagnósticos do meio físico, biológico e social, que estabelece normas, restrições para o uso, ações a serem desenvolvidas e manejo dos recursos naturais de uma área em questão, seu entorno e, quando for o caso, os corredores ecológicos a ela associados, podendo também incluir a implantação de estruturas físicas, visando minimizar os impactos negativos e garantir a manutenção dos processos ecológicos (MMA, 2015).

Sendo assim, a partir dos dados obtidos e das análises realizadas sugere-se a elaboração de um plano de manejo dos rejeitos da Mina de Água Limpa, utilizando as diretrizes abordadas neste estudo. Uma vez que o fechamento de uma mineração ou o final da vida útil de uma barragem de rejeitos geram diversos passivos ambientais, sendo que no país os principais problemas oriundos da mineração podem ser englobados em quatro categorias: poluição da água, poluição do ar, poluição sonora, e subsidência do terreno (FARIAS, 2002).

Somado a estes fatores há também a falta de uma legislação em âmbito federal que delimite as diretrizes para o fechamento de minas. Ressalta-se, entretanto, que o estado de Minas Gerais é vanguardista nessa questão, já que possui uma deliberação COPAM que aborda este assunto.

A legislação relacionada às questões relativas aos planos de manejo começaram a ganhar mais visibilidade quando o próprio meio ambiente passou a ser visto como um assunto de extrema importância a ser discutido, mas essas leis estão relacionadas somente com unidades de conservação e áreas que devam ser protegidas.

Sendo assim, sugere-se que para a criação de um plano de manejo dos rejeitos sejam elaboradas diretrizes como a sua utilização, como matéria prima, na produção de concreto e argamassa, ou como qualquer componente em elementos da indústria da construção civil que sejam possíveis de serem agregados, por exemplo.

De toda forma, é visível que o reaproveitamento de rejeitos provenientes da mineração contribui de maneira significativa na redução dos impactos ambientais gerados por esta atividade, podendo em certos casos, tornarem subprodutos de grande importância de alguns segmentos industriais, contribuindo assim para o desenvolvimento da mineração sustentavelmente correta (CHRISTOFOLETTI e MASSON, 2009).

Além disso, vale ressaltar que não é apenas o rejeito das pilhas que podem ser utilizados. Há atualmente diversos estudos que propõe o reaproveitamento dos rejeitos dispostos também em reservatórios (lama), como por exemplo, o estudo de Silva et al. (2005), que pesquisou sobre a incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas, e a pesquisa de Espósito *et al.* (2014), que estudou a utilização de rejeito de minério para a fabricação de Tijolos de Rejeito-Cimento. Esta possibilidade também aumentaria a vida útil das barragens de rejeitos, que como mostrado neste trabalho, podem ser curtas dependendo da produção e da eficiência de retenção do reservatório.

Mas, para tanto, será necessário fazer um levantamento de outras estruturas semelhantes do complexo para a contabilidade total dos rejeitos acumulados na área e do tempo necessário para total reutilização dos mesmos.

## 7. CONCLUSÃO

Atualmente, ainda é economicamente mais vantajoso para empresas mineradoras conter os rejeitos em pilhas e barramentos. Entretanto, é tecnicamente viável a utilização desses rejeitos como matéria-prima em outros setores, como por exemplo, o da construção civil, seja como agregado na produção de argamassas, concreto, pavimentos, blocos de vedação, entre outros. Esse reaproveitamento gera menos impactos ambientais, uma vez que deixa-se de extrair novos recursos naturais além de diminuir um dos maiores passivos da indústria minerária nos dias atuais, as contenções de rejeitos.

Portanto, um dos maiores desafios para o futuro é tornar os rejeitos de mineração produtos viáveis economicamente de serem utilizados como matéria-prima, ou seja, é torná-los competitivos no mercado quando comparados com o recurso natural utilizado, já que é visível que o reaproveitamento desses rejeitos contribuem de maneira significativa na redução dos impactos ambientais gerados por esta atividade.

Uma forma de fazer disto uma realidade seria fortalecer as legislações relacionadas com o tema e criar diretrizes de manejo de rejeitos de mineração, fazendo com que elas possuam mais visibilidade e que sejam cumpridas de forma efetiva.

Sendo assim, a partir desse trabalho foi possível concluir que o reaproveitamento de rejeitos de mineração é uma prática que deve ser levada em conta para que a vida útil dos reservatórios e pilhas onde esses materiais são depositados seja aumentada, e para tanto, a criação de um plano de manejo se faz necessário, uma vez que o volume de rejeito gerado e a área que estes ocupam dentro de um complexo minerário é considerável.

**Uma síntese dos resultados**

**Vida útil**

## **8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Os itens que se seguem apresentam algumas sugestões de continuidade deste trabalho:

- Pesquisar sobre a real eficiência do reservatório, seja por modelagem numérica ou com estudos à campo;
- Propor alternativas viáveis para o reaproveitamento dos rejeitos dispostos na barragem do Diogo na construção civil.



## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA CÂMARA NOTÍCIAS. **Nova comissão vai analisar mudanças no Código de Mineração.** Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/ECONOMIA/483880-NOVA-COMISSAO-VAI-ANALISAR-MUDANCAS-NO-CODIGO-DE-MINERACAO.html>> Acesso em 16 de abr. 2015.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce: Diagnóstico.** Agência Nacional de Águas. Brasília, 2005.

ANA (Agência Nacional de Águas). **Relatório de segurança de barragens de 2011.** Agência Nacional de Águas. Brasília, 2013.

ANNEL. **Relatório de vida útil.** Volume 1. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2006/012/documento/relatorio\\_vida\\_util\\_volume\\_1.pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2006/012/documento/relatorio_vida_util_volume_1.pdf)> Acesso em 18 set. 2013.

ARAUJO, Lígia Maria Nascimento. 2014. **A Política Nacional de Segurança de Barragens: Lei 12.334/2010 e Resoluções CNRH N°143 e N°144/2012.** ANA. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005314.pdf>> Acesso em: 31 de Maio de 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12649:** Mineração – Caracterização de cargas poluidoras na mineração. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13028:** Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13029:** Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de disposição de estéril em pilha. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13030:** Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575:** Edificações habitacionais. Desempenho. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 14001:** Sistemas da gestão ambiental - Requisitos com orientações para uso. 2004.

BARRETO, M. L. **Mineração e desenvolvimento sustentável: Desafios para o Brasil.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

BOSCOV, M. E. **Geotecnia Ambiental.** Oficina de Textos. São Paulo, 2008.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Norma reguladora da mineração nº 19**: Disposição de Estéril, Rejeitos e Produtos. Brasília: DNPM, 2002.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Norma reguladora da mineração nº 20**: Suspensão, Fechamento de Mina e Retomada das Operações Mineiras. Brasília: DNPM, 2002.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Norma reguladora da mineração nº 21**: Reabilitação de Áreas Pesquisadas, Mineradas e Impactadas. Brasília: DNPM, 2002

BRASIL. **Lei nº 12.334**, de 20 de setembro de 2010. Institui a Política Nacional de Segurança de Barragens; e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, 2010b.

BUFON *et al.* Estimativa do tempo de vida útil de represa de pequeno porte. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 31, n. 1, p. 87-92, 2009.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Editora Interciência, 2 ed. Rio de Janeiro, 2008.

CARVALHO, P. S. L.*et al.* **Insumos Básicos: Minério de Ferro**. BNDES Setorial 39, p. 197-234. 2013. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3906.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3906.pdf)> Acesso em: 18 mai. 2015.

CHRISTOFOLETTI, S. R. e MASSON, M. R. Aplicação de rejeito argiloso de uma mineração de areia industrial como matéria -prima na indústria cerâmica. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 30 (1/2), 35-43, 2009.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 29**, de 11 de dezembro de 2002. Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para o aproveitamento dos recursos minerais. Brasília, 2002.

COELHO, E. F. F. **Estudo do comportamento mecânico de rejeitos de minério de ferro reforçados com fibras sintéticas**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Minas, UFOP. Ouro Preto, 2008.

DIAS, Cláudia Franco de Salles *et al.* (org.). **Gestão para a sustentabilidade na mineração: 20 anos de história**. Instituto Brasileiro de Mineração. 1 ed. Ibram. Brasília, 2013.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Relatório de Impacto Ambiental da Execução dos Serviços de Elaboração de Estudos Técnicos, Econômicos, Financeiros e Ambientais do Trecho Norte da BR-381**, constante do Projeto de Ampliação de Capacidade e Modernização da Ligação Rodoviária entre Belo Horizonte e Governador Valadares – MG. Dez, 2006.

DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. **Sumário Mineral de 2014**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>> Acesso em: 16 abr. 2015.

ESPÓSITO, T. *et al.* Utilização de rejeito de minério para a fabricação de Tijolos de Rejeito-Cimento – TRC. **Congresso brasileiro de mecânica dos solos e engenharia geotécnica.** Goiânia, 2014.

FARIAS, C. E.G. **Mineração e meio ambiente no Brasil.** Relatório preparado para o CGEE. PNUD – Contrato 2002/001604. 2002. Disponível em: <[http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost\\_files/miner\\_c3\\_a7\\_c3\\_a3o\\_20e\\_20meio\\_20ambiente.pdf](http://www.em.ufop.br/ceamb/petamb/cariboost_files/miner_c3_a7_c3_a3o_20e_20meio_20ambiente.pdf)> Acesso em 31 out. 2015.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Inventário de Barragens 2012.** Disponível em: <<http://www.feam.br/declaracoes-ambientais/gestao-de-barragem?task=view>>. Acesso em: 20 mai. 2015.

FONTES, W. C. *et al.* Resíduo da mineração de ferro como matéria-prima alternativa no desenvolvimento de argamassas de revestimento e assentamento. **56º Congresso brasileiro do concreto.** Natal, 2014.

FRANCO, L. C. *et al.* Aplicação de rejeito de mineração como agregado para a produção de concreto. **56º Congresso brasileiro do concreto.** Natal, 2014.

GUERRIN, A. **Tratado de Concreto Armado 1: Cálculo do concreto armado.** vol 1. Editora Hermus. São Paulo, 1973.

HELENE, P. e TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** 1ª edição. Editora Pini. Brasília, 1992.

HOUAISS, A., VILLAR, M. S., FRANCO, F. M. M. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa.** Rio de Janeiro: Instituto Antônio Houaiss de Lexicografia, 2001.

IBRAM (Instituto Brasileiro de Mineração). **Gestão para a Sustentabilidade na Mineração: 20 anos de história. Instituto brasileiro de Mineração.** Brasília, 2012.

IBRAM. (Instituto Brasileiro de Mineração). **Guia para planejamento do fechamento de mina: versão revisada para consulta pública.** Brasília, 2013.

LOZANO, F. A. **Seleção de locais para barragens de rejeitos usando o método de análise hierárquica.** 202 f. anexos. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LUZ, Adão Benvido; LINS, Fernando A. Freitas. **Introdução ao tratamento de minérios.** CETEM. 4ª edição. Rio de Janeiro, 2004.

MACHADO, PAL. **Direito ambiental brasileiro.** São Paulo: Malheiros Editores Ltda, 2006. 14ª ed.

MARTINI, R. J. 2014. **Aplicação do ground penetrating radar em estudos para disposição de rejeitos de minério de ferro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 127,** de 27 de Novembro de 2008. Estabelece diretrizes e procedimentos para avaliação ambiental da fase de fechamento de

mina no Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo de Minas Gerais, Belo Horizonte, 29 Nov. 2008.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 74**, de 09 de Setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Diário do Executivo de Minas Gerais, Belo Horizonte, 02 Out. 2004.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília, 2002. 148p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Manejo**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/plano-de-manejo>> Acesso em 29 out. 2015.

NOCITI, D. M. **Aproveitamento de rejeitos oriundos da extração de minério de ferro na fabricação de cerâmicas vermelhas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

OLIVEIRA, Célio Guimarães. **Avaliação da separação magnética com rejeito final das espirais de Água Limpa**. Monografia (Pós-Graduação Latu Sensu em Beneficiamento Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2010.

PIANCA, J. B. **Manual do construtor: Materiais de construção**. vol 1. 18 ed. Editora Globo. Porto Alegre, 1980.

RAMOS, F.C.R. **Aplicação de rejeitos de mineração de ferro como agregados em compósitos geopoliméricos**. Dissertação (mestrado) - CEFET-MG. Belo Horizonte, 2014.

RIBEIRO, C. C. *et al.* **Materiais de construção civil**. 4º edição revisada. Editora UFMG. Belo Horizonte, 2013.

SÁNCHEZ, L. E. Planejamento para o fechamento prematuro de minas. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, 64(1), 117-124, 2011.

SEMAD (Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável). **COPAM**. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/copam>> Acesso em: 19 de abr. 2015.

SILVA, J. B. *et al.* Incorporação de lama de mármore e granito em massas argilosas. **Cerâmica 51**, 325-330. Natal, 2005.

SMIG - **Consultoria Mineral e Ambiental. Principais mudanças no novo código de mineração**. Disponível em: <<http://smig.com.br/noticias/287-principais-mudancas-do-novo-codigo-de-mineracao>> Acesso em: 16 de abr. 2015.

SNIC. Sindicato Nacional da Indústria do Cimento. **Produção regional de 2014**. Disponível em: <[http://www.snic.org.br/numeros\\_dinamico.asp](http://www.snic.org.br/numeros_dinamico.asp)> Acesso em 20 set. 2015.

SUPRAMLM – Superintendência Regional de Regularização Ambiental do Leste Mineiro, **Parecer Único**. Protocolo 0234796/2011.

SÜSSELIND, J. C. **Curso de concreto**. vol. 1. 2 ed. Editora Globo. Porto Alegre, 1981.

TOFFOLO, R. V. M. *et al.* Viabilidade técnica de elementos de concreto para pavimentação produzidos com rejeito de barragem de minério de ferro. **56º Congresso brasileiro do concreto**. Natal, 2014.

TONIDANDEL, R.P. *et al.* Aspectos legais e ambientais sobre fechamento de mina, com ênfase no estado de Minas Gerais. **Geonomos**, 20(1), 32-40, 2012

VALE. **A Vale no Brasil**. Disponível em: <<http://www.vale.com/PT/aboutvale/across-world/Paginas/default.aspx>> Acesso em 31 mai. 2015.

VERGARA, J.E. **Aplicabilidade dos Rejeitos de Mineração de Ferro para Utilização em Filtros de Barragens**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília. Distrito Federal, 2012.

VICK, S. G. **Considerations for estimating structural response probabilities in dam safety risk analysis**. Denver, Colorado: U.S. Bureau of Reclamation, Technical Service Center, 1999.

VICK, S. G. **Planning, design, and analysis of tailings dams**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1983.

VILLAS BÔAS, R.C. e BARRETO, M.L. **Cierre de Minas: experiências em Iberoamerica**. Rio de Janeiro: CYTED/IMAAC, 2000.

VILLELA, S. M.; PONCE, R. J. C. Assoreamentos de reservatórios. **Boletim de Hidráulica e Saneamento**, v. 1, n. 8, p. 1-30, 1986.

**10. ANEXOS****ANEXO 1**

**RELATÓRIO DE CÁLCULO**  
**ÁREA DE INUNDAÇÃO (MÚLTIPLOS NÍVEIS)**  
**RESERVATÓRIO A**

**PARÂMETROS:**

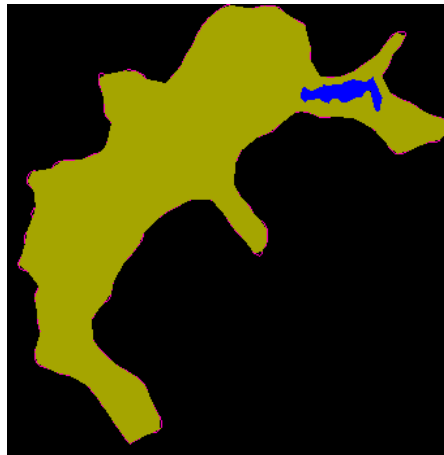
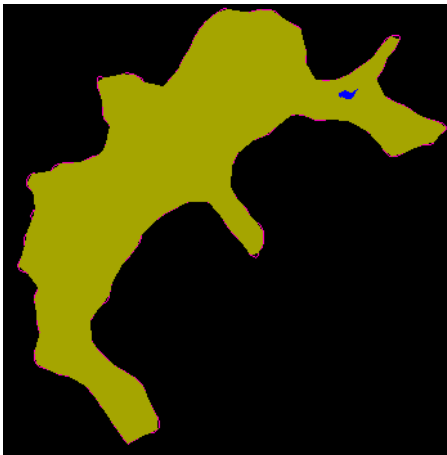
Superfície Base:	Reservatório A
Menor Cota:	651,620m (menor valor para gerar desnível inteiro)
Maior Cota:	657,620m Cota do N.A. no dia do levantamento, em 29 de setembro de 2012
Intervalo entre Níveis:	0,500
Intervalo de Integração:	0,200

**RESULTADOS:****Nível: 1**

Cota: 651,620m  
Área: 306,76 m<sup>2</sup>  
Volume: 13,02 m<sup>3</sup>

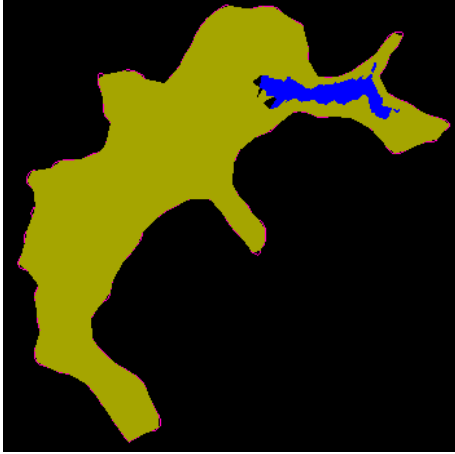
**Nível: 2**

Cota: 652,120m  
Área: 3654,20 m<sup>2</sup>  
Volume: 1078,99 m<sup>3</sup>

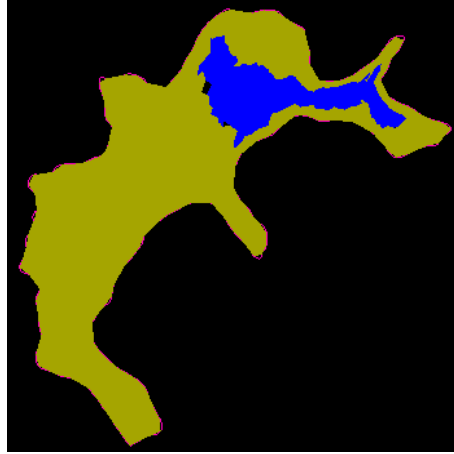


**Nível: 3**

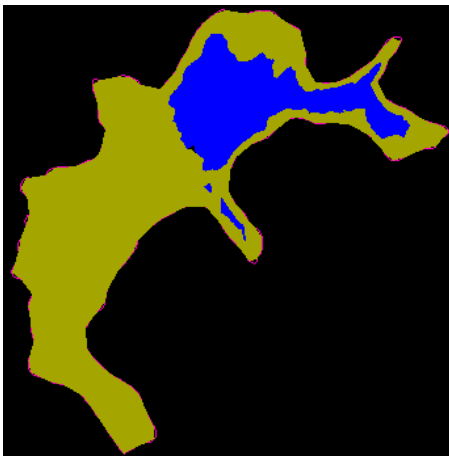
Cota: 652,620m  
Área: 7970,22 m<sup>2</sup>  
Volume: 3564,25 m<sup>3</sup>

**Nível: 4**

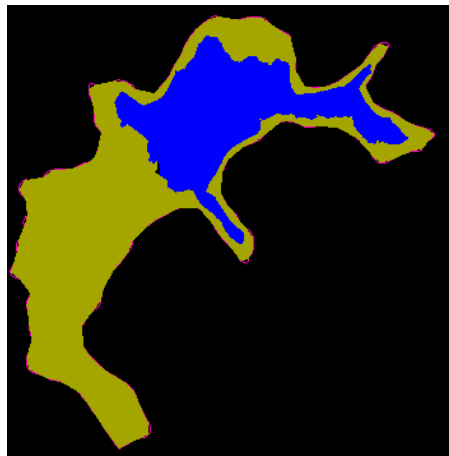
Cota: 653,120m  
Área: 23650,91 m<sup>2</sup>  
Volume: 11233,87 m<sup>3</sup>

**Nível: 5**

Cota: 653,620m  
Área: 38494,19 m<sup>2</sup>  
Volume: 26703,85 m<sup>3</sup>

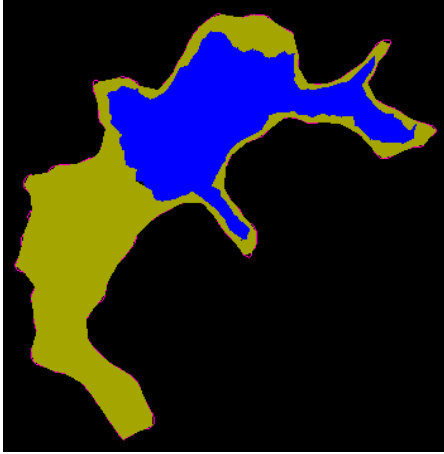
**Nível: 6**

Cota: 654,120m  
Área: 56406,68 m<sup>2</sup>  
Volume: 50488,91 m<sup>3</sup>

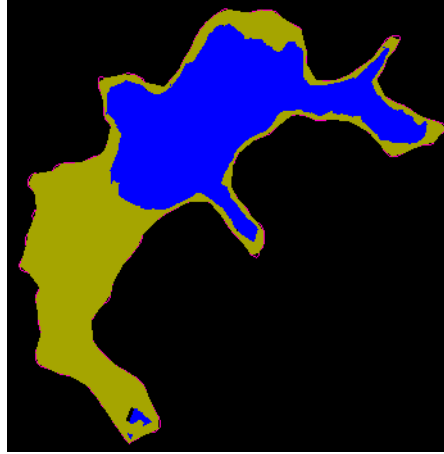


**Nível: 7**

Cota: 654,620m  
Área: 69944,52 m<sup>2</sup>  
Volume: 82250,48 m<sup>3</sup>

**Nível: 8**

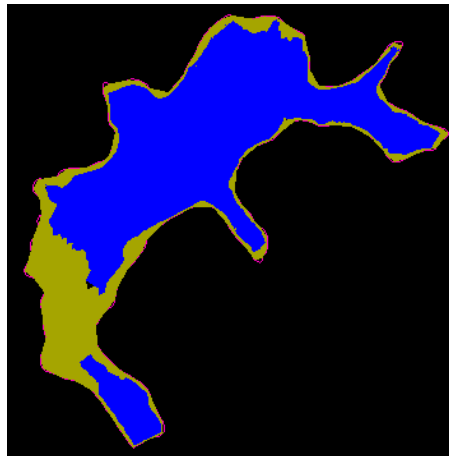
Cota: 655,120m  
Área: 81676,06 m<sup>2</sup>  
Volume: 120101,49 m<sup>3</sup>

**Nível: 9**

Cota: 655,620m  
Área: 98226,11 m<sup>2</sup>  
Volume: 164783,28 m<sup>3</sup>

**Nível: 10**

Cota: 656,120m  
Área: 121609,38 m<sup>2</sup>  
Volume: 219405,90 m<sup>3</sup>



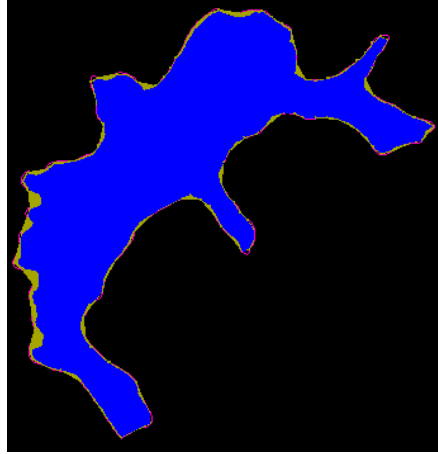


**Nível: 11**

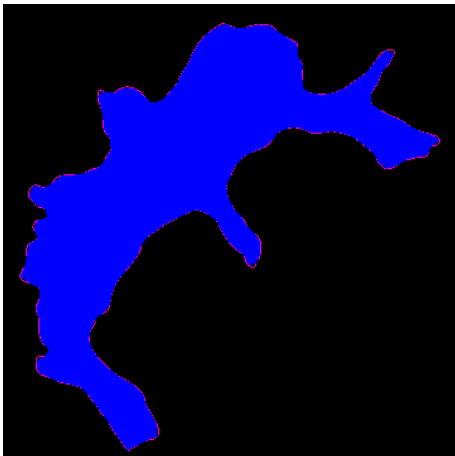
Cota: 656,620m  
Área: 145108,87 m<sup>2</sup>  
Volume: 286672,73 m<sup>3</sup>

**Nível: 12**

Cota: 657,120m  
Área: 156564,91 m<sup>2</sup>  
Volume: 362533,90 m<sup>3</sup>

**Nível: 13**

Cota: **657,620m** Cota do N.A. no dia do levantamento, em 29 de setembro de 2012  
Área: 163308,87 m<sup>2</sup>  
Volume: 443641,32 m<sup>3</sup>



**RELATÓRIO DE CÁLCULO**  
**ÁREA DE INUNDAÇÃO (MÚLTIPLOS NÍVEIS)**  
**RESERVATÓRIO B**

**PARÂMETROS:**

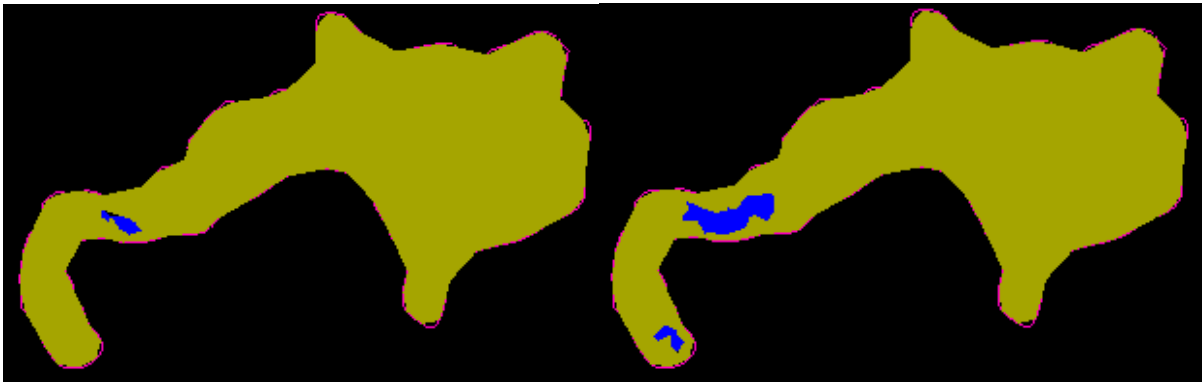
Superfície Base:	Reservatório B
Menor Cota:	652,620m (menor valor para gerar desnível inteiro)
Maior Cota:	657,620m Cota do N.A. no dia do levantamento, em 29 de setembro de 2012
Intervalo entre Níveis:	0,500m
Intervalo de Integração:	0,200m

**RESULTADOS:****Nível: 1**

Cota: 652,620m  
Área: 386,49 m<sup>2</sup>  
Volume: 25,10 m<sup>3</sup>

**Nível: 2**

Cota: 653,120m  
Área: 2125,86 m<sup>2</sup>  
Volume: 582,75 m<sup>3</sup>

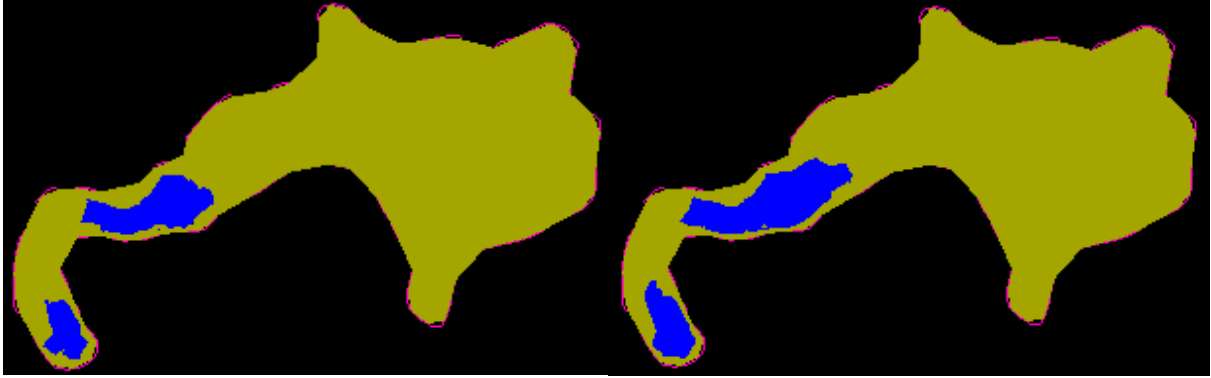


**Nível: 3**

Cota: 653,620m  
Área: 5353,18 m<sup>2</sup>  
Volume: 2521,76 m<sup>3</sup>

**Nível: 4**

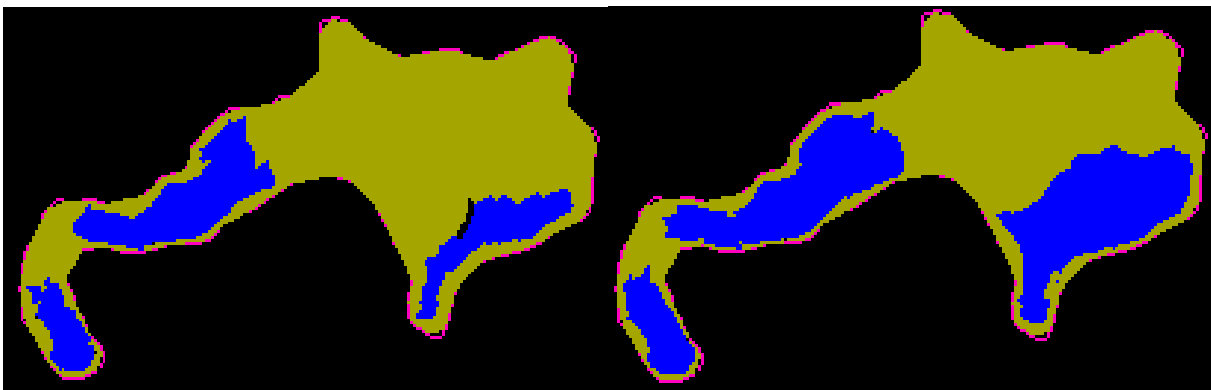
Cota: 654,120m  
Área: 8081,13 m<sup>2</sup>  
Volume: 5886,87 m<sup>3</sup>

**Nível: 5**

Cota: 654,620m  
Área: 17460,74 m<sup>2</sup>  
Volume: 11530,72 m<sup>3</sup>

**Nível: 6**

Cota: 655,120m  
Área: 29677,20 m<sup>2</sup>  
Volume: 23471,70 m<sup>3</sup>

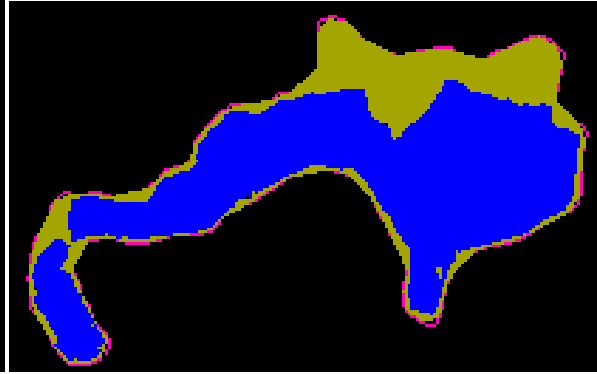
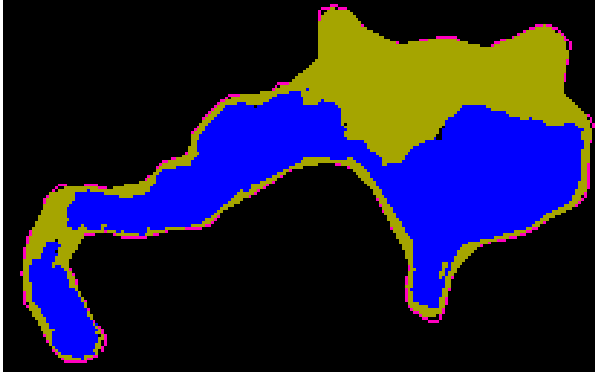


**Nível: 7**

Cota: 655,620m  
Área: 42026,31 m<sup>2</sup>  
Volume: 41407,69 m<sup>3</sup>

**Nível: 8**

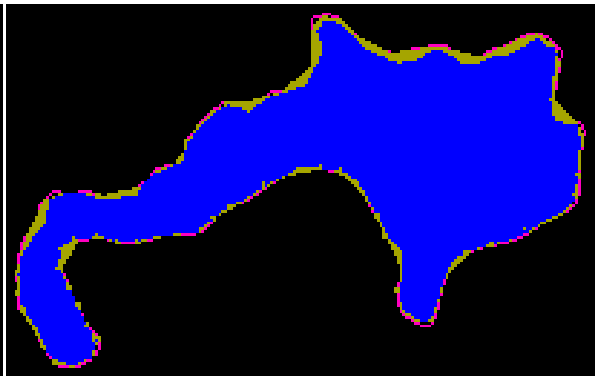
Cota: 656,120m  
Área: 52858,48 m<sup>2</sup>  
Volume: 65202,18 m<sup>3</sup>

**Nível: 9**

Cota: 656,620m  
Área: 63085,23 m<sup>2</sup>  
Volume: 94196,55 m<sup>3</sup>

**Nível: 10**

Cota: 657,120m  
Área: 69544,36 m<sup>2</sup>  
Volume: 127759,78 m<sup>3</sup>



**Nível: 11**

**Cota: 657,620m** Cota do N.A. no dia do levantamento, em 29 de setembro de 2012

**Área:** 73263,82 m<sup>2</sup>

**Volume:** 163629,71 m<sup>3</sup>

