

DIAGNÓSTICO GEOESPELEOLÓGICO PROJETO BRUCUTU



VOLUME I

Belo Horizonte

Marco de 2014.

EMPRESA RESPONSÁVEL PELA EXECUÇÃO



Ativo Ambiental Ltda.

CNPJ: 12.350.182/0001-00

Website: www.ativoambiental.com.br

ENDEREÇO

Avenida Bernardo Monteiro, 71 – Floresta. CEP: 30150-280

Belo Horizonte, MG.

Tel: (31)3481-3335

E-mail: contato@ativoambiental.com.br

RESPONSÁVEL TÉCNICO

Geógrafo Leandro M. Duarte Maciel – CREA 126866 D

EMPRESA RESPONSÁVEL PELO EMPREENDIMENTO



Vale S.A.

CNPJ: 33.592.510/0007-40

ENDEREÇO

Mina de Águas Claras

Av. de Ligação 3080, prédio 1, 1º andar – Águas Claras. CEP 34000-000

Nova Lima, MG

Tel: (31)3481-3335

GESTOR DO PROJETO/SOLICITANTE

Iuri Brandi

Email: iuri.brandi@vale.com

EQUIPE TÉCNICA		
Nome do Profissional	Formação/Registro no conselho de classe	Função/Tema
Leandro Márcio D. Maciel	Geógrafo / CREA MG 126866D	Coord. Geral do Projeto
Paulo Guerino Garcia Rossi	Geógrafo / CREA MG 122856D	Coord. do Geoespeleologia
Tatiana Pimentel Fischer Fonseca	Geóloga	Levantamento de Geoespeleologia
André Bernardes Machado	Historiador	Levantamento de topografia
Lucas Mendes Rabelo	Biólogo / CRBio 080543/04-D	Levantamento de topografia
Sérgio Leandro Sales	Geógrafo - Estagiário	Geoprocessamento
Ildeu Soares	-	Auxiliar de campo
Roberto Marinho da Silva Júnior	-	Auxiliar de campo

SAÚDE E SEGURANÇA OCUPACIONAL	
Nome do Profissional	Formação/Função
Flávia Mara Evangelista	Diretora técnica
Alyne Costa Rocha	Coord. saúde e Segurança
Michele de Paula Mangerotti	Téc. Segurança do Trabalho / 26366/MG
Charles Golberto Cassiano	Téc. Segurança do Trabalho / 27950/MG

SUMÁRIO

Lista de figuras	vi
Lista de tabelas.....	xii
1- INTRODUÇÃO	1
2- ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E INSERÇÃO DAS CAVIDADES ESTUDADAS NO CONTEXTO REGIONAL.....	7
2.1 - Clima.....	7
2.2 – Solos e Vegetação.....	7
2.3 – Contexto geológico-geomorfológico.....	8
2.4 – Espeleologia regional	11
2.4.1- Cavidades em rochas ferríferas.....	12
2.4.2- Cavidades em rochas quartzíticas.....	14
3- METODOLOGIA.....	15
3.1- Levantamento topográfico das cavernas	15
3.1.1- Metodologia Brandt.....	15
3.1.2- Metodologia Ativo Ambiental.....	17
3.2- Análise da inserção na paisagem.....	18
3.3- Análise litológica e das estruturas.....	18
3.4- Análise morfológica e espeleométrica	19
3.5- Hidrologia	20
3.6- Depósitos clásticos, orgânicos e químicos	20
4- DESCRIÇÃO GEOESPELEOLÓGICA DAS CAVIDADES LEVANTADAS.....	21
4.1- Cavidade BRU_001	24
4.2- Cavidade BRU_002	25
4.3- Cavidade BRU_003	27
4.4- Cavidade BRU_004	28
4.5- Cavidade BRU_005	29
4.6- Cavidade BRU_006	31
4.7- Cavidade BRU_007	32
4.8- Cavidade BRU_008	34
4.9- Cavidade BRU_009	35

4.10- Caverna BRU_010	35
4.11- Caverna BRU_011	37
4.12- Caverna BRU_012	38
4.13- Caverna BRU_014	39
4.14- Caverna BRU_019	40
4.15- Caverna BRU_021	41
4.16- Caverna BRU_022	43
4.17- Caverna BRU_023	44
4.18- Caverna BRU_025	45
4.19- Caverna BRU_028	46
4.20- Caverna BRU_032	47
4.21- Caverna BRU_034	48
4.22- Caverna BRU_035	49
4.23- Caverna MDIR_0014	50
4.24- Caverna MDIR_0025	51
4.25- Caverna MDIR_0027	52
4.26- Caverna MDIR_0028	53
4.27- Caverna MDIR_0033	55
4.28- Caverna MDIR_0035	56
4.29- Caverna MDIR_0036	57
4.30- Caverna MDIR_0039	58
4.31- Caverna RF_119	59
4.32- Caverna RF_120	60
4.33- Caverna RF_121	61
4.34- Desclassificações de feições como cavernas	63
5- ATRIBUTOS GEOESPELEOLÓGICOS GERAIS DAS CAVIDADES.....	65
5.1- Inserção na paisagem	65
5.2- Aspectos litológicos e estruturais.....	67
5.3- Espeleometria das cavernas	69
5.3.1- Cavernas em rochas ferríferas.....	69
5.3.2- Cavernas em rochas quartzíticas.....	73

5.4- Aspectos hidrológicos.....	75
5.5- Morfologia das cavernas	75
A análise morfológica das cavernas envolveu a caracterização do padrão planimétrico, das feições morfológicas ocorrendo nas mesmas e a inclinação de seu piso.....	
	75
5.6- Depósitos clásticos e orgânicos.....	77
5.7- Depósitos químicos	78
5.8- Aspectos espeleogenéticos e cronológicos	78
5.8.1- Cavidades em rochas ferríferas.....	78
5.8.2- Cavidades em rochas quartzíticas.....	80
6- CONCLUSÃO	81
7- BIBLIOGRAFIA	83
ANEXOS	86
ANEXO 1	88
- Mapa de Geologia e Localização das Cavidades	88
ANEXO 2	89
- Mapa da Região Cárstica do Quadrilátero Ferrífero	89
ANEXO 3	90
- Mapas das Cavidades.....	90
ANEXO 4	91
- Dados base de dados espeleométricos regionais e locais	91
- Dados espeleométricos em rochas ferríferas para o Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Base de dados Vale (2013);	91
- Dados espeleométricos em rochas quartzíticas para a Serra da Moeda (Quadrilátero Oeste) e Serra do Gandarela. Fonte: Spelayon (2012) e Carste (2010).....	91
ANEXO 5	92
- Anotações de Responsabilidade Técnica – ART.....	92
ANEXO 6	93
- Cadastro Técnico Federal – CTF	93

Lista de figuras

Figura 1: Localização da área de estudo.	2
Figura 2: Coluna estratigráfica regional. Fonte: Alkmim e Marshak (1998).	9
Figura 3: Localização aproximada da área de estudos, de laranja, em relação ao mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: retirado de Rosière e Chemale Jr. (2000).....	11
Figura 4: Localização da área de estudo em relação à unidade geomorfológica local (Serra do Gandarela) e à unidade espeleológica regional (Quadrilátero Ferrífero-Conceição).	13
Figura 5: Vista da entrada da cavidade.	24
Figura 6: Interior da cavidade apresenta crosta branca e cone de sedimento terrígeno e serrapilheira.	24
Figura 7: Vista do salão de fundo com cupim-tema em 1ºplano e claraboia ao fundo.....	25
Figura 8: Vista de dentro para fora, mostrando a trilha que leva até a cavidade.	25
Figura 9: Vista de fora da entrada da cavidade.....	26
Figura 10: Detalhe de coralóide.	26
Figura 11: Pilares em canga detrítica.	26
Figura 12: Detalhe de goethita botrioidal maciça na rocha sã.	26
Figura 13: Patamar em nível intermediário do salão de fundo com pendentes na porção inferior.	26
Figura 14: Parede arredondada composta por canga clasto suportada de seixos.	26
Figura 15: Conjunto lítico com arestas arredondadas a pontiagudos polidos, característicos de utilização antrópica, possível sítio arqueológico.	27
Figura 16: Rocha de possível sílex, cuja composição não provém das rochas da cavidade e proximidades, podendo ser artefato lítico transportado pelo homem.....	27
Figura 17: Interior da cavidade, inclinação relativamente plana e crostas de óxido-hidróxido nos tetos e parede.	28
Figura 18: Interior da cavidade apresenta pequenos alvéolos e coraloides brancos.....	28
Figura 19: Entrada da cavidade sob calha fluvial. Notar a marca d'água escura na canga por onde flui pequena cascata.....	28
Figura 20: Detalhe da canga detrítica.	28
Figura 21: Vista externa da entrada da cavidade.....	29
Figura 22: Vista de entrada com inclinação da cavidade a partir de seu interior.....	29
Figura 23: Canga detrítica clasto suportada por seixos presentes na parede.	29

Figura 24: Interior da cavidade com piso de matacões e crostas brancas.....	29
Figura 25: Entrada da cavidade vista do exterior.....	30
Figura 26: Cristais milimétricos de magnetita.....	30
Figura 27: Detalhe de seixos presentes nas paredes, compostos de itabirito, hematita e quartzo.31	
Figura 28: Um dos salões da cavidade moldada sob Formação Ferrífera Bandada, a partir da qual partem dois condutos para os salões de fundo.	31
Figura 29: Teto de conduto com dobramentos na Formação Ferrífera Bandada controlando sua forma.	31
Figura 30: Porção do piso com acúmulo de “pó de especularita” com marcas de gotejamento e de poças temporárias.....	31
Figura 31: Inclinação direcionada para o interior.	32
Figura 32: Interior da cavidade apresenta crosta branca e condensação.	32
Figura 33: Detalhe da canga detrítica do teto.....	32
Figura 34: Vista da entrada da cavidade.	32
Figura 35: Canga detrítica com predomínio clástico de seixos.	33
Figura 36: Coralóides milimétricos.....	33
Figura 37: Interior da cavidade apresenta crosta branca e de óxidos-hidróxidos.....	33
Figura 38: Cobra coral no interior da cavidade com piso repleto de seixos.	33
Figura 39: Inclinação direcionada para o interior com piso repleto de blocos de canga.	34
Figura 40: Interior da cavidade apresenta crosta branca e pendentes.	34
Figura 41: Seixos pequenos formadores da canga.....	34
Figura 42: Cobra coral encontrada no interior da cavidade.	34
Figura 43: Morfologia piso da cavidade.	35
Figura 44: Detalhe do teto evidenciando crosta branca.	35
Figura 45: Vista para entrada da cavidade.....	36
Figura 46: Vista do interior para entrada com forte inclinação.....	36
Figura 47: Canalículo de fundo por onde o material fino é carregado pelo escoamento temporário. Notar as marcas de umidade.	36
Figura 48: Coralóide tipo couve-flor escuro.....	36
Figura 49: Coralóide milimétrico em material terrígeno.	36
Figura 50: Coralóide milimétrico branco.....	36

Figura 51: Crostas brancas e de óxido-hidróxidos formadas ao longo dos planos de bandamento.	37
Figura 52: Pontão estrutural com crosta branca formada a partir do mergulho da formação ferrífera bandada.	37
Figura 53: Piso de sedimentos finos com vista para entrada.....	37
Figura 54: Coralóides brancos milimétricos.....	37
Figura 55: Blocos evidenciando deslocamento acompanhado o plano de bandamento.....	38
Figura 56: Crosta branca nos blocos de calhaus, que dominam o piso da cavidade.	38
Figura 57: Vista da entrada da cavidade.	38
Figura 58: Coralóide branco milimétrico no teto.....	38
Figura 59: Crosta de óxido-hidróxido avermelhados nas pontas dos blocos.....	39
Figura 60: Escorrimento em pendente do teto.....	39
Figura 61: Coralóide centimétrico vermelho a esbranquiçado.....	39
Figura 62: Parede de fundo com canálculos e o contato indicando as camadas de canga clasto suportada de granulometria diferenciada.	39
Figura 63: Vista para entrada da fenda que leva à cavidade.	40
Figura 64: Coralóide milimétricos na parede.	40
Figura 65: Alvéolos formados na entrada da cavidade.....	40
Figura 66: Morfologia da cavidade avistada para sua saída.	40
Figura 67: Matações na entrada da cavidade preservado a foliação do itabirito.....	41
Figura 68: Crosta branca nas paredes e teto com gotejamento e raízes.....	41
Figura 69: Teto interno baixo com intensa presença de acúmulo de blocos.	41
Figura 70: Detalhe do fundo da cavidade com sedimentação fina e serrapilheira.....	41
Figura 71: Vista para entrada e piso da cavidade com muitos blocos de granulometria variada. ..	42
Figura 72: Morfologia e piso para o fundo da cavidade. Notar as crostas escuras formadas por depósitos de guano.	42
Figura 73: Detalhe de contato do itabirito com a canga detrítica (superior). Notar as linhas brancas de dissolução da sílica no itabirito.	42
Figura 74: Detalhe de porção da parede com formação de crosta de óxido-hidróxido com presença de umidade por condensação.....	42
Figura 75: Vista de parede tomada por crosta de óxido-hidróxido com presença de alvéolos.....	42
Figura 76: Parede de fundo com conduto com presença de pequenos pilares.....	42
Figura 77: Detalhe de pilar no interior da cavidade.....	43

Figura 78: Vista de dentro pra fora da entrada da cavidade com lixo próximo à estrada.....	43
Figura 79: Detalhe de crosta rosa encontrada.....	43
Figura 80: Conjunto de alvéolos condicionados pela foliação e dobramento da formação ferrífera.	43
Figura 81: Vista para entrada da cavidade.....	44
Figura 82: Litologia de canga detrítica com presença de alvéolos no fundo.....	44
Figura 83: Crosta branca existente no teto.....	45
Figura 84: Parede da cavidade crostas óxido hidróxido e branca e piso onde predominam depósitos de seixos a calhaus.	45
Figura 85: Entrada da cavidade.....	45
Figura 86: Entrada da cavidade vista do seu interior com serrapilheira e blocos de canga.	45
Figura 87: Dobramento na parede e crostas de oxido-hidróxido no teto.	46
Figura 88: Entrada de conduto interno. Notar a formação ferrífera e crosta branca.	46
Figura 89: Entrada da cavidade e serapilheira ao chão.	46
Figura 90: Fratura paralela à entrada da cavidade e crosta branca.....	46
Figura 91: Interior e piso da cavidade com predomínio de depósito de seixos.	47
Figura 92: Detalhe de pilar da cavidade existente próximo ao canal ligado à clarabóia.....	47
Figura 93: Morfologia e pilares próximos à entrada da cavidade.....	47
Figura 94: Resíduo humano na entrada da cavidade.....	47
Figura 95: Alvéolos acompanhando a foliação da formação ferrífera e crostas brancas na parede da cavidade.	48
Figura 96: Fratura no teto de passagem entre os salões da cavidade.....	48
Figura 97: Vista da entrada da caverna.....	49
Figura 98: Interior da cavidade apresenta crosta branca.	49
Figura 99: Vista da canga detrítica com presença de crosta branca e coralóides.	49
Figura 100: Detalhe de coralóide.	49
Figura 101: Vista da entrada baixa e pequena da cavidade.....	50
Figura 102: Interior da cavidade com teto baixo e piso composto de sedimentos finos.	50
Figura 103: Morfologia da cavidade com teto baixo, pendentes de canga no teto e elevados do piso.....	50
Figura 104: Piso com guano e depósito de seixos finos e alvéolos nas paredes de fundo.....	50
Figura 105: Detalhe da canga detrítica no teto formando pendente até próximo ao piso.....	51

Figura 106: Vista do interior da cavidade com sequência de blocos no piso e soltando.	51
Figura 107: Vista da entrada da cavidade em abatimento do teto (claraboia).	52
Figura 108: Detalhe de coraloide e crosta na parede.	52
Figura 109: Vista do interior da cavidade com o teto baixo.	52
Figura 110: Detalhe da canga detrítica.	52
Figura 111: Detalhe da entrada da cavidade.	53
Figura 112: Crosta de óxido-hidróxido na parede.....	53
Figura 113: Variação dos tipos de canga entre detrítica e estruturada.....	54
Figura 114: Interior da cavidade com os dobramentos condicionando a forma dos salões e condutos.....	54
Figura 115: Detalhe de pequena “panela” evoluída pelo gotejamento em poça.....	54
Figura 116: Feição do tipo “boxwork” em teto.....	54
Figura 117: Detalhe de goethita botrioidal maciça aflorante.	54
Figura 118: Detalhe de hematita iridescente aflorante.	54
Figura 119: Morfologia do salão da cavidade	55
Figura 120: Pilares e alvéolos no teto.	55
Figura 121: Alvéolo com crosta branca nas bordas	55
Figura 122: Contato da canga (superior) com o itabirito (inferior) formando pequeno patamar ao longo da parede da cavidade.	55
Figura 123: Entrada da cavidade onde se nota o contato entre o itabirito e a canga detrítica (superior) formando um patamar.	56
Figura 124: Detalhe do salão interno com formação de crosta branca em canga detrítica.....	56
Figura 125: Detalhe de fase de intermediária do intemperismo do itabirito a canga estruturada.	57
Figura 126: Detalhe do itabirito com dobramento.	57
Figura 127: Entrada reduzida da cavidade.	57
Figura 128: Teto próximo à entrada da cavidade com presença de fratura (avermelhada).	57
Figura 129: Interior e piso da cavidade com processo de intenso de abatimentos formando pendentes.	58
Figura 130: Detalhe do teto da cavidade em canga detrítica e crosta branca.	58
Figura 131: Morfologia triangular do salão principal condicionada pelo mergulho da foliação do itabirito. Notar a formação de pendentes no teto.....	59
Figura 132: Detalhe da pequena entrada da cavidade.	59

Figura 133: Detalhe da canga detrítica com clastos centimétricos.	59
Figura 134: Parede interna moldada em itabirito conforme suas dobras. Cone de sedimento terrígeno no piso.	59
Figura 135: Piso relativamente plano, com sedimentos seixos finos e teto baixo com formação de pendentes.	60
Figura 136: Interior da cavidade apresenta crosta branca.	60
Figura 137: Detalhe da canga detrítica de clastos pequenos com canalículos.	60
Figura 138: Detalhe de gotejamento ativo do teto da cavidade.	60
Figura 139: Entrada da cavidade.	61
Figura 140: Detalhe do interior da cavidade com teto baixo e piso composto por depósitos de seixos e calhaus.	61
Figura 141: Detalhe de pilar, pendente e alvéolos na parede de fundo da cavidade.	61
Figura 142: Detalhe da cortina serrilhada na parede da cavidade.	61
Figura 143: Vista para entrada da cavidade com bloco de matacão abatido.	62
Figura 144: Feição de fundo da cavidade com marcas de umidade (percolação) e de canal de escoamento temporário.	62
Figura 145: Grande bloco de canga abatido com clastos variados e crostas de guano.	62
Figura 146: Pequenos pilares associados a canalículos e alvéolos.	62
Figura 147: Patamar formado na parede com pilar próximo.	62
Figura 148: Pilar com pouca sustentação e pendente próximo.	62
Figura 149: Vista do abrigo formado pelo depósito de tálus na BRU_015 sem projeção horizontal necessária.	64
Figura 150: Vista de outro ângulo com vários blocos acumulados sem ao menos formar zona disfótica.	64
Figura 151: Vista de uma entrada da galeria para outra, onde se observa o desenvolvimento retilíneo da galeria escavada, com marcas de picaretadas nas paredes.	64
Figura 152: Área próxima à galeria onde há acúmulo de blocos possivelmente retirados durante a abertura da mesma.	64
Figura 153: Distribuição das cavernas de acordo com sua posição topográfica.	65
Figura 154: Distribuição das cavernas de acordo com intervalos de altitudes de 50m.	66
Figura 155: Distribuição das cavernas de acordo com a unidade de relevo local.	66
Figura 156: Distribuição das cavernas de acordo com posição da escarpa na vertente.	67
Figura 157: Distribuição das cavernas de acordo com a continuidade lateral da escarpa.	67

Figura 158: Frequência das cavidades estudadas em função do aspecto Litológico.....	68
Figura 159: Frequência das cavidades estudadas em função das estruturas presentes.	68
Figura 160: Direção principal de desenvolvimento das cavidades.	69
Figura 161: Direção dos planos de bandamento medidos conforme seu mergulho nas cavidades.	69
Figura 162: Direção de desenvolvimento das fraturas medidas em campo nas cavidades.	69
Figura 163: Direção de desenvolvimento das juntas de alívio medidas nas cavidades.....	69
Figura 164: Valores médios de área, desnível, projeção horizontal (PH) e volume para as cavidades em rochas ferríferas da área de estudo, em relação aos das escalas local e regional.	70
Figura 165: Valores máximos de área, desnível, projeção horizontal (PH) e volume para a cavidade em rochas ferríferas da área de estudo em relação ao das escalas local e regional.....	71
Figura 166: Valores médios de área, desnível, projeção horizontal (PH) e volume para as cavidades em quartzito da área de estudo, em relação ao das escalas local e regional.....	73
Figura 167: Resultados máximos de área, desnível, projeção horizontal (PH) e volume para a cavidade em quartzito da área de estudo e para as escalas locais e regionais.	74
Figura 168: Repartição estatística em função de processos hidrológicos observados.....	75
Figura 169: Repartição estatística das cavidades em função do padrão planimétrico.....	76
Figura 170: Percentual de cavidades em função de feições morfológicas observadas.	76
Figura 171: Percentual de cavidades em função da inclinação do piso.....	77
Figura 172: Repartição estatística da recorrência de depósitos clásticos e orgânicos nas cavidades estudadas.	77
Figura 173: Expressão estatística da recorrência de depósitos químicos nas cavernas estudadas.	78

Lista de tabelas

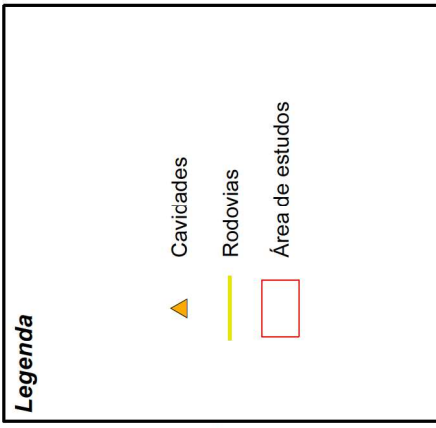
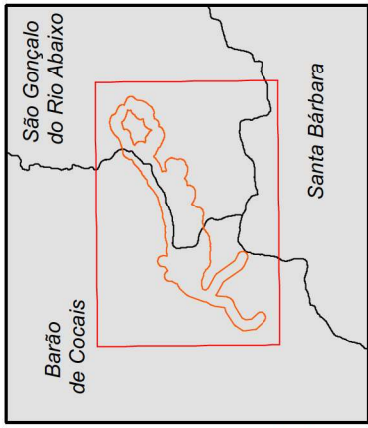
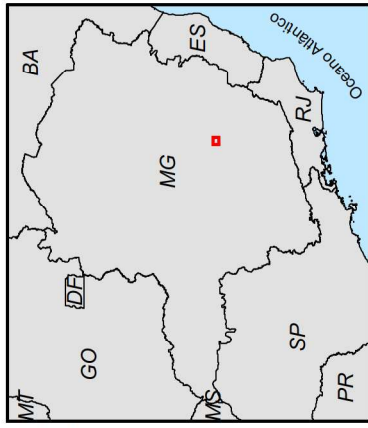
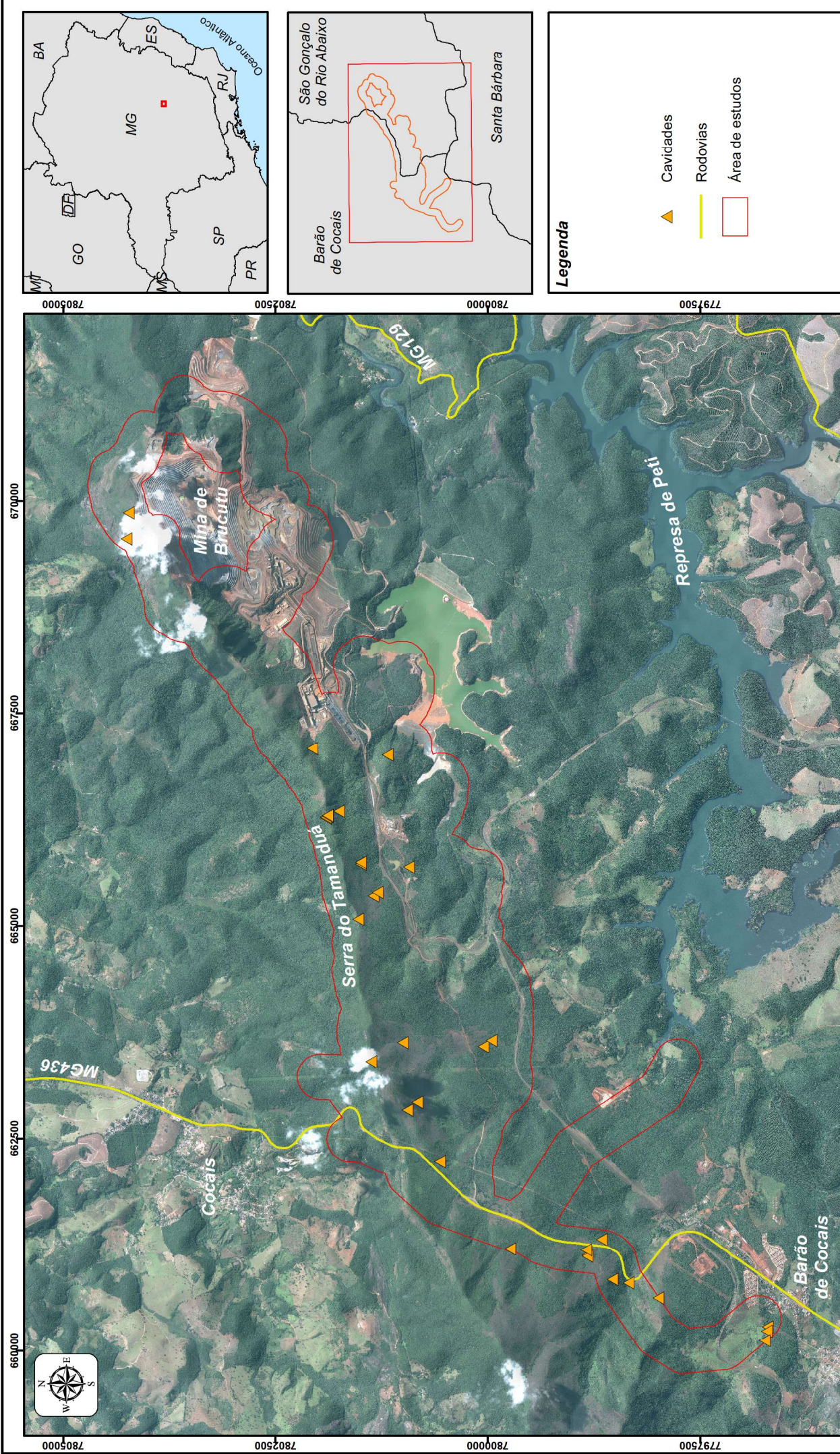
Tabela 1: Modelo de tabela para os cálculos espeleométricos de relevância definidos pela IN - 2 (20/08/2009).	20
Tabela 2: Cavidades analisadas no diagnóstico	22
Tabela 3: Fatores de desclassificação de feições anteriormente consideradas cavidades	64
Tabela 4: Limites das classes de importância local e regional e os respectivos resultados pelos parâmetros espeleométricos das cavidades em rochas ferríferas analisadas.....	71
Tabela 5: Limites das classes de importância local e regional e os respectivos resultados pelos parâmetros espeleométricos das cavidades em quartzito analisadas.	74

1- INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados obtidos no estudo de diagnóstico espeleológico em área próxima à Mina do Brucutu, realizado pela empresa Ativo Ambiental LTDA no período de junho de 2012 a março de 2013.

O relatório apresenta o diagnóstico realizado em 35 pontos de cavidades de interesse na região próxima à mina existente de Brucutu, pertencente à Vale S.A., sob o foco geoespeleológico. A área de estudos está localizada na porção nordeste do Quadrilátero Ferrífero-MG (Figura 1), municípios de Barão de Cocais e São Gonçalo do Rio Abaixo, MG, cujo acesso principal a partir da capital mineira é feito através da rodovia BR-381 e MG 436 e vias de acesso à mina de Brucutu.

Os pontos de cavidades foram identificados em prospecções de campo realizados pela Lume, Brandt, Carste, Vale e pela Supram. O diagnóstico visa subsidiar a posterior análise de relevância destas cavidades para gestão e licenciamento ambiental com base nos atributos estabelecidos pela Instrução Normativa N° - 2 (20/08/2009).



Projeto: RELEVÂNCIA BRUCUTU

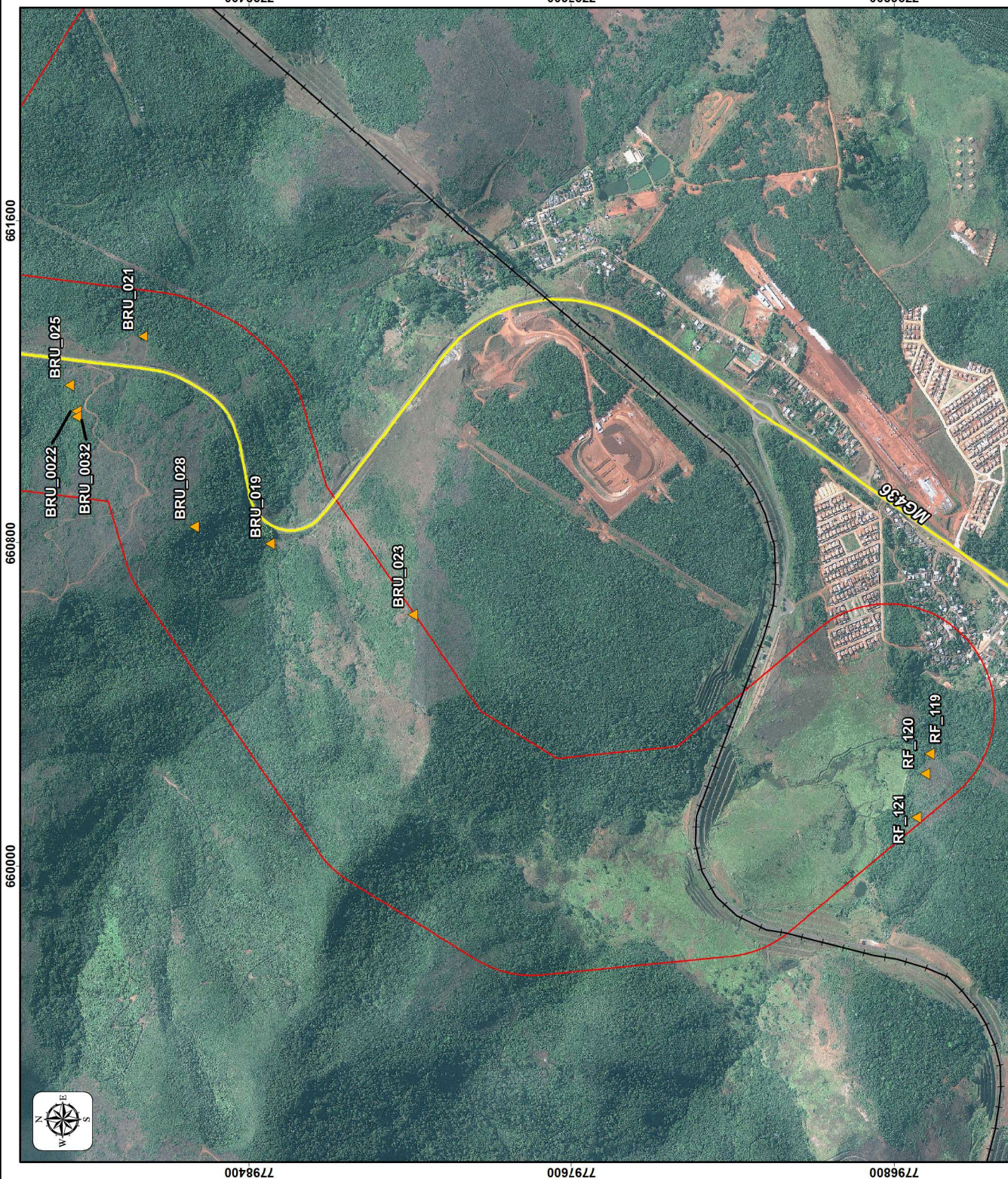
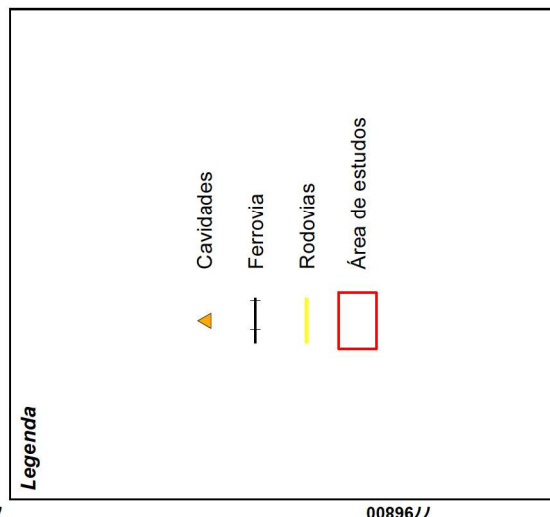
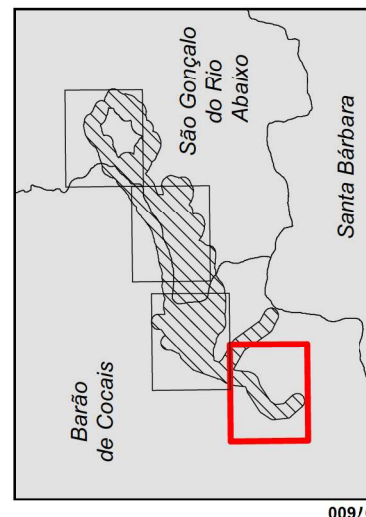
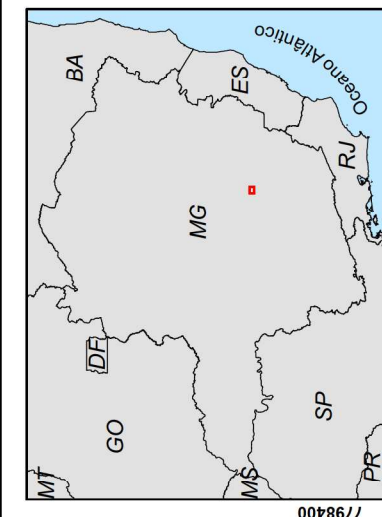
Título: LOCALIZAÇÃO

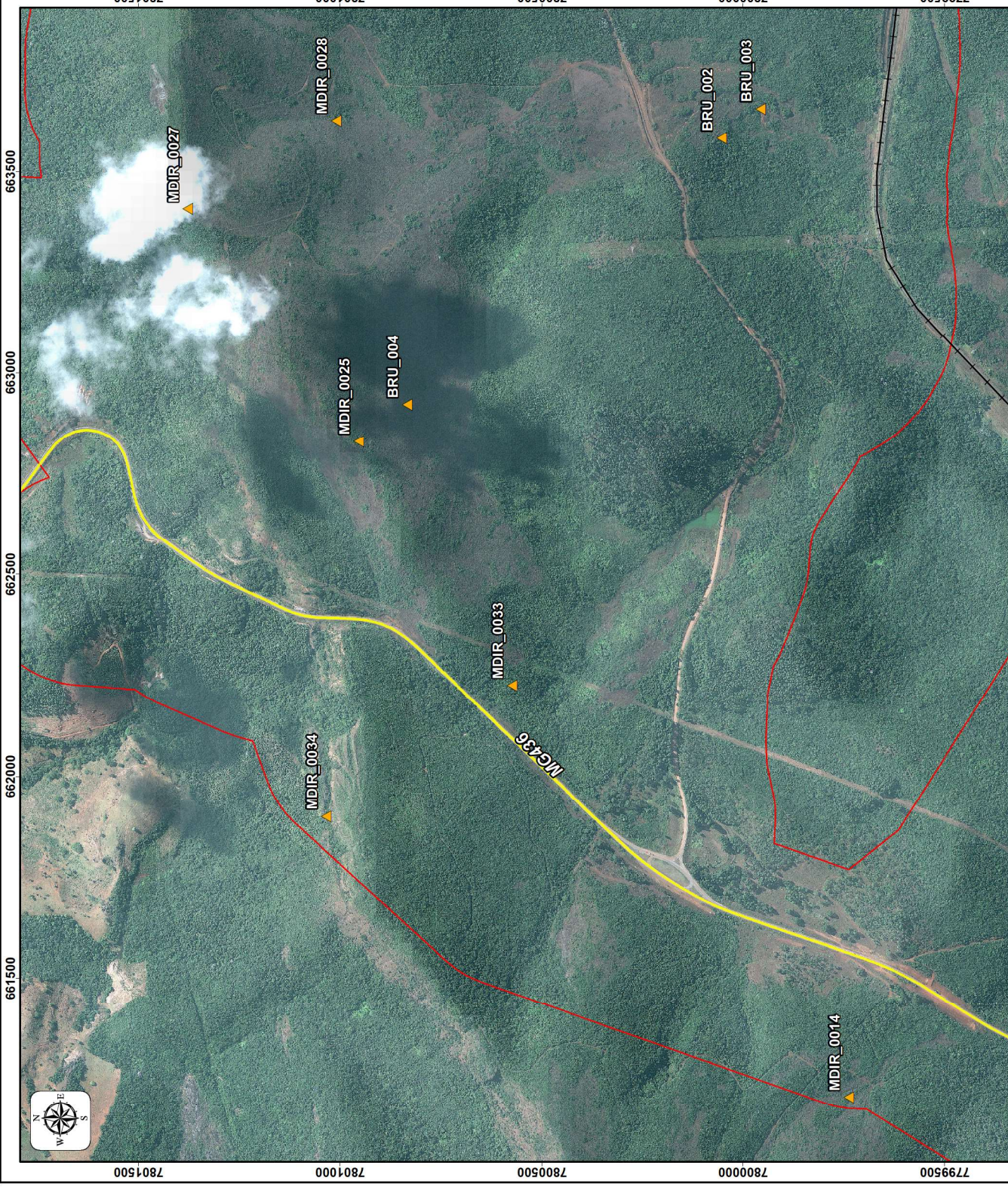
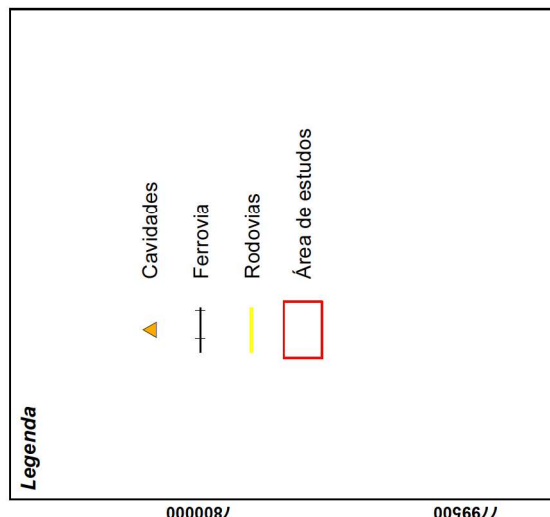
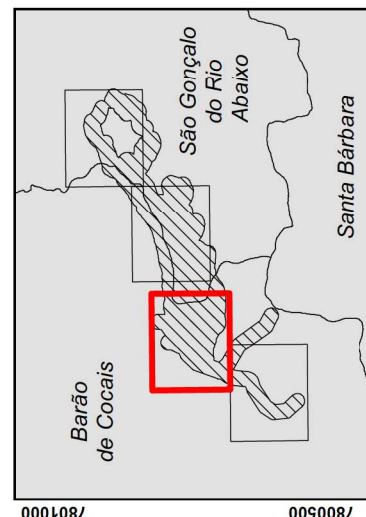
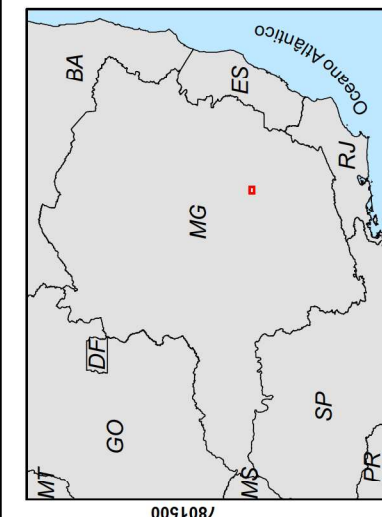
Elaboração: Sérgio L. Sales | **Data:** 06/03/2014 | **Formato:** A4 | **Arquivo:** DIPF_BRU_diagrev_isoA4_fig01_localizacao_01_F


Base Cartográfica (Fonte):
 Sedes municipais e limites estaduais (IBGE, 2007);
 Rodovias (DER, 2007);
 Cavidades (Ativo Ambiental, 2013).

Projeção: ativoambiental

Projeto Universal Transverso de Mercator
 Datum Horizontal: SAD69 - Fuso 23 Sul, Quadrante K
 Origem da Quilometragem: Equador e Meridiano 51°W Greenwich
 acrescidas das constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.

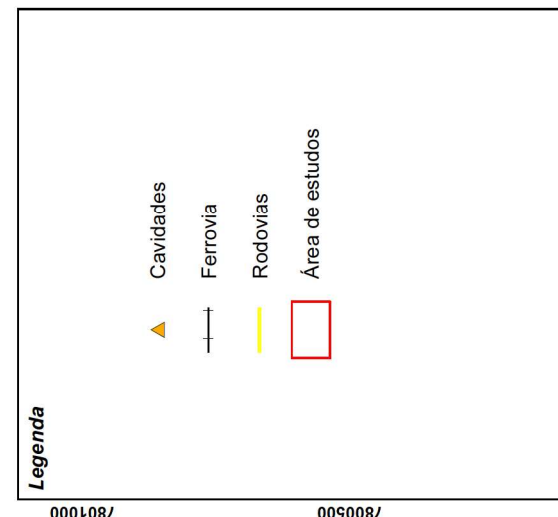
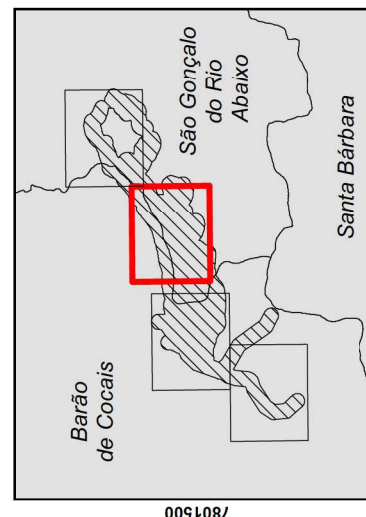
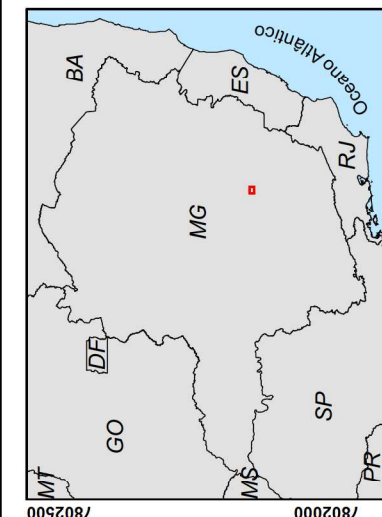





Projeto: PROJETO RELEVÂNCIA BRUCUTU
Título: CAVIDADES - FIG. 02
 Elaboração: Sérgio L. Sales | Data: 06/03/2014 | Formato: A3 | Arquivo: brucutud_mef_iss03_fig01_cavidades_r00_P

Base Cartográfica (Fonte): limites municipais e estaduais (IBGE, 2007); Rodovias (DER, 2006); Cavidades (Ativo Ambiental, 2013).
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SAD/69 - Fuso 23 k
 Origem da Quilometragem: Equador e Meridiano 51°W Greenwich acrescidas das constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.

1:10.000
 0 110 220 330 m



Projeto: PROJETO RELEVÂNCIA BRUCUTU

atv ambiental

Titulo: CAVIDADES - FIG. 03

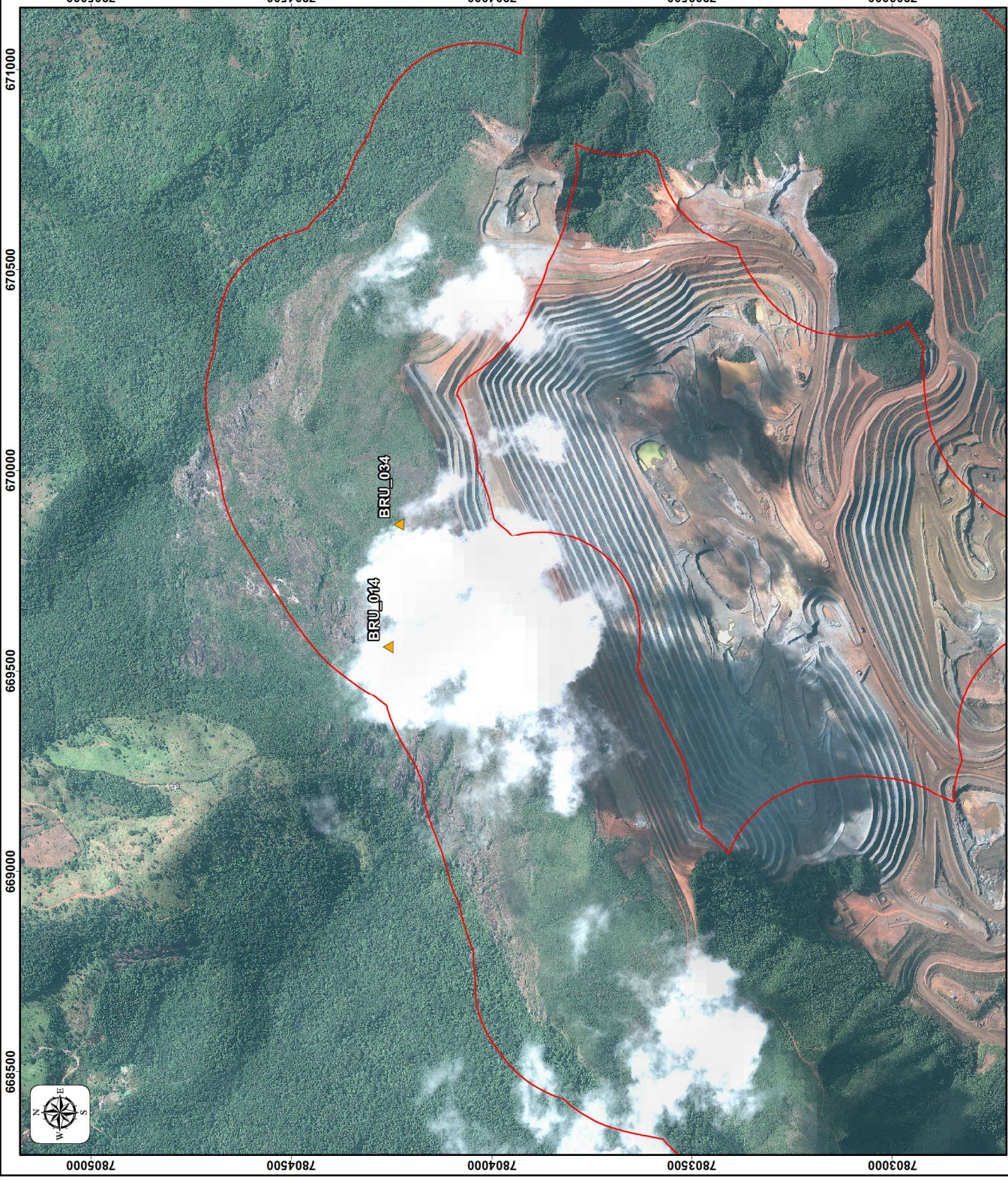
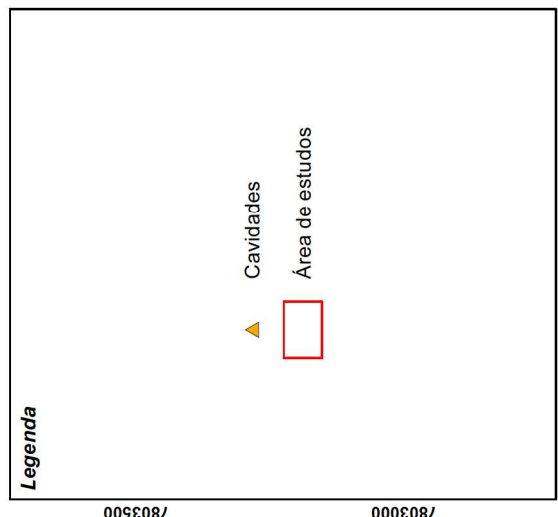
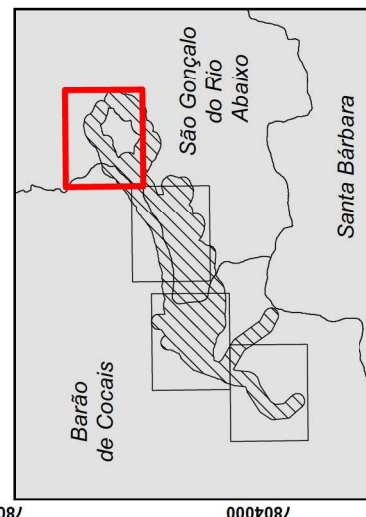
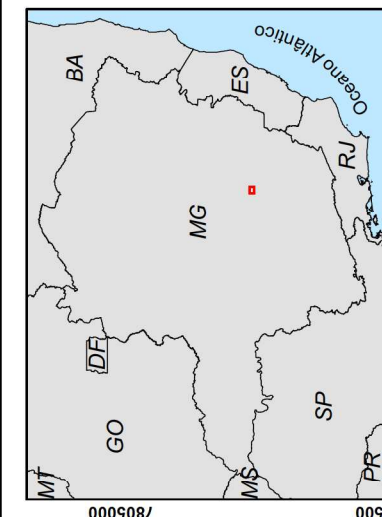
Elaboração: Sérgio L. Sales | **Data: 06/03/2014** | **Formato: A3** | **Arquivo: brucut_mef_iss03_fig01_cavidades_r00_p**

Projção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SAD/69 - Fuso 23 k
 Origem da Quilometragem: Equador e Meridiano 51°W Greenwich acrescidas das constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.

Base Cartográfica (Fonte): limites municipais e estaduais (IBGE, 2007); Rodovias (DER, 2006); Cavidades (Ativo Ambiental, 2013).

1:10.000

0 110 220 330 m



Projeto: **PROJETO RELEVÂNCIA BRUCUTU**

Elaboração: Sérgio L. Sales | Data: 06/03/2014 | Formato: A4 | Arquivo: brn_quad_mef_iscs3_fig01_cavidades_r00_P

Titulo: **CAVIDADES - FIG. 04**

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum Horizontal: SAD/69 - Fuso 23 k
Origem da Quilometragem: Equador e Meridiano 51°W Greenwich acrescidas das constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.

Base Cartográfica (Fonte): limites municipais e estaduais (IBGE, 2007); Rodovias (DER, 2006); Cavidades (Ativo Ambiental, 2013).

1:10.000

0 110 220 330 m

2- ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E INSERÇÃO DAS CAVIDADES ESTUDADAS NO CONTEXTO REGIONAL

2.1 - Clima

No Quadrilátero Ferrífero predomina o clima do tipo Cwa, de acordo com Köppen, caracterizado como temperado-quente, com duas estações bem definidas: verão chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual situa-se em torno de 20º C e a precipitação média varia entre 1300 mm, na porção leste a 2100 mm, na porção sul, em Ouro Preto (HERZ, 1978).

No contexto regional, o clima é influenciado pelas expressivas variações de altitude favorecendo o surgimento de microclimas locais, que apresentam condições de temperatura e umidade diferentes daquelas encontradas em áreas relativamente próximas. Nas áreas mais elevadas é comum a existência de forte radiação solar, constante incidência de ventos, elevada amplitude térmica diária e tempestades de raios (DUTRA *et al.*, 2002).

O clima na região de inserção da Mina do Brucutu, de acordo com o sistema Köppen, é do tipo Cwb caracterizado como tropical de altitude com verões frescos e estações secas bem definidas (ANTUNES, 1986).

2.2 – Solos e Vegetação

Os limites do Quadrilátero Ferrífero são quase sempre marcados por bordas íngremes, relacionadas a serras alinhadas que assumem um arranjo aproximadamente quadrangular, grande parte delas sustentadas por rochas ferríferas.

Sua paisagem altaneira encontra-se posicionada na transição entre os domínios das coberturas vegetais da Floresta Atlântica e do Cerrado, cujos elementos intercalam-se na paisagem em padrão intrincado. Deste modo, submetidas a condições climáticas marcadas por temperaturas amenas e índices pluviométricos moderados a altos, bem como às influências da posição na paisagem e das características diferenciais dos solos, formações florestais e vegetação campestre ou áreas de cerrado convivem lado a lado. (Varajão *et al.*, 2009)

Um elemento marcante das serras que compõem o relevo regional e que lhes confere certa originalidade, talvez seja o extenso capeamento de laterita ferruginosa (ou canga) – formação superficial oriunda seja da concentração relativa de hidróxidos de ferro por processos de iluviação

seja pela cimentação ferruginosa de fragmentos de rocha - que recobre grande parte dos topos arredondados com suave ondulação, e que, às vezes, estende-se pelas encostas, inclusive em porções de declives acentuados.

Disseminados sobre as áreas de canga, cupinzeiros construídos com materiais terrosos vermelhos denunciam a ocorrência desses materiais pedológicos em condições subjacentes. Em superfície, pequenos bosques de vegetação arbustiva são sustentados por estreitas manchas de solos delgados, cujas análises laboratoriais destacam o alto teor de matéria orgânica no horizonte superficial.

A vegetação de campo rupestre estabelecida sobre substrato ferruginoso, além das adaptações fisiológicas, morfológicas e reprodutivas típicas de afloramentos rochosos lato sensu, ainda apresenta adaptações que lhe permitem desenvolver-se sobre um substrato rico em metais pesados (Porto & Silva, 1989; Teixeira & Lemos Filho, 1998).

Nas áreas cobertas por floresta, há maior variabilidade das características e dos tipos de solos. Esses tendem a apresentar maiores espessura e frequência de fragmentos de rocha em diferentes estágios de intemperização em meio ao material terroso. Deve-se ressaltar que a característica mais destacada dos solos sob mata, em relação àqueles sob campo cerrado e campo, refere-se às maiores espessura e teor de matéria orgânica.

No caso da área de estudo, a vegetação florestal restringe-se aos fundos de vale, sobre solos em geral litólicos, delgados, nos quais se destaca o alto teor de matéria orgânica.

2.3 – Contexto geológico-geomorfológico

O relevo do Quadrilátero Ferrífero apresenta-se como um conjunto de fragmentos planálticos elevados sustentados por formações ferríferas e quartzitos, circundando depressões ocupadas por morros e colinas moldados em complexos ígneo-metamórficos, onde as altitudes, comumente, são inferiores a 900 metros. Os fragmentos planálticos são representados por platôs e linhas de cristas que ultrapassam, usualmente, a cota 1200 m e, excepcionalmente, a cota 2000 m como na serra do Caraça, na borda leste. As altitudes mais baixas se situam a noroeste de Ouro Preto, nos arredores do distrito de Amarantina, e no município de Sabará, onde as cotas abaixam até 600 metros.

A própria denominação de Quadrilátero Ferrífero teve sua origem na configuração de uma estrutura muito complexa de cadeia dobrada, cujas camadas de quartzitos e itabiritos desenharam um sistema quadrado de cristas, cuja morfogênese realçou em posição topográfica dominante com relação às depressões alveolares, abertas nos granitos, gnaisses e xistos, entre outras rochas.

O arcabouço geológico que abrigou esta construção geomorfológica se assenta sobre uma estratigrafia composta por quatro grandes conjuntos litológicos: embasamento gnáissico-migmatítico arqueano; seqüência metavulcanossedimentar de idade também arqueana do Supergrupo Rio das Velhas e supracrustais metassedimentares paleoproterozóicas dos supergrupos Minas e Grupo Itacolomi (Figura 2).

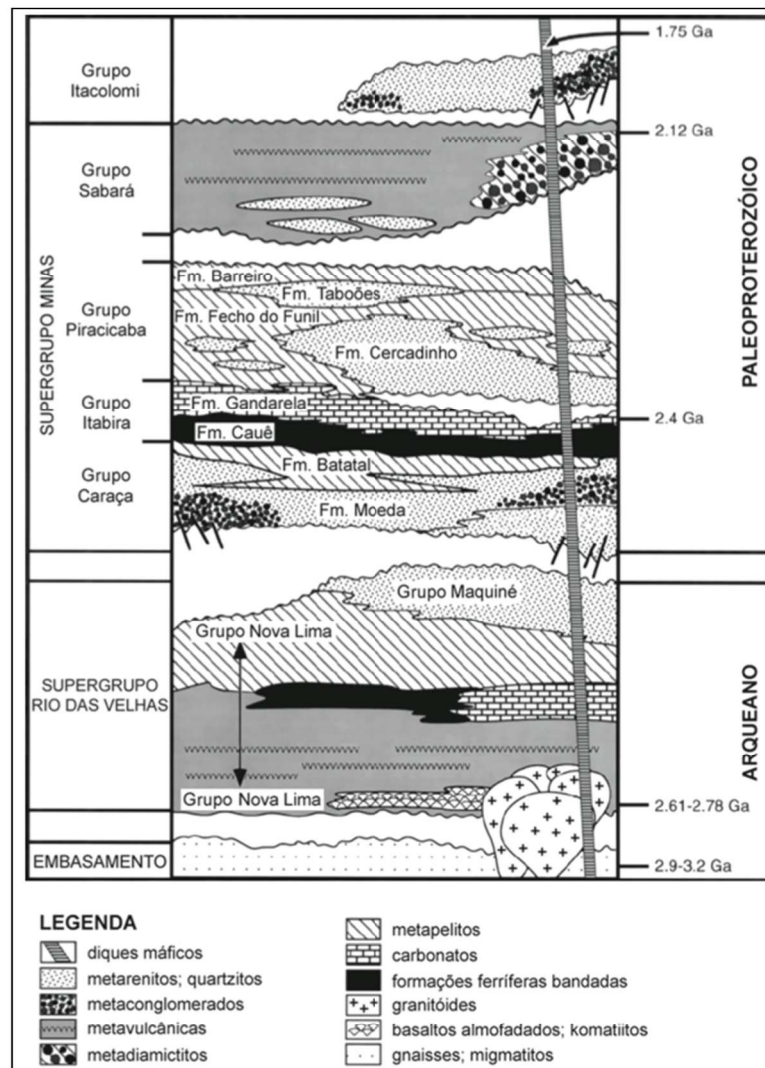


Figura 2: Coluna estratigráfica regional. Fonte: Alkmim e Marshak (1998).

A evolução geomorfológica cenozóica processada em contexto bioclimático predominantemente tropical úmido deixou como importante herança uma grande variedade de coberturas lateríticas. Em meio a essas, às de composição aluminosa (bauxitas) já foram largamente exploradas. As de composição ferruginosa (cangas) apresentam fácies diversificadas, em função de sua gênese – predominantemente pedogênica, morfogênica ou mista – e de sua relação com a topografia e os materiais litológicos de origem.

Os processos de intemperismo atuaram sobre as litologias carbonáticas (dolomitos), os quartzitos, as formações ferríferas e os pacotes mais espessos de lateritas ferruginosas no sentido de iniciar a abertura de cavidades, que foram, frequentemente, ampliadas por consecutivas instabilidades mecânicas. O ANEXO 1 apresenta mapa de geologia com a localização das cavidades.

Esta configuração geomorfológica apresenta forte controle lito-estrutural e influência morfoclimática secundária através das formações de coberturas detrítico-lateríticas terciárias. Os sucessivos ciclos erosivos atuantes na região desde o Proterozóico gerou sequência de formas sob o modelo de dissecação em megaestruturas dobradas formando anticlinais escavados e sinclinais alçados. A área de estudo, se encontra no limite nordeste do Sinclinal Gandarela (Figura 3), onde possui caráter de sinclinal invertido com gradual estrangulamento da dobra e as coberturas de canga possuem ampla distribuição sobre as litologias subjacentes, representadas pelo grupos Piracicaba, Itabira, Caraça e Nova Lima.

Geomorfologicamente, há a conformação imbricada dessas litologias amplamente recobertas em serra alongada de perfil triangular que, de acordo com Silva (2007), corresponde à Serra do Tamanduá, que se destaca pelas suas importantes jazidas de minério de ferro. Desta maneira, o autor salienta que a Serra do Tamanduá possui uma grande importância econômica com uma superfície topograficamente elevada, com altitudes que alcançam até 1100 metros, sustentada basicamente por rochas ricas em minério de ferro, fato que favoreceu à instalação de uma das maiores minas da Vale, a mina de Brucutu.

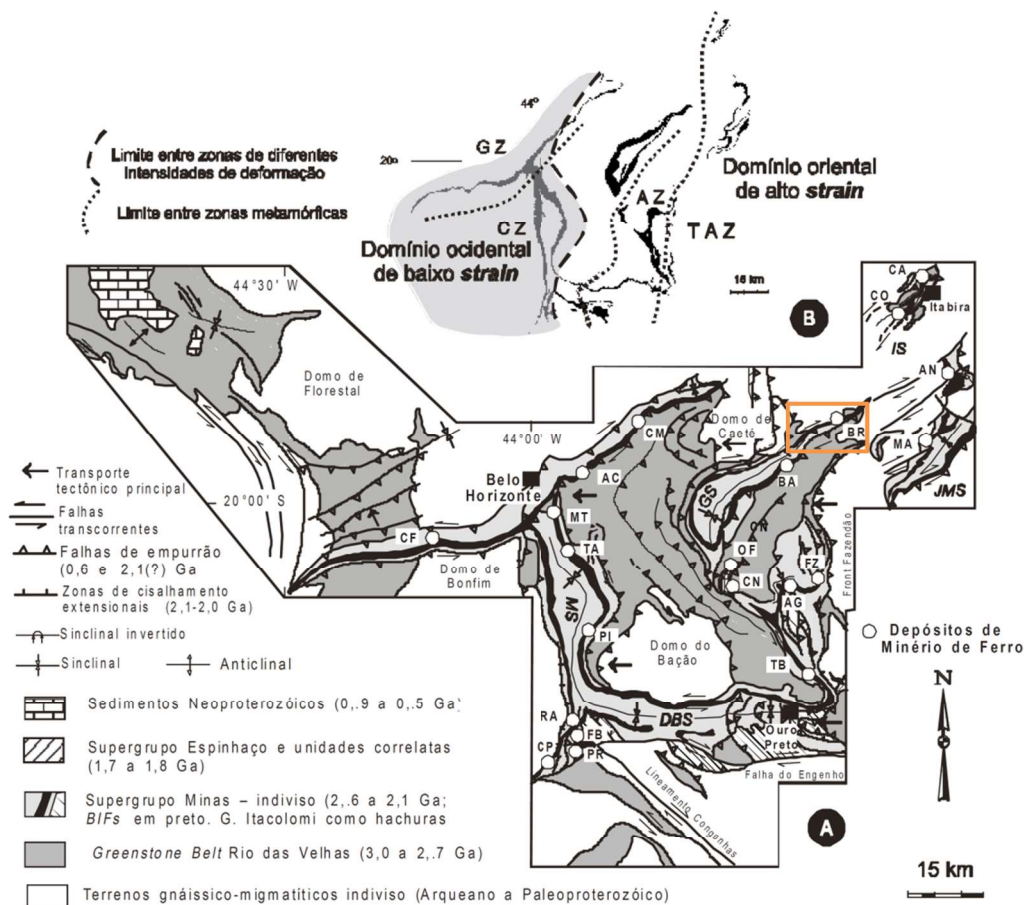


Figura 3: Localização aproximada da área de estudos, de laranja, em relação ao mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: retirado de Rosière e Chemale Jr. (2000).

2.4 – Espeleologia regional

Desde a IN-2 (2009), foi necessário o estabelecimento de recortes espaciais delimitando unidades espeleológicas regionais e locais. O ICMBIO/CECAV considera o Quadrilátero Ferrífero como uma unidade regional (mapa no ANEXO 2), a partir da qual OLIVEIRA *et al.* (2011) definiram a unidade espeleológica Quadrilátero Ferrífero – Conceição (Figura 4), focando em ocorrência de rochas ferríferas, e associam a esta três formas de ocorrências de cavernas vinculadas a três grupos de

rochas: lateríticas, siliciclásticas e carbonáticas. As rochas lateríticas compreendem mais de 500 cavernas descritas em cangas, minério de ferro, itabiritos, hematita compacta e laterita. As rochas siliciclásticas compreendem principalmente quartzitos e conglomerados, onde aproximadamente uma centena de cavidades é conhecida. As rochas carbonáticas abrangem dolomitos e calcários, restritas ao QF, onde apenas poucas cavidades são conhecidas.

As coberturas recentes de canga e lateritas, além da Formação Cauê representam as principais unidades geológicas constituintes do primeiro grupo. No grupo das rochas siliciclásticas, OLIVEIRA *et al.* (2011) destacam a importância dos Grupos Caraça, Itacolomi, Maquiné e Conceição do Mato Dentro, enquanto que as Formações Gandarela e Fêcho do Funil são relevantes devido às suas contribuições de rochas carbonáticas.

Das unidades geomorfológicas locais definidas por OLIVEIRA *et al.* (2011), a que se insere a área de estudo se encontra na denominada Serra do Gandarela, conforme a Figura 4 a seguir.

2.4.1- Cavidades em rochas ferríferas

Auler & Piló (2007) indicam que as cavernas de minério de ferro e canga do Quadrilátero Ferrífero são em geral de pequenas dimensões, poucas vezes superando 100 m de projeção horizontal. Inserem-se normalmente na base de pequenas escarpas rochosas (em geral de canga) perpendiculares ao maior declive de vertentes, estando localizadas tanto em alta quanto em média vertente, em geral associadas capões de mata em meio aos campos ferruginosos. As entradas são de pequenas dimensões, dando acesso a galerias mais amplas.

Os levantamentos espeleológicos realizados pela Vale, até o momento, indicam para o Quadrilátero Ferrífero 377 cavidades em rochas ferríferas. Apenas 5 cavidades ultrapassam os 100m de projeção horizontal, sendo a média regional de 22m.

UNIDADE ESPELEOLÓGICA QUADRILÁTERO FERRÍFERO - CONCEIÇÃO

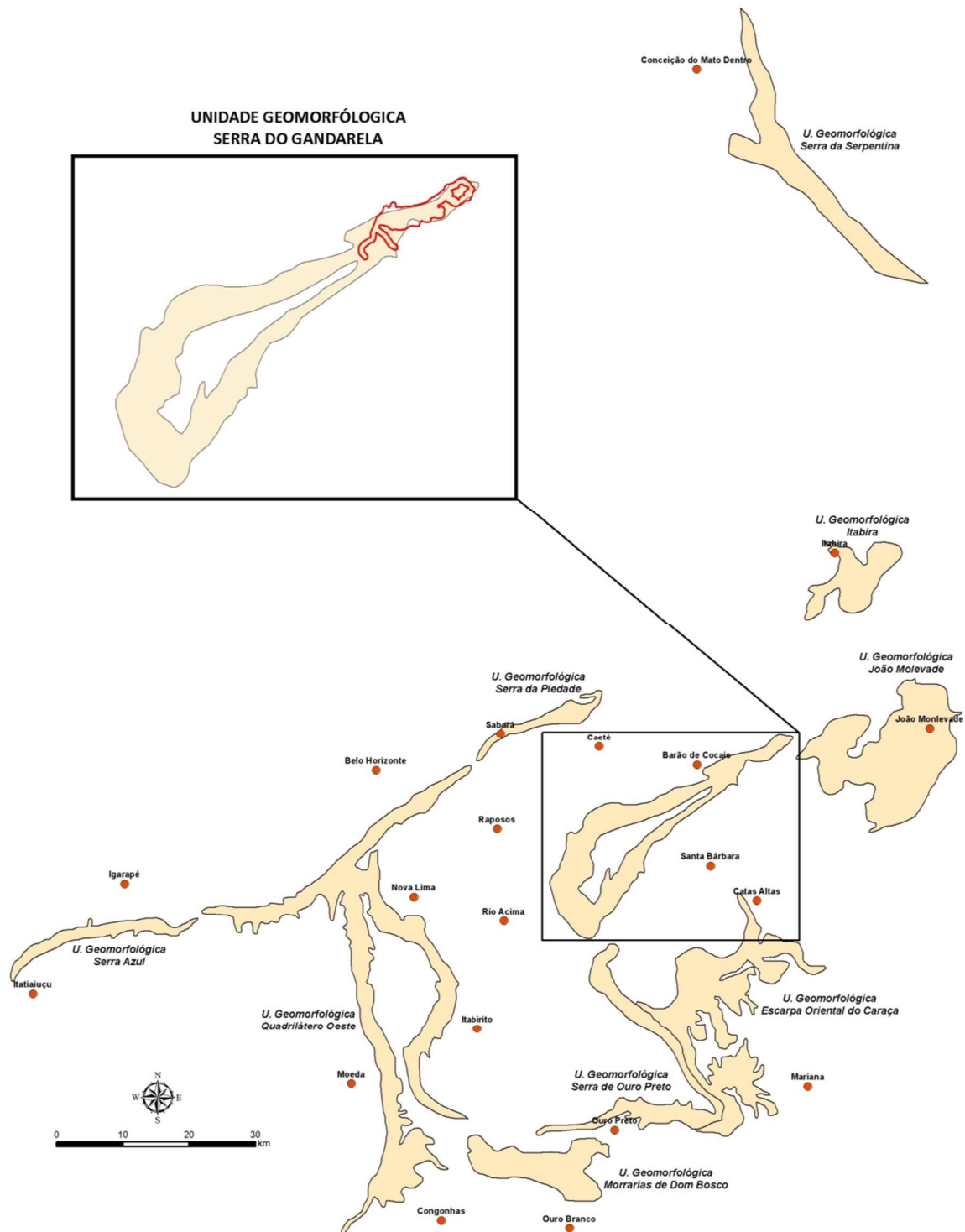


Figura 4: Localização da área de estudo em relação à unidade geomorfológica local (Serra do Gandarela) e à unidade espeleológica regional (Quadrilátero Ferrífero-Conceição).

2.4.2- Cavidades em rochas quartzíticas

Conforme Carste (2010), no Quadrilátero Ferrífero registram-se as seguintes cavidades quartzíticas na Serra do Caraça: Gruta do Centenário, com 3790 m de projeção horizontal (Dutra, 2002), Gruta da Bocaina (3200 m), Alaouf (1200 m), Avião (350 m), Bocaina Inferior (200 m) e Por do sol (60 m). Estas cavidades foram mapeadas e estudadas pelo Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas.

Na região de Ouro Preto há algumas ocorrências no Parque Estadual do Itacolomi e no distrito de Cláudio Manoel: cavernas Kiva e Cobrinha com 150 e 70 m de projeção horizontal respectivamente (Pereira, 1997), Gruta Matinha, Gruta da Torre e a Gruta Bumbaça a oeste de Mariana (Wiegand et al, 2004).

Nas proximidades de Congonhas e Jeceaba, os estudos de Spelayon (2012) na Serra da Moeda (Unidade Geomorfológica Quadrilátero Oeste) encontraram cerca de 19 cavidades em quartzito. A de maior projeção horizontal encontrada foi de 214,15m, sendo a cavidade de projeção mínima encontrada de 5,22m. Praticamente, metade delas se desenvolve em depósitos de tálus e outra metade na base de grandes afloramentos, prevalecendo a morfologia retilínea. A média de projeção horizontal para estas cavidades foi de 27m.

Na Serra do Gandarela, Carste (2010) identificou 9 cavidades em quartzito, sendo a maior projeção horizontal de 84,50m e a menor de 6,30m. A média obtida foi de 24,54m, sendo a morfologia dominante é a retilínea em escarpas perpendiculares à maior inclinação da vertente.

3- METODOLOGIA

O Diagnóstico Geoespeleológico envolveu os seguintes passos e focos de análise, preconizados pela IN - 2 (20/08/2009), para cada cavidade:

1. Levantamento topográfico das cavernas;
2. Análise da inserção na paisagem;
3. Análise litológica e das estruturas;
4. Análise morfológica e espeleométrica;
5. Hidrologia;
6. Depósitos clásticos, orgânicos e químicos;

Após a análise individual, integrou-se de modo a se montar o panorama geral das cavidades para a área de estudo.

3.1- Levantamento topográfico das cavernas

Ao longo do processo, as feições de cavidades anteriormente prospectadas foram topografadas por duas empresas: a Brandt, com 12 feições topografadas, e a Ativo Ambiental, com 21 feições topografadas. A seguir é apresentada a metodologia de cada uma.

Para a classificação de cavidade natural foi avaliada o limite de corte de no mínimo 5m de projeção horizontal a partir do fechamento das paredes da boca da feição em análise, normalmente reconhecida pela comunidade técnico-científica para cavidades em rochas não-carbonáticas (Instituto do Carste, 2012). Caso a projeção horizontal seja inferior a 5m, a feição era cadastrada e não estudada.

3.1.1- Metodologia Brandt

A Topografia de cavidades naturais subterrâneas consiste na representação cartográfica da morfologia e feições específicas internas desses ambientes. Para tal, é necessário criar pontos (bases topográficas) interligados entre si, distribuídos por todas as extremidades internas da cavidade e também nas feições significativas em seu desenvolvimento, tais como fraturas, canalículos, patamares, clarabóias, espeleotemas, entre outras irregularidades nas paredes e demais detalhes. Esses pontos internos obrigatoriamente são conectados a um ponto externo à cavidade, onde se obtém via GPS a coordenada da cavidade e então georreferencia-se o desenvolvimento da mesma.

Para interligar os pontos da topografia utilizou-se: (i) trena a laser Leica Disto D3a para medir a distância de um ponto ao outro; (ii) bússola e clinômetro Suunto Tandem 360PC/360R Zona 3 (especializada para topografia de cavidades e balanceada para Zona Sul Equatorial) para medir a graduação da azimute em relação ao norte magnético e a graduação da inclinação em relação ao plano horizontal de um ponto ao outro; e (iii) uma planilha de anotação dos dados coletados.

Embasado nas medidas coletadas e devidamente anotadas na planilha foi elaborado “in loco” o croqui de campo, este representa o desenho da cavidade constando as bases topográficas, os contornos das galerias e salões, suas características geomorfológicas e feições significativas tais como estruturas geológicas, hidrologia, sedimentos clásticos e/ou químicos e orgânicos, além da localização de vestígios paleontológicos, artefatos arqueológicos, interferências antrópicas recentes, entre outros detalhes. Neste momento utilizou-se papel milimetrado, régua graduada e transferidor 360º a fim de compor um desenho em escala (1:100cm) e orientado em relação ao ponto externo (obtido a partir de GPS de navegação Garmin 60CSX).

O mapa da cavidade é a representação cartográfica interna da feição, tendo como elementos cartográficos praticamente os mesmos componentes utilizados nos mapas convencionais e acrescidos de simbologias específicas ao ambiente subterrâneo. Sua composição básica é a planta baixa, ou seja, a representação dos contornos existentes no encontro entre o piso e a parede. Perfis longitudinais (alinhados com o eixo principal de desenvolvimento da cavidade) e cortes transversais (perpendiculares ao eixo dos condutos) também são realizados e são de vital importância para a interpretação do espaço subterrâneo, sendo através destes que se pode visualizar a forma vertical dos salões e condutos.

Após a coleta dos dados de campo, já em gabinete, utilizando o software Compass 5.0 ,foram gerados arquivos vetoriais(.dxf) das medidas realizadas em campo (chamadas de linhas de trena) e que ao serem importados no software AutoCAD , sobrepostos aos croquis de campo, serviram de base para a digitalização dos mapas das cavidades.

Por fim, em relação acurácia e graduação da precisão dos mapas, adotando o método supracitado, atingiu-se grau 5D se submetido à graduação da British Cave Research Association (BCRA), um sistema de graduação publicado em 2002 e utilizado amplamente pela comunidade espeleológica internacional, ou grau 4-4-C se submetido ao sistema da Union Internationalof Speleology – UIS, versão aprimorada a partir da BCRA e adotada pela instituição desde agosto de 2010.

3.1.2- Metodologia Ativo Ambiental

Os ambientes subterrâneos mostram-se complexos aos olhos desacostumados da interpretação de padrões estruturais desassociados das paisagens externas. Dessa forma torna-se fundamental representá-los e o mapa é um dos registros que melhor define determinada caverna. Podemos considerar os croquis, juntamente com a descrição sumária, como itens indispensáveis ao registro básico de cada cavidade. Ele nos fornecerá elementos para a análise da sua gênese, de suas feições, e de suas tendências de desenvolvimento, bem como servirá de suporte para outras disciplinas a serem desenvolvidas dentro das cavidades, tais como a biologia, geoespeleologia, hidrologia, paleontologia.

O mapeamento de cavernas constitui a arte e técnicas oriundas de aprimoramentos práticos utilizados em campo, com a finalidade de representar de forma mais fiel e sintética possível à realidade observada no interior da cavidade, de modo a gerar um mapa que permita identificar e localizar as feições marcantes da cavidade como espeleotemas, desníveis, pisos e todas as suas particularidades.

Dentre as variadas técnicas de mapeamento existentes foi utilizada a topografia com uma linha orientada auxiliada de bússola e trena que passa por bases fixas, selecionadas de modo a facilitar a representação das feições morfológicas e particularidades de cada cavidade.

O grau de precisão do mapeamento pode variar de acordo com a precisão dos equipamentos utilizados, a forma de utilização dos equipamentos, a quantidade de pontos e medidas utilizadas para referenciar os objetivos.

Os levantamentos topográficos, realizados nesse projeto, utilizando instrumentos precisos, cumpriram todos os requisitos necessários para que se atingisse um grau de precisão 5D, de acordo com o BRCA ou UISv1 5 4 – BCF. (BRCA, 2002 e UIS, 2010).

A Bússola e Clinômetro Suunto, de acordo com seu manual, “are graduated in 1 / 1% increments and individually Calibrated” (Suunto, Guide. 2007) podendo assim atingir o grau citado acima neste texto. Com um auxílio de uma trena laser Bosh, conseguimos medias lineares com precisão numérica de três casas decimais.

Foram calculadas as distâncias reais durante a topografia utilizando a fórmula $DH = DI \times \cos \alpha$ (distância horizontal é igual à distância inclinada, multiplicado pelo cosseno do ângulo do desnível). Todas as distâncias plotadas durante a confecção da planta baixa utilizam-se dessas distâncias já corrigidas como outra forma para minimizar os erros no desenho. Durante a

execução dos desenhos das seções, foram representados os locais onde, tecnicamente, o ambiente cavernícola se mostrava mais relevante.

Para corrigir eventuais erros ocorridos durante o campo, os dados da topografia são inseridos em softwares como On Station e COMPASS, gerando de forma tridimensional o que chamamos de linha trena, permitindo comparar o croqui dando início a gradação do mapa com relação ao BRCA e UISv1.

A cartografia final realizada em software ArcGIS, tem plataforma georeferenciada. Nesse software são finalizados os itens da planta baixa como contorno de paredes, blocos, linha d'água, representações da área externa, projeção horizontal (método da descontinuidade) e o cálculo área total da cavidade.

As seções (cortes transversais e perfis longitudinais) foram anexadas contendo dados altimétricos de modo a permitir o cálculo do desnível, além da visualização do volume da cavidade, extensões dos pacotes rochosos. e uma correlação com o ambiente externo.

As altitudes das entradas das cavernas, assim como os grids de coordenadas UTM dos mapas, foram obtidos através do GPS 60 CSx.

3.2- Análise da inserção na paisagem

Neste tópico analisou-se o contexto de inserção da cavidade na geomorfologia local da área de estudo. São avaliados a posição da cavidade na vertente, a altitude, a localização geomorfológica e características da escarpa. Os dados são correlacionados de modo a se avaliar as possíveis influências e tendências gerais do processo espeleogenético na área de estudo.

3.3- Análise litológica e das estruturas

A análise litológica focou-se na identificação e caracterização dos diferentes litotipos e seu comportamento estrutural, já que conferem caminhos preferenciais para a percolação da água. Simultaneamente, a análise estrutural pelas juntas de alívio, falhas, fraturas e planos de bandamento é relevante para a análise do desenvolvimento cárstico entre os diferentes tipos de rocha. Foram retiradas medidas de direção e mergulho em campo através de bússolas tipo Brunton DQY-1. Os dados em escritório foram inseridos no software Stereonet para analisar a direção principal das estruturas medidas através de gráficos de roseta comparando com o comportamento geral das estruturas geológicas presentes na região, interpretadas através de mapas geológicos (Baltazar *et al.*, 2005).

3.4- Análise morfológica e espeleométrica

Esta análise visa à forma das cavidades e os parâmetros de projeção horizontal, volume, área e desnível de modo a se entender o processo de gênese e evolução do sistema endocárstico. Ao mesmo tempo, foram utilizadas a planta baixa e seções transversais e longitudinais dos condutos. Além deles, as feições de coraloides, pilares, alvéolos, entre outras, são levantadas para observar o estágio de carstificação da cavidade em estudo.

A análise espeleométrica foi realizada com base nas comparações em escalas regional e local conforme as premissas da IN - 2 (20/08/2009) definidas para uma província espeleológica regional e uma unidade geomorfológica local. As unidades foram selecionadas conforme a compartimentação de OLIVEIRA *et al.* (2011), sendo a província espeleológica definida como o “Quadrilátero Ferrífero-Conceição” e a unidade geomorfológica a “Serra do Gandarela”. Os dados de comparação em rochas ferríferas foram fornecidos pela Vale (2013) com dados de 377 cavidades com mapas topográficos em precisão 5D - BRCA. Os dados em rochas quartzíticas foram buscados em outros estudos de licenciamento, sendo utilizados os de Carste (2010) na Serra do Gandarela para a comparação local, com 9 cavidades, e os de Spelayon (2012) na Serra da Moeda na unidade Quadrilátero Oeste, com 19 cavidades, para a comparação regional. Os dados brutos destas fontes se encontram no ANEXO 4.

Inicialmente a análise foi realizada comparando as médias e máximas nas diferentes escalas: regional (“Quadrilátero Ferrífero-Conceição”), local (“Serra do Gandarela”) e na área de estudo. Esta comparação visou entender de que modo os valores espeleométricos se distribuem nas diferentes escalas e como é a grandeza das cavidades da área de estudo.

Já a comparação dos dados espeleométricos, de acordo com a IN - 2 (20/08/2009), nas escalas regional e local e pelo tipo de litologia das cavidades visa ao estabelecimento da importância de cada cavidade em seu contexto de inserção espacial. Esta classificação de importância define a cavidade em importância “Acentuada, Significativa ou Baixa” para cada escala e subsidia a definição do grau de relevância. Os limites de classe são definidos com base na média e desvio padrão do conjunto de cavidades inseridas nas diferentes unidades de escala.

As classes para Projeção Horizontal (PH), Volume e Área de Projeção Horizontal são: Alta ($X > \text{Média} + \text{Desvio Padrão}$), Média ($\text{Média} - \text{Desvio Padrão} > X < \text{Média} + \text{Desvio Padrão}$) e Baixa ($X < \text{Média} - \text{Desvio Padrão}$). As classes de Desnível são: Alta ($X > \text{Média}$) e Baixa ($X < \text{Média}$). O valor de corte para a classe de Dimensão Notável é reconhecida tecnicamente como 5 vezes o valor da média regional para Projeção Horizontal (PH), Volume e Área de Projeção Horizontal (Síntese do

Workshop Técnico-Científico de Espeleometria realizado pelo Instituto do Carste nos dias 23 e 24 de setembro de 2012, no auditório do IBAMA em Belo Horizonte, MG).

A Tabela 1 apresenta o modelo de cálculo para o estabelecimento dos valores limites das classes que avaliam a importância local e regional de cada cavidade.

Tabela 1: Modelo de tabela para os cálculos espeleométricos de relevância definidos pela IN - 2 (20/08/2009).

Cálculo Local – Tipo de litologia da cavidade					
	Área	PH	Volume	Desnível	Importância Local
Média (MED)				(Limite Baixo)	Baixa ou Significativa ou Acentuada.
Desvio Padrão (DP)					
MED + DP		(Limite Médio)		-	
MED – DP		(Limite Baixo)		-	
Cálculo Regional – Tipo de litologia da cavidade					
	Área	PH	Volume	Desnível	Importância Regional
Média (MED)				(Limite Baixo)	Baixa ou Significativa ou Acentuada ou Dimensão Notável.
Dimensão Notável		(5X a MED Regional)		-	
Desvio Padrão (DP)					
MED + DP (Limite Médio)		(Limite Médio)		-	
MED – DP (Limite Baixo)		(Limite Baixo)		-	

3.5- Hidrologia

O atributo de hidrologia pretende determinar a dinâmica hidrológica presente ou ausente em cada cavidade e sua influência temporária ou perene no sistema subterrâneo. Ela envolve a identificação ativa de gotejamento, condensação, percolação, canais de escoamento ou feições residuais das mesmas de ação temporária das águas.

3.6- Depósitos clásticos, orgânicos e químicos

Os depósitos foram avaliados pela sua tipologia. Os depósitos clásticos foram identificados e descritos pela sua granulometria. Os depósitos orgânicos foram identificados de forma breve em guano ou serrapilheira e os químicos foram identificados e analisados individualmente de modo a se pesar a sua relevância para a dinâmica da cavidade.

4- DESCRIÇÃO GEOESPELEOLÓGICA DAS CAVIDADES LEVANTADAS

Os resultados apresentados referem-se aos resultados obtidos na campanha de levantamentos de campo realizada no período de junho/2012 a março/2013. Neste contexto, confirmou-se o enquadramento de 33 feições como cavidades, cuja localização se encontra representada em mapas na Figura 1, no início do relatório, e o cadastro de 2 feições. A descrição dessas cavidades e o cadastro de algumas feições são apresentadas a seguir.

Os mapas de cada cavidade são apresentados no ANEXO 3. A Tabela 2 abaixo apresenta o status das cavidades abordadas no diagnóstico, indicando na primeira coluna os nomes até então utilizados em outros documentos protocolados no órgão ambiental e, na segunda, os nomes definitivos registrados no cadastro de cavidades da Vale (2013).

Tabela 2: Cavidades analisadas no diagnóstico

Nome Anterior	Nome Espeleovale	UTM - E (SAD-69)	UTM - N (SAD-69)	Alt. (m)	Prospecção	Topografia	Area	Desnivel	Projeção Horizontal	Volume	Litologia
BRU_001	BRU_001	667010	7801185	835	Lume	Ativo	57,02	1,4	16,53	43,33	Canga Detrítica
BRU_002A	BRU_002	663583	7800053	829	Lume	Ativo	116,09	3,2	48,82	150,9	Canga Detrítica
-	BRU_003	663614	7799908	807	Lume	Ativo	13,6	0,3	7,1	7,82	Canga Detrítica
BRU_004	BRU_004	662921	7800834	940	Lume	Ativo	60,95	2,5	24,5	46,32	Canga Detrítica
BRU_005	BRU_005	667089	7802074	904	Lume	Ativo	503,7	12,5	102,06	594,3	Canga Detrítica
BRU_006	BRU_006	665391	7801305	847	Lume	Ativo	57	1,9	14,26	39,9	Canga Detrítica
BRU_007	BRU_007	665719	7801502	884	Lume	Ativo	26,04	1,2	10,06	24,99	Canga Detrítica
BRU_008	BRU_008	665742	7801499	884	Lume	Ativo	51,76	0,5	17,66	26,39	Canga Detrítica
BRU_009	BRU_009	666275	7801909	932	BRANDT	BRANDT	68,7	2,6	25,1	60	Canga Detrítica
BRU_010	BRU_010	666286	7801892	943	BRANDT	BRANDT	167,9	10,7	24,8	183	Formação Ferrífera Bandada / Canga
BRU_011	BRU_011	666296	7801891	946	BRANDT	BRANDT	18,6	2	13,1	8	Formação Ferrífera Bandada / Canga
BRU_012	BRU_012	666265	7801912	923	BRANDT	BRANDT	9,2	0,2	5,1	7	Canga Detrítica
BRU_014	BRU_014	669554	7804258	984	BRANDT	BRANDT	8,6	5,1	13	35	Quartzito
BRU_019	BRU_019	660793	7798348	808	BRANDT	BRANDT	21,5	0,5	6,1	10	Itabirito
BRU_021	BRU_021	661308	7798664	860	BRANDT	BRANDT	155,4	2,1	33,2	207	Canga Detrítica / Itabirito
BRU_022	BRU_022	661123	7798827	913	BRANDT	BRANDT	33,9	1,3	12,4	47	Formação Ferrífera Bandada / Canga
BRU_023	BRU_023	660619	7797994	956	BRANDT	BRANDT	17,5	0	5,6	20	Canga Detrítica
BRU_025	BRU_025	661183	7798845	861	BRANDT	BRANDT	16	0,4	5,4	28	Formação Ferrífera Bandada / Canga
BRU_028	BRU_028	660838	7798535	923	BRANDT	BRANDT	12,7	0,4	6,1	11	Canga Detrítica
BRU_032	BRU_032	661110	7798827	912	BRANDT	BRANDT	91,3	0	14,1	149	Formação Ferrífera Bandada / Canga

Nome Anterior	Nome Espelvale	UTM - E (SAD-69)	UTM - N (SAD-69)	Alt. (m)	Prospecção	Topografia	Area	Desnivel	Projção Horizontal	Volume	Litologia
BRU_015 (SUPRAM)	BRU_0034	669854	7804233	997	SUPRAM	Ativo	53,54	0,7	14,81	79,29	Canga Estruturada
-	BRU_0035	665690	7800935	788	Lume	Ativo	10,44	0,7	14,69	4,8	Canga Detrítica
PDI_97	MDIR_0014	661203	7799738	960	CARSTE	Ativo	18,09	1	7,88	10,01	Canga Detrítica
PDI_108	MDIR_0025	662831	7800954	984	CARSTE	Ativo	46,06	0,5	12,9	18,88	Canga Detrítica
PDI_110	MDIR_0027	663407	7801378	1014	CARSTE	Ativo	24,06	2,2	6,7	13,47	Canga Detrítica
PDI_111	MDIR_0028	663626	7801010	931	CARSTE	Ativo	536,36	4	100,7	868,9	Canga Detrítica / Itabirito
PDIC_116	MDIR_0033	662225	7800574	889	CARSTE	Ativo	39,22	2,6	10,6	33,72	Canga Detrítica / Itabirito
PDIC_118	MDIR_0035	665076	7801530	927	CARSTE	Ativo	14,84	1,2	7,11	33,05	Canga Detrítica / Itabirito
PDIC_119	MDIR_0036	665352	7801356	863	CARSTE	Ativo	66,34	2,8	8,54	67,66	Canga Detrítica
PDI_122	MDIR_0039	666352	7801760	892	CARSTE	Ativo	72,78	0,7	13,44	46,32	Canga Detrítica / Itabirito
RF_119	RF_119	660279	7796713	800	CARSTE	Ativo	18,51	0,5	8,65	9,25	Canga Detrítica
RF_120	RF_120	660230	7796724	807	CARSTE	Ativo	35,77	0,7	10,52	30,58	Canga Detrítica
RF_121	RF_121	660120	7796746	813	CARSTE	Ativo	102,08	2,6	42,44	138,83	Canga Detrítica

4.1- Caverna BRU_001

Figura 5, Figura 6, Figura 7 e Figura 8

A Caverna BRU_001 é localizada na alta vertente de encosta inclinada do platô/serra, com continuidade lateral da escarpa acima de 30m. O posicionamento da escarpa na vertente é perpendicular a maior inclinação da vertente. A mesma apresenta uma área de 57,02m², projeção horizontal de 16,53m, 1,40m de desnível, com volume de 43,33m³.

A caverna apresenta bom estado de conservação, existindo apenas a trilha que leva a caverna. A mesma se desenvolve num ambiente litológico de canga detrítica. Apresenta canga clasto suportada e clastos angulosos a sub-arredondados (menores) de hematita predominantemente, havendo também esferulita e quartzo. Os clastos variam de granulados a matações com predomínio de seixos. Muitos clastos apresentam vestígios de bandamento, porém estruturas reliquias são ausentes. Suas estruturas exibem fraturas no teto.

Sua morfologia apresenta dois salões separados por área aberta. Suas feições morfológicas mostram canalículos, pilares, pendentes, alvéolos e clarabóias. A inclinação do piso é direcionada para o exterior. Observaram-se depósitos de seixos, calhaus e matações, cones de sedimento terrígenos e bioclastos. Como depósitos químicos foram encontradas crosta branca e crosta de óxido-hidróxido e crosta rosa, além de cupim-tema e coraloide milimétrico.



Figura 5: Vista da entrada da caverna.



Figura 6: Interior da caverna apresenta crosta branca e cone de sedimento terrígeno e serrapilheira.