



Julio Cesar Simões Prezotti

**Desenvolvimento de Sistema de Gestão Ambiental para os
Resíduos de Rochas Ornamentais sob a Ótica dos
Conceitos de Processos de Produção Ecoeficientes**

Tese de Doutorado

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil da PUC-Rio como requisito
parcial para obtenção do Grau de Doutor em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. José Tavares Araruna Júnior.

Coorientador: Prof. Patrício José Moreira Pires.

Rio de Janeiro

Setembro de 2020



Julio Cesar Simões Prezotti

**Desenvolvimento de Sistema de Gestão Ambiental para os
Resíduos de Rochas Ornamentais sob a Ótica dos
Conceitos de Processos de Produção Ecoeficientes**

Tese apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-
graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio.
Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof. José Tavares Araruna Júnior

Orientador
Engenharia Civil e Ambiental – PUC/Rio

Prof. Patrício José Moreira Pires

Coorientador
Engenharia Civil – UFES

Prof. Sérgio Augusto Barreto da Fontoura

Engenharia Civil e Ambiental – PUC/Rio

Prof^a. Maria Cláudia Barbosa

COPPE – UFRJ

Prof. Eduardo Antônio Gomes Marques

Engenharia Civil – UFV

Prof^a. Christianne de Lyra Nogueira

Engenharia de Minas – UFOP

Prof. Renato Ribeiro Siman

Engenharia Ambiental – UFES

Rio de Janeiro, 09 de setembro de 2020

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Julio Cesar Simões Prezotti

Graduou-se em Engenharia Civil na Universidade Federal do Espírito Santo-UFES em 1985. Obteve o Grau de Mestre em Engenharia Civil na área de Hidráulica e Saneamento Básico na Universidade de São Paulo-USP/São Carlos em 1990. Trabalhou com operação de estações de tratamento de efluentes domésticos e industriais no norte da Itália entre 1990-93, quando iniciou as pesquisas na área de resíduos de indústrias de rochas ornamentais. Como proprietário de empresa de consultoria técnica, desenvolve pesquisas e projetos nas áreas de saneamento básico, tendo apresentado trabalhos em congressos nacionais e internacionais na área de engenharia sanitária e ambiental.

Ficha Catalográfica

Prezotti, Julio Cesar Simões

Desenvolvimento de sistema de gestão ambiental para os resíduos de rochas ornamentais sob a ótica dos conceitos de processos de produção ecoeficientes / Julio Cesar Simões Prezotti ; orientador: José Tavares Araruna Júnior ; coorientador: Patrício José Moreira Pires. – 2020.

400 f. : il. color. ; 30 cm

Tese (doutorado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2020.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Gestão ambiental. 3. Processos de produção ecoeficientes. 4. Resíduos de rochas ornamentais do tipo granito. 5. Restauração ecológica de áreas degradadas pela mineração de rochas. I. Araruna Júnior, José Tavares. II. Pires, Patrício José Moreira. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. IV. Título.

CDD: 624

À minha admirada esposa, Nathalia Thami Chalub Prezotti, amor de minhas vidas, a quem dedico essa obra, por ter acreditado, me inspirado e apoiado, incansavelmente, no amor à minha profissão de engenheiro civil e no desejo de continuar me dedicando à causa da proteção ambiental.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) pela bolsa de isenção de taxas escolares concedida, sem a qual essa tese não poderia ter sido realizada.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da PUC-Rio, agradeço os ensinamentos adquiridos e por toda a dedicação e atenção que prestam aos alunos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Civil e dos laboratórios da PUC-Rio, em nome da Assessora Rita de Cássia N. Leite, sempre prestativos e pacientes, que tanto contribuíram para o desenvolvimento dessa tese.

Ao Professor Sérgio Fontoura, pela disponibilidade do uso do Laboratório de Mecânica das Rochas do Grupo de Tecnologia e Engenharia de Petróleo (GTEP) da PUC-Rio, e ao Eng. Victor Meléndez, responsável pela realização dos ensaios nas amostras de granitos.

À Professora Sônia Letichevsky, do Departamento de Engenharia Química e de Materiais (DEQM) da PUC-Rio, pela realização dos ensaios de difração de raio-X no laboratório desse departamento.

Ao Laboratório de Mecânica Solos (LAMES) da Universidade Federal do Espírito Santo-UFES, pela realização de grande parte dos ensaios dessa tese.

Ao meu orientador José Araruna, com sua dedicação, objetividade e seu trabalho, na orientação para o desenvolvimento desse trabalho. Meus sinceros agradecimentos e o reconhecimento pela sua importância na minha formação profissional.

Ao meu coorientador Patrício José Moreira Pires, pelas orientações, pelo seu trabalho e por ter me encaminhado na busca por soluções técnicas e inovadoras na área da geotecnia ambiental.

Aos alunos Breno Matias do Nascimento e Raissa Borçato Broetto do curso de engenharia civil da Universidade Federal do Espírito Santo/UFES, pela participação nas análises de estabilidade de taludes do maciço de resíduos de rochas ornamentais pesquisado.

Aos engenheiros civis mestrandos, Renan Morelato, Sidineydi Izoton, Juliana Moraes e Lucas Bridi e ao engenheiro ambiental Pedro Lamosa, que não mediram esforços em dividir comigo seus conhecimentos e longas horas de trabalho no desenvolvimento dessa tese.

Aos colaboradores da minha empresa, Márcio Ferreira, Janete Lisboa, Carlos e Rita, que ao longo dos últimos 5 anos, nas minhas ausências para a elaboração dessa tese, se empenharam para o atendimento dos serviços prestados aos nossos clientes.

Aos meus pais, Darly Prezotti (in memorian) e Nelly Simões Prezotti, todo respeito e admiração. Seus esforços, investimentos e amor se transformaram na minha determinação.

À minha amada família, esposa Nathália, filhas Lara e Bruna e enteados Nastassja e Marlos, base da minha felicidade, que sentiram a minha falta ao longo desse caminho, que hoje dividem comigo essa imensa felicidade.

A todos que contribuíram, de alguma forma, ao longo do caminho, para a realização de deixar aqui registrada parte da experiência profissional que obtive nos últimos 30 anos de pesquisas e prestação de serviços, na área de utilização e destinação final adequada para resíduos gerados no setor produtivo de rochas ornamentais.

Resumo

Prezotti, Julio Cesar Simões; Araruna Júnior, José Tavares (Prof. Orientador). **Desenvolvimento de sistema de gestão ambiental para os resíduos de rochas ornamentais sob a ótica dos conceitos de processos de produção ecoeficientes**. Rio de Janeiro, 2021. 400 p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Ao longo dos processos produtivos de exploração de blocos dimensionados de rochas ornamentais até a produção de chapas polidas, grandes volumes de resíduos são gerados, tornando-se passivos ambientais para as empresas do setor. Diante dessa realidade, o objetivo dessa tese foi elaborar um sistema de gestão ambiental para as indústrias de produção de rochas ornamentais do tipo granito, sob a ótica dos conceitos de processos de produção ecoeficientes, visando o máximo aproveitamento desse recurso mineral, e propor, ainda, a destinação final para os resíduos não passíveis de utilização em outros processos produtivos em cavas de mineração de rochas extintas ou exauridas. A metodologia utilizada consistiu na identificação e quantificação dos resíduos gerados nas etapas da exploração e do beneficiamento de granitos, por meio de visitas técnicas a indústrias desse setor produtivo, e na caracterização para potenciais usos como lastro ferroviário, base de pavimento rodoviário e agregado graúdo para a construção civil, para os casqueiros; e como barreiras minerais em aterros sanitários, industriais e obras da construção civil e na recuperação de áreas degradadas pela mineração de rochas, para a lama desaguada do beneficiamento. Os resultados obtidos demonstraram a potencialidade para os usos desses resíduos na construção civil e na recuperação de áreas degradadas e, ainda, a possibilidade de criação de um novo degrau na escada hierárquica de conceitos de sistemas de gestão ambiental, a “Restauração Ecológica”, que resulta, simultaneamente, em um fim nobre destinado para os rejeitos gerados no setor de rochas ornamentais e a recuperação de áreas degradadas pela mineração de rochas.

Palavras-chave

Gestão ambiental, processos de produção ecoeficientes, resíduos de rochas ornamentais do tipo granito, restauração ecológica de áreas degradadas pela mineração de rochas.

Abstract

Prezotti, Julio Cesar Simões; Araruna Júnior, José Tavares (Prof. Orientador). **Development of an environmental management system for the ornamental rocks wastes based on cleaner production.** Rio de Janeiro, 2021. 400 p. Tese de Doutorado – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Throughout the production processes of exploitation of ornamental rocks to the production of polished plates, large volumes of waste are generated, becoming environmental liabilities for companies in the sector. In view of this reality, the objective of this thesis was to develop an environmental management system for the granite-type ornamental rock production industry, from the perspective of eco-efficient production processes, aiming at maximum use of this mineral resource, and to propose the destination for waste that have no use. The methodology consisted of the identification and quantification of waste generated in the stages of granite extraction and processing, through technical visits to the industries of this productive sector, and the characterization for potential uses such as railway ballast, road pavement base and large aggregate for civil construction, for *casqueiros*, and as mineral barriers in landfills, industrial and civil construction works and in the recovery of areas degraded by rock mining, for the dehydrated processing mud. The results obtained demonstrated the potential for the uses of this waste in civil construction and the possibility of creating a new step on the hierarchical ladder of concepts of environmental management systems, the "Ecological Restoration", which results, simultaneously, in a noble purpose destined for the waste generated in the ornamental rock sector and the recovery of areas degraded by rock mining.

Key words

Environmental management, eco-efficient production processes, granite rocks waste, ecological restoration of areas degraded by rock mining.

Sumário

1. Introdução	40
1.1. Objetivo Geral.....	43
1.2. Organização do Trabalho	43
 2. Revisão Bibliográfica	 45
2.1. Importância do Setor de Rochas Ornamentais para o Brasil e o estado do Espírito Santo.....	47
2.2. Etapas da produção de rochas ornamentais do tipo granito / geração de resíduos	48
2.2.1. Exploração de rochas ornamentais do tipo granito / quantitativo de resíduos gerados	52
2.2.2. Beneficiamento de rochas ornamentais do tipo granito / tipos e quantitativos de resíduos gerados	53
2.2.2.1. Beneficiamento primário: Desdobramento dos blocos dimensionados de granito	53
2.2.2.2. Beneficiamento final do granito: Polimento das chapas desdobradas e corte das bordas laterais	58
2.3. Utilização dos resíduos de rochas ornamentais	60
2.4. Gestão e Sustentabilidade no Processo de Produção de Rochas Ornamentais	77
2.5. Conceitos de processos de produção ecoeficientes (Ecologia Industrial / Produção Mais Limpa / Economia Circular) .	79

2.5.1.	Aplicação dos conceitos de Economia Circular e Ecologia Industrial no Setor de Rochas Ornamentais na cidade de Porrinõ, Província de Pontevedra, Espanha	86
2.6.	Recuperação de áreas degradadas pela mineração, segundo a legislação brasileira.....	91
2.7.	Recuperação x restauração ecológica de áreas degradadas: viabilidade técnica x financeira	93
2.7.1.	Casos de restauração ecológica de áreas degradadas pela mineração de granito no município de Nova Venécia, ES, Brasil	96
3.	Materiais e Métodos.....	116
3.1.	Determinação da geração de resíduos de granitos....	116
3.1.1.	Na etapa da exploração dos blocos dimensionados	118
3.1.2.	Na etapa do beneficiamento	118
3.1.3.	Na etapa do beneficiamento primário dos blocos	118
3.1.3.1.	Beneficiamento final dos granitos	121
3.2.	Caracterização dos resíduos de granitos	122
3.2.1.	Casqueiros de granitos da etapa da exploração dos blocos dimensionados	122
3.2.1.1.	Propriedades e índices	124
3.2.1.2.	Resistência à compressão simples e à carga puntiforme	127
3.2.1.3.	Caracterização mineralógica	136
3.2.1.4.	Caracterização química e classificação, quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde do homem	137

3.2.2. Lama do beneficiamento de granitos para uso como barreira mineral de aterros industriais e sanitários	138
3.2.2.1. Caracterização física	142
3.2.2.2. Caracterização mecânica e hidráulica	142
3.2.2.3. Ensaio de contração volumétrica.....	143
3.2.2.4. Caracterização mineralógica	146
3.2.2.5. Determinação da Zona Admissível Final ou Modificada	146
3.2.2.6. Caracterização química e classificação, quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem .	147
3.2.3. Solo utilizado na barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais	148
3.2.3.1. Caracterização mineralógica	150
3.2.3.2. Caracterização química e classificação, quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem .	150
3.2.3.3. Condutividade hidráulica da barreira mineral.....	150
3.3. Monitoramento de sistema de restauração ecológica em implantação	152
3.3.1. Coleta das amostras da lama do beneficiamento de granitos dispostas no maciço de rejeitos	153
3.3.2. Ensaio de laboratório	158
3.3.2.1. Ensaio de granulometria.....	158
3.3.2.2. Ensaio de cisalhamento direto: obtenção dos parâmetros geotécnicos da lama do beneficiamento de granitos do maciço de rejeitos pesquisado	158

3.3.3. Nível da água no interior do maciço de rejeitos	160
3.3.4. Determinação da condutividade hidráulica da camada superficial de rejeitos	162

4. Apresentação e Discussão dos Resultados para os Resíduos Gerados na Exploração dos Blocos Dimensionados de Granitos... 165

4.1. Quantificação dos resíduos gerados.....	165
4.2. Caracterização dos casqueiros de granitos - Resultados de Laboratório.....	177
4.2.1. Propriedades e índices	177
4.2.1.1. Parâmetros de engenharia: resistência à compressão simples e à carga puntiforme	189
4.2.1.2. Caracterização mineralógica	196
4.2.1.3. Caracterização química e classificação quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde do homem	200

5. Apresentação e Discussão dos Resultados para os Resíduos Gerados na Etapa do Beneficiamento 203

5.1. Quantificação dos resíduos gerados na etapa do beneficiamento de granitos	203
5.1.1. Beneficiamento primário dos blocos dimensionados de granitos.....	203
5.1.2. Beneficiamento final das chapas desdobradas dos blocos de granitos	204
5.2. Caracterização dos resíduos de granitos - Resultados de Laboratório	209

5.2.1. Casqueiros de granitos da etapa do beneficiamento	209
5.2.2. Lama do beneficiamento de granitos para uso como barreira mineral de aterros industriais e sanitários	209
5.2.2.1. Caracterização física: Análise Granulométrica, Limites de Consistência e Massa Específica Real	210
5.2.2.2. Parâmetros de engenharia: condutividade hidráulica e resistência ao cisalhamento direto	212
5.2.2.3. Ensaio de contração volumétrica.....	218
5.2.2.4. Caracterização mineralógica	220
5.2.2.5. Determinação da Zona Admissível Final ou Modificada para o uso da lama do beneficiamento de granitos como barreira mineral	222
5.2.2.6. Caracterização química e classificação, quanto aos riscos para o meio ambiente e à saúde do homem.....	225
5.2.3. Solo utilizado na barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de industrial de resíduos monitorado	226
5.2.3.1. Caracterização mineralógica	226
5.2.3.2. Caracterização química e classificação quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem .	227
5.2.3.3. Condutividade hidráulica da barreira mineral implantada no fundo da célula do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais	228
6. Sistema de Gestão Ambiental proposto para os Resíduos de Rochas Ornamentais sob a ótica dos conceitos de Processos de Produção Ecoeficientes.....	229

6.1.	Etapas para a implantação do sistema de gestão ambiental proposto.....	231
6.1.1.	Etapa 01: Identificação, quantificação e verificação das potencialidades de uso como matérias-primas em outros processos produtivos, para os resíduos de rochas ornamentais (casqueiros e lama do beneficiamento) do tipo granito.....	232
6.1.1.1.	Roadmap da Etapa 01	232
6.1.2.	Etapa 02: Implantação da Restauração Ecológica, utilizando-se resíduos de rochas ornamentais (casqueiros e lama do beneficiamento) do tipo granito que não forem passíveis técnica e/ou economicamente de utilização em outros processos produtivos	232
6.1.2.1.	Roadmap da Etapa 02	232
6.1.3.	Exemplo de Plano para plantio em áreas com recuperação vegetal	235
6.2.	Ilustração de restauração ecológica em cava de mineração extinta por meio da implantação do plano de gestão ambiental proposto.....	237
6.3.	Diagrama esquemático ilustrando a aplicação do conceito da Economia Circular no setor de rochas ornamentais	238
6.4.	Estudo de Caso: Monitoramento de sistema de restauração ecológica sendo implantado em área degradada pela mineração, situado no município de Serra, ES	240
6.4.1.	Coleta das amostras.....	245
6.4.2.	Ensaio de laboratório	245
6.4.2.1.	Ensaio de granulometria.....	245

6.4.2.2. Ensaios de cisalhamento direto: obtenção dos parâmetros geotécnicos da lama do beneficiamento de granitos do maciço de rejeitos pesquisado 247

6.4.3. Nível da água no interior do maciço de rejeitos 250

6.4.4. Determinação da condutividade hidráulica da camada superficial de rejeitos 254

**6.4.5. Análises de estabilidade dos taludes do maciço de rejeitos
254**

7. Conclusões 275

8. Referências 283

Anexo 1 304

1. Informações obtidas junto à duas empresas de extração de granitos em operação no norte do estado do Espírito Santo.. 304

Anexo 2 310

2. Resultados dos ensaios para obtenção dos parâmetros índices dos casqueiros de granitos, realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LAMES) da Universidade Federal do Espírito Santo/UFES. 310

2.1. Para as amostras dos casqueiros britados de granito amarelo 310

2.2. Para as amostras dos casqueiros britados de granito cinza andorinha..... 319

2.3. Para as amostras dos casqueiros britados de granito verde pavão	328
---	------------

Anexo 3	338
----------------------	------------

3. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples dos casqueiros de granitos, segundo a norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011), realizados no laboratório da empresa BRASCONTEC ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA, situada no município de Serra, ES.....	338
--	------------

Anexo 4	339
----------------------	------------

4. Resultados do ensaio de carga puntiforme (Point Load Test) nos casqueiros de granitos, realizados no laboratório do GTEP PUC/Rio. 339	
---	--

Anexo 5	341
----------------------	------------

5. Resultados das caracterizações químicas dos casqueiros de granitos amarelo, cinza andorinha e verde pavão, triturados na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004) quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, realizados no Laboratório TOMMASI AMBIENTAL, situado no município de Serra, ES.....	341
---	------------

Anexo 6	374
----------------------	------------

6. Resultados da caracterização química da lama do beneficiamento de granitos pesquisada como barreira mineral, comparados com os valores orientadores estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004) quanto aos potenciais riscos ao meio	
--	--

ambiente e à saúde do homem, realizados no Laboratório TOMMASI AMBIENTAL, situado no município de Serra, ES.....	374
--	-----

Anexo 7	385
---------------	-----

7. Resultados da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado, comparados com os valores orientadores estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004) quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, realizados no Laboratório TOMMASI AMBIENTAL, situado no município de Serra, ES.....	385
--	-----

Anexo 8	396
---------------	-----

8. Resultado do ensaio de permeabilidade a carga variável, segundo a norma NBR 14545 da ABNT (2000), para a amostra indeformada de solo coletada da barreira mineral de fundo implantada na célula do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado, realizado no Laboratório MS SOLOS EIRELI, situado no município de Vitória, ES.....	396
---	-----

Anexo 9	397
---------------	-----

9. Curvas de Tensão de Cisalhamento x Deformação Horizontal, Deformação Vertical x Deformação Horizontal e Envoltórias de Ruptura para cada uma das 5 amostras coletadas em diferentes profundidades do aterro de resíduos industrial monitorado.	397
--	-----

Lista de Figuras

Figura 1 – Exportações brasileiras de rochas ornamentais por país de destino no ano de 2019 (US\$ 1.000). Fonte: ABIROCHAS (2020).	47
Figura 2 – Principais estados brasileiros exportadores no ano de 2019 (US\$ 1.000). Fonte: ABIROCHAS (2020).....	48
Figura 3 – Fluxograma do processo de produção de blocos e chapas polidas de granito. Fonte: Adaptado de Souza (2007) e Sardou Filho et al. (2013).....	49
Figura 4 – Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais (1999/2019). RSB- blocos de granito, RCB – blocos de mármore e RP – rochas processadas. Fonte: ABIROCHAS (2020).....	50
Figura 5 – Evolução anual das exportações brasileiras de chapas serradas de rochas ornamentais (2001/2019). Fonte: ABIROCHAS (2020).	51
Figura 6 – Bloco de granito sendo desdobrado em tear convencional multilâminas.	54
Figura 7 – Bloco de granito sendo desdobrado em tear multifios diamantados.....	55
Figura 8 – Vista de serra talha blocos. Fonte: MECICROL, 2020.	57
Figura 9 – Politriz com cabeçotes rotativos instalada em indústria de beneficiamento de granito no município de Nova Venécia, norte do ES. .	59
Figura 10 – Depósito de casqueiros de rochas descartados, provenientes do corte de chapas beneficiadas.....	59
Figura 11 – Limites mínimos adotados para condutividade hidráulica e espessura de barreiras minerais em camadas de fundo de aterros para resíduos não-perigosos. Fonte: Adaptada de Environmental Geotechnics (1997).....	72
Figura 12 – Metodologia tradicional proposta para obtenção da zona admissível para materiais, sendo empregados como barreira mineral.	

Fonte: Adaptado de Mundell and Bailey (1985) e Boutwell and Hedges (1989).....	74
Figura 13 – Zona admissível final ou modificada, em função da compactação a diferentes energias (a) e dos valores limites adotados para a condutividade hidráulica (b), resistência à compressão simples (c) e contração volumétrica (d). Fonte: Adaptado de Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993).	76
Figura 14 – Escada de conceitos utilizados em sistemas de gestão ambiental proposta por Hamner (1996). Fonte: Adaptado de Hamner (1996).....	80
Figura 15 – Estrutura hierárquica sugerida por Basu e van Zyl (2005) à escada de conceitos proposta por Hamner (1996), combinando com diferentes níveis. Fonte: Adaptado de por Basu e van Zyl (2005).....	81
Figura 16 – Diagrama esquemático representando a aplicação dos conceitos da Economia Circular. Fonte: Traduzido para o português, Jornal da USP, do original da Ellen MacArthur Foundation, SUN e McKinsey Center for Business and Environment, desenhado por Braungart & McDonough (Cradle to Cradle). < https://www.ideiacircular.com/economia-circular-diagrama-borboleta/ > Acesso em 24 de abril de 2020.	85
Figura 17 – (a) Vista da jazida de exploração do granito rosso porriño e (b) de britador móvel utilizado na área da exploração, para a produção de areias e britas.....	87
Figura 18 – Utilização de casqueiros dimensionados do granito rosso porriño na construção civil: (a) parada de ônibus de transporte coletivo, (b) muro e (c) passeio público.	89
Figura 19 – Polo Industrial Das Gándaras, Porriño, Espanha: (a) Indústria de beneficiamento de granito, (b) Indústria de pré fabricados para a construção civil, que utiliza agregados provenientes do granito e (c) linha férrea para transporte dos produtos finais da mineração.	90

Figura 20 – Fatores deveriam ser avaliados para o desenvolvimento de uma estratégia de recuperação de áreas degradadas. Fonte: Adaptado de Holla e Aideb (2011).....	95
Figura 21 – Localização das Áreas 1 e 2 e do Polo Industrial, situados no município de Nova Venécia, norte do Espírito Santo. Fonte: Imagem extraída do Google Earth em 14 abril de 2020.....	97
Figura 22 – Área 1, resultante da mineração de granito em fotografia obtida em janeiro de 2009.....	97
Figura 23 – Área 1 no início da implantação da célula de rejeitos em julho de 2009.	98
Figura 24 – Área 1 – Instalação do geotêxtil não-tecido em setembro de 2009.	99
Figura 25 – Área 1. Detalhes das paredes laterais da célula impermeabilizada com geomembrana, da aspersão (reuso) das águas pluviais e do descarregamento de rejeitos em dezembro de 2011.	99
Figura 26 – Área 1 – Formação do maciço de rejeitos do beneficiamento de granitos em dezembro de 2012.....	100
Figura 27 – Área 1 com o maciço de rejeitos final sendo coberto com barreira mineral em janeiro de 2016.....	101
Figura 28 – Área 1 – Implantação das camadas drenante e de solo para a revegetação em fevereiro de 2016.....	102
Figura 29 – Área 1 – Recuperação morfológica e com cobertura vegetal não prevista (capim braquiária) em dezembro de 2017. ...	103
Figura 30 – Área 1 em julho de 2020.	103
Figura 31 – Corte longitudinal da célula de disposição de rejeitos de rochas ornamentais da Área 1.	104
Figura 32 – Detalhes das camadas de cobertura do maciço de rejeitos finalizado da Área 1.....	105

Figura 33 – Imagens da Área 1, ilustrando sequência de implantação do processo de recuperação ambiental nos anos de 2008, 2013, 2016 e 2018. Fonte: Imagens extraídas do Google Earth em 17 de junho de 2020. ...	106
Figura 34 – Cava de mineração da Área 2 em março de 2013, antes da implantação do processo de recuperação ambiental.	107
Figura 35 – Início das obras de implantação da barreira mineral do fundo da célula da Área 2 em abril de 2015.....	108
Figura 36 – Implantação do fundo da célula da Área 2 sendo finalizado em maio de 2015.....	108
Figura 37 – Descarregamento da lama desaguada do beneficiamento de granitos na célula da Área 2 em dezembro de 2019.	109
Figura 38 – Espalhamento e compactação da lama desaguada do beneficiamento de granitos na célula da Área 2 em dezembro de 2019.	109
Figura 39 – Formação de novo platô para a disposição da lama desaguada do beneficiamento de granitos na célula da Área 2 em julho de 2020. ..	110
Figura 40 – Detalhes da vegetação crescendo naturalmente sobre as bermas laterais dos rejeitos do beneficiamento de granitos na célula da Área 2 em julho de 2020.	110
Figura 41 – Vista do maciço de rejeitos de granitos em formação na Área 2, com detalhe da vegetação crescendo naturalmente sobre as bermas de estabilização laterais, em julho de 2020.....	111
Figura 42 – Corte longitudinal do maciço de rejeitos de rochas ornamentais da Área 2.....	112
Figura 43 – Detalhes das camadas de cobertura do maciço de rejeitos a ser formado na Área 2 e do sistema de drenagem superficial revestido com geomembrana de PEAD.	113

Figura 44 – Imagens da Área 2, ilustrando o processo de recuperação ambiental nos anos de 2008, 2016, 2019 e 2020. Fonte: Imagens extraídas do Google Earth em 23 de junho de 2020.....	114
Figura 45 – Ponto tradicional de comercialização de casqueiros de granitos, situado às margens da Rodovia BR-101 Norte, no município da Serra, ES.	123
Figura 46 – Detalhe, à direita na foto, do casqueiro com dimensões irregulares a ser descartado, gerado no corte lateral do bloco de granito.	124
Figura 47 – Britador de mandíbula utilizado para britagem dos casqueiros de granitos pesquisados (LEMAC/UFES). Fonte: Extraído de < http://lemac.ufes.br/britadores > em 16 de abril de 2020.	126
Figura 48 – Detalhe da preparação de corpos de prova de granito com a plugadeira, para os ensaios de resistência à compressão simples.....	128
Figura 49 – Corpo de prova de granito extraído com a plugadeira, para os ensaios de resistência à compressão simples.	129
Figura 50 – Corpos de prova do Granito Amarelo (GA).	130
Figura 51 – Corpos de prova do Granito Cinza Andorinha (GCA).....	130
Figura 52 – Corpos de prova do Granito Verde Pavão (GVP).....	131
Figura 53 – Prensa hidráulica utilizada para os ensaios de resistência à compressão simples (Laboratório BRASCONTEC ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA, Vitória, ES).....	133
Figura 54 – Equipamento portátil utilizado para a realização do ensaio de resistência à carga puntiforme (GTEP/PUC-Rio).	134
Figura 55 – Detalhe dos 36 corpos de prova de formato irregular e cúbico para os ensaios de resistência puntiforme.	134
Figura 56 – Difratorômetro utilizado nos ensaios de Difração de Raios-X. Fonte: Laboratório do DEQM/PUC-Rio.	137

Figura 57 – Sistema de tratamento de efluentes industriais em indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, com detalhe para a lama desaguada gerada pelo filtro prensa.	139
Figura 58 – Célula de disposição final de rejeitos de rochas ornamentais, local da coletada da amostra de lama de beneficiamento pesquisada. .	140
Figura 59 – Equipamento para realização do ensaio de contração volumétrica. Fonte: Freitas, 2015.	143
Figura 60 – Jazida de exploração do solo utilizado para implantação da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de rejeitos de rochas ornamentais.	148
Figura 61 – Implantação da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de rejeitos de rochas ornamentais.....	149
Figura 62 – Jazida Barreira mineral de fundo de parte da célula de disposição final do aterro de rejeitos de rochas ornamentais.....	149
Figura 63 – Retirada do bloco da amostra indeformada da barreira mineral de fundo, após sua implantação, da célula de disposição final do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais.	151
Figura 64 – Bloco da amostra indeformada da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais sendo coletado.	151
Figura 65 – Localização da área monitorada e dos Polos Industriais CIVIT I e II, situados no município de Serra, região metropolitana da Grande Vitória, ES. Fonte: Imagem extraída do Google Earth em 14 abril de 2020.	153
Figura 66 – Pontos de coleta das amostras indeformadas em 5 (cinco) diferentes profundidades e croquis do perfil topográfico dos taludes no momento da coleta em junho de 2016.	155
Figura 67 – Ilustração dos locais de coleta das 5 amostras da lama do beneficiamento de granitos no maciço de rejeitos em junho de 2016. ...	156

Figura 68 – Escavação para se chegar às profundidades de coleta das amostras em junho de 2016.....	156
Figura 69 – Coleta da amostra AM1.....	157
Figura 70 – Coleta da amostra AM2.....	157
Figura 71 – Retirada dos corpos de prova do tubo Shelby, para os ensaios de cisalhamento direto.	159
Figura 72 – Equipamento marca PAVITEST, utilizado para os ensaios de cisalhamento direto (LAMES/UFES).	159
Figura 73 – Localização dos piezômetros instalados na área monitorada. Fonte: Imagem do Google Earth.	160
Figura 74 – Vista do local de instalação do piezômetro PM 1 instalado na área monitorada.	161
Figura 75 – Equipamento de sondagem rotativa, utilizado na instalação dos piezômetros da área monitorada.....	161
Figura 76 – Medidor de nível d'água utilizado para o monitoramento dos piezômetros.....	162
Figura 77 – Montagem do Permeâmetro Guelph em uma das camadas superficiais de rejeitos (lama do beneficiamento) no aterro monitorado.	163
Figura 78 – Verificação das dimensões do poço de sondagem escavado na camada superficial de rejeitos (lama do beneficiamento), para a realização do ensaio com o Permeâmetro Guelph.....	163
Figura 79 – Poço de sondagem escavado na camada superficial de rejeitos (lama do beneficiamento), preenchido com água durante a realização do ensaio com o Permeâmetro Guelph.....	164
Figura 80 – Corte de bancada com altura múltipla em pedreira de granito amarelo situada no norte do ES.	167
Figura 81 – Corte de bancada com altura múltipla e detalhe do equipamento com fio diamantado, em pedreira de granito amarelo situada no norte do ES.	167

Figura 82 – Tombamento de bancada com altura múltipla, utilizando colchões de rejeitos para o amortecimento, em pedreira de granito amarelo situada no norte do ES.	168
Figura 83 – Depósito de rejeitos (solo e pedaços de rochas) posicionados sobre a própria jazida de granito amarelo em pedreira situada no norte do ES.	169
Figura 84 – Blocos dimensionados estocados para a comercialização, em pátio de pedreira situada no norte do ES.	170
Figura 85 – Rejeitos da exploração, incluindo blocos dimensionados descartados por possuírem padrões estéticos indesejáveis, em pedreira situada no norte do ES.	170
Figura 86 – Rejeitos de granito em exploração de granito abandonada situada no norte do ES.	171
Figura 87 – Quantitativos dos blocos dimensionados de granito amarelo comercializados e dos rejeitos gerados na pedreira da empresa A no período pesquisado.	172
Figura 88 – Variação da geração de rejeitos na pedreira da empresa A ao longo período pesquisado.	172
Figura 89 – Quantitativos dos blocos dimensionados de granito amarelo comercializados e de rejeitos gerados na pedreira da empresa B no período pesquisado.	173
Figura 90 – Variação da geração de rejeitos na pedreira da empresa B ao longo do período pesquisado.	173
Figura 91 – Fluxograma dos percentuais de aproveitamento da matéria-prima.	176
Figura 92 – Curvas granulométricas dos casqueiros de granitos britados, obtidas em função das dimensões do britador de mandíbulas disponível.	178

Figura 93 – Distribuição granulométrica da areia siltosa e do cascalho de granito, utilizados em misturas melhoradas para subleito de lastros ferroviários. Fonte: CHEN et al. (2014).	184
Figura 94 – Distribuição dos tamanhos das partículas do agregado graúdo proveniente de casqueiros de granitos, utilizado em concreto auto adensável de alto desempenho. Fonte: OSTROWSKI et al. (2020).....	184
Figura 95 – (a) Corpo de prova do granito verde pavão (V1) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo cônica); (b) Corpo de prova do granito cinza andorinha (C1) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo cônica bipartida); (c) Corpo de prova do granito amarelo (A3) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo cônica cisalhada); (d) Corpo de prova do granito verde pavão (V3) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo cisalhada); (e) Corpo de prova do granito amarelo (A1) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo colunar).	192
Figura 96 – Corpos de provas do granito amarelo após a ruptura no ensaio de resistência à compressão à carga puntiforme.	195
Figura 97 – Corpos de provas do granito cinza andorinha após a ruptura no ensaio de resistência à compressão à carga puntiforme.	195
Figura 98 – Corpos de provas do granito verde pavão após a ruptura no ensaio de resistência à compressão à carga puntiforme.	195
Figura 99 – Gráfico obtido no ensaio de difração de raios-X para o granito amarelo.	197
Figura 100 – Gráfico obtido no ensaio de difração de raios-X para o granito cinza andorinha.	197
Figura 101 – Gráfico obtido no ensaio de difração de raios-X para o granito verde pavão.....	198

Figura 102 – Fluxograma dos percentuais de aproveitamento da matéria-prima e da geração de resíduos, separados nas duas diferentes etapas do processo produtivo de granito.	206
Figura 103 – Fluxograma dos percentuais acumulados a partir da jazida de granito de aproveitamento da matéria-prima e da geração de resíduos, ao longo das duas diferentes etapas do processo produtivo.	208
Figura 104 – Curva granulométrica da amostra de lama do beneficiamento de granitos pesquisada.	210
Figura 105 – Curvas de compactação dos corpos de prova da amostra da lama do beneficiamento de granitos nas energias Proctor Normal, Intermediário e Modificado.	213
Figura 106 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica dos corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.....	215
Figura 107 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples dos corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.....	218
Figura 108 – Resultados dos ensaios de contração volumétrica dos corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.	220
Figura 109 – Difractograma obtido para a amostra da lama do beneficiamento de granito pesquisada para uso como barreira mineral.	221
Figura 110 – Curvas de compactação com destaque para a primeira zona admissível (polígono na cor vermelha), para o limite mínimo adotado para a condutividade hidráulica.	223
Figura 111 – Curvas de compactação, com destaque para a segunda zona admissível (polígono na cor amarela), para os limites estabelecidos para a resistência à compressão simples e à contração volumétrica.....	224
Figura 112 – Curva de compactação com destaque para a zona admissível final ou modificada (polígono na cor laranja).....	225

Figura 113 – Difratoograma obtido para a amostra do solo da barreira mineral de fundo da célula de disposição final de rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais.....	227
Figura 114 – Escada de conceitos utilizados em sistemas de gestão ambiental proposta por Hamner (1996). Fonte: Adaptado de Hammer (1996).....	230
Figura 115 – Escada de conceitos proposta por Hamner (1996), adaptada ao sistema de gestão ambiental proposto. Fonte: Adaptado de Hammer (1996).....	231
Figura 116 – Subetapas a serem desenvolvidas na Etapa 1, para a efetiva implantação do sistema de gestão ambiental proposto.....	233
Figura 117 – Subetapas a serem desenvolvidas na Etapa 2, para a efetiva implantação do sistema de gestão ambiental proposto.....	234
Figura 118 – Ilustração de restauração ecológica em cava de mineração extinta por meio da implantação do sistema de gestão ambiental proposto.	238
Figura 119 – Ilustração de restauração ecológica em cava de mineração extinta por meio da implantação do sistema de gestão ambiental proposto.	239
Figura 120 – Área monitorada no início das obras de implantação da célula de disposição de rejeitos de rochas ornamentais em setembro de 2013.	241
Figura 121 – Barreira mineral de fundo da célula sendo preparada e detalhe dos geotêxteis afixados em suas laterais para proteção da camada superior de geomembrana em outubro de 2013.	241
Figura 122 – Impermeabilização com geomembrana de PEAD do fundo e das laterais de parte da célula em construção em fevereiro de 2014. ...	242
Figura 123 – Execução dos taludes e bermas de estabilização do maciço de rejeitos em formação e vista do reservatório de águas pluviais em junho de 2016.	243

Figura 124 – Vista de taludes e bermas de estabilização do maciço de rejeitos em formação em janeiro de 2019.	243
Figura 125 – Imagem superior do maciço de rejeitos em formação, com detalhe para os dois reservatórios de acúmulo das águas pluviais em janeiro de 2019. Fonte: Extraída do Google Earth em abril de 2020.....	244
Figura 126 – Distribuições granulométricas das 5 amostras de lama do beneficiamento de granitos coletadas no maciço de rejeitos da área monitorada.	245
Figura 127 – Detalhamento do procedimento de leitura dos níveis d'água nos poços de monitoramento.	251
Figura 128 – Perfil esquemático da instalação dos piezômetros PM 1 e PM 2 na área monitorada, com detalhe para as alturas nesses poços da água do lençol formado no interior do maciço de rejeitos.	252
Figura 129 – Perfil esquemático da instalação do piezômetro PM 3 na área monitorada, com detalhe para a altura nesse poço da água do lençol formado no interior do maciço de rejeitos.	253
Figura 130 – Vista da seção A-A' do maciço de rejeitos no momento da coleta das amostras em junho de 2016.....	255
Figura 131 – Vista da seção A-A', podendo-se observar o local da coleta de amostras no platô intermediário do maciço de rejeitos.	255
Figura 132 – Geometria da seção A-A' no momento da coleta das amostras em junho de 2016.....	256
Figura 133 – Vista superior do maciço de rejeitos, quando finalizado, com detalhe das seções B-B' e C-C'.....	256
Figura 134 – Geometria da seção B-B' do projeto do maciço de rejeitos, quando finalizado.	257
Figura 135 – Geometria da seção C-C' do projeto do maciço de rejeitos, quando finalizado.	257

Figura 136 – Legenda das cores adotadas para os materiais que forma o maciço de rejeitos nas seções analisadas.	260
Figura 137 – Vista da seção A-A' do maciço de rejeitos no momento da coleta das amostras em junho de 2016.....	261
Figura 138 – Geometria da Seção A-A'. Situação das cotas do preenchimento do maciço de rejeitos em junho2016.	262
Figura 139 – Seção A-A'. Resultado da análise de estabilidade para o talude inferior, FS = 1,463.	263
Figura 140 – Seção A-A'. Resultado da análise de estabilidade para o talude superior, FS = 2,26.	263
Figura 141 – Vista superior do maciço de rejeitos, quando finalizado, segundo projeto elaborado para o empreendimento, com detalhe das seções B-B' e C-C'.	265
Figura 142 – Seção B-B'. Situação futura do maciço de rejeitos, quando totalmente preenchido, segundo projeto elaborado para o empreendimento.	266
Figura 143 – Seção B-B', lado direito. Resultado da análise de estabilidade para o talude inferior, FS = 1,351.	267
Figura 144 – Seção B-B', lado direito. Resultado da análise de estabilidade para o talude intermediário, FS = 1,567.	267
Figura 145 – Seção B-B', lado direito. Resultado da análise de estabilidade para o talude superior, FS = 1,427.	268
Figura 146 – Seção B-B', lado esquerdo. Resultado da análise de estabilidade para o talude inferior, FS = 1,608.	268
Figura 147 – Seção B-B', lado esquerdo. Resultado da análise de estabilidade para o talude superior, FS = 1,629.	269
Figura 148 – Seção C-C', lado direito. Análise de estabilidade para o segundo talude contado de baixo para cima, FS = 1,503.	270

Figura 149 – Seção C-C', lado direito. Análise de estabilidade para o primeiro talude, FS = 2,409.	271
Figura 150 – Seção C-C', lado direito. Análise de estabilidade para o terceiro talude contado de baixo para cima, FS = 1,810.	271
Figura 151 – Seção C-C', lado direito. Análise de estabilidade para o quarto talude contado de baixo para cima, FS = 1,682.	272
Figura 152 – Seção C-C', lado esquerdo. Análise de estabilidade para o talude superior, FS = 1,429.	272
Figura 153 – Seção C-C', lado esquerdo. Análise de estabilidade para o talude inferior, FS = 2,139.	273
Figura 154 – Percentuais de rejeitos gerados na pedreira de granito amarelo da Empresa A no período pesquisado, com detalhe para a média ponderada obtida de cerca 89%.....	305
Figura 155 – Quantitativo de blocos de granito amarelo comercializados e de rejeitos gerados na pedreira da Empresa A.	306
Figura 156 – Percentuais de rejeitos gerados na pedreira de granito amarelo da Empresa B no período pesquisado, com detalhe para a média ponderada obtida de cerca 83%.....	308
Figura 157 – Quantitativo de blocos de granito amarelo comercializados e de rejeitos gerados na pedreira da Empresa B.	309
Figura 158 – Curva granulométrica do casqueiro britado do granito amarelo.	310
Figura 159 – Curva granulométrica do casqueiro britado do granito cinza andorinha.	319
Figura 160 – Curva granulométrica do casqueiro britado do granito verde pavão.	328
Figura 161 – Resultado laboratorial do ensaio de permeabilidade à carga variável, para a amostra indeformada de solo coletada da barreira mineral	

de fundo implantada na célula do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 14545 da ABNT (2000)).	396
Figura 162 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 01.	397
Figura 163 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 02.	398
Figura 164 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 03.	398
Figura 165 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 04.	399
Figura 166 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 05.	399

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Dimensões médias dos blocos de granito para o desdobramento em teares multilâminas convencionais. Fonte: Adaptado de Prezotti et al. (2011).....	56
Tabela 2 – Estudos analisados que utilizam resíduos de rochas ornamentais e suas possíveis aplicações.	63
Tabela 3 – Propriedades geotécnicas do lodo de abrandamento por cal no tratamento de águas, avaliado como material para barreira mineral de aterros sanitários. Fonte: Dabska, 2019.....	68
Tabela 4 – Propriedades geotécnicas da ganga de carvão avaliada como material para barreira mineral. Fonte: Wu et al., 2017.	69
Tabela 5 – Dimensões médias dos blocos de granito para o desdobramento em teares multilâminas convencionais. Fonte: Adaptado de Prezotti et al. (2011).....	119
Tabela 6 – Ensaios realizados para caracterização dos casqueiros de granitos em função dos usos propostos.	125
Tabela 7 – Corpos de prova dos casqueiros de granitos utilizados para os ensaios de resistência à compressão simples.	132
Tabela 8 – Corpos de prova utilizados para o ensaio de resistência puntiforme.	135
Tabela 9 – Taxas de aproveitamento e da geração de rejeitos na exploração de rochas de acordo com as variedades, segundo Rocha (2016). Fonte: Rocha (2016).....	176
Tabela 10 – Percentuais encontrados nas curvas granulométricas dos casqueiros de granitos britados.....	178

Tabela 11 – Faixas Granulométricas requeridas para o uso de britas como Lastro Ferroviário (NBR 5564 da ABNT (2011)) e Macadame Hidráulico (DNER ES 316, 1997).	180
Tabela 12 – Faixas Granulométricas requeridas para o uso de britas como Agregado Graúdo para Concreto (NBR NM 248 da ABNT (2003)) e Base Rodoviária (DNER ME 080, 1994 e DNIT, 2006).	181
Tabela 13 – Resultados dos ensaios de laboratório realizados e valores limitantes exigidos pelas normativas técnicas, para os diferentes usos propostos para os casqueiros de granitos pesquisados.....	185
Tabela 14 – Corpos de prova dos casqueiros de granitos utilizados para os ensaios de resistência à compressão simples. Fonte: Autor.....	190
Tabela 15 – Resultados da relação entre Co e os valores médios obtidos para os ensaios de resistência à compressão simples e à carga puntiforme, realizados para os casqueiros de granitos estudados.....	194
Tabela 16 – Porcentagem dos minerais constituintes no granito amarelo.	198
Tabela 17 – Porcentagem dos minerais constituintes no granito cinza andorinha.	199
Tabela 18 – Porcentagem dos minerais constituintes no granito verde pavão.	199
Tabela 19 – Caracterização e classificação dos casqueiros de mármore e granitos em função da cor da rocha pesquisado por Braga et al. (2010). Fonte: Braga et al. (2010).....	201
Tabela 20 – Percentuais obtidos na distribuição granulométrica da lama do beneficiamento de granitos pesquisada.	211
Tabela 21 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica para os 15 corpos de prova da lama de beneficiamento de granitos, moldados a partir dos resultados dos ensaios de compactação.....	214

Tabela 22 – Resultados das resistências à compressão simples dos 15 corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.....	217
Tabela 23 – Resultados dos ensaios de contração volumétrica dos 15 corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.....	219
Tabela 24 – Porcentagem dos minerais constituintes no granito amarelo.	222
Tabela 25 – Exemplo de plano para o plantio com espécies arbustivas-arbóreas da mata atlântica no entorno de áreas a serem restauradas com essas espécies.....	235
Tabela 26 – Percentuais obtidos em função das faixas granulométricas das 5 amostras de lama do beneficiamento de granitos pesquisadas.	246
Tabela 27 – Resumo dos resultados médios e desvios padrão dos parâmetros geotécnicos obtidos para as cinco amostras da lama do beneficiamento de granitos.	248
Tabela 28 – Leituras realizadas nos piezômetros em junho de 2016.....	250
Tabela 29 – Nível de segurança desejado contra a perda de vidas. Fonte: Norma NBR 11682 da ABNT (2009).	258
Tabela 30 – Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais. Fonte: Norma NBR 11682 da ABNT (2009).....	258
Tabela 31 – Fatores de segurança mínimos para deslizamento. Fonte: Norma NBR 11682 da ABNT (2009).	259
Tabela 32 – Resumo dos resultados dos parâmetros geotécnicos obtidos para as cinco amostras da lama do beneficiamento de granitos.....	260
Tabela 33 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção A-A'.	264

Tabela 34 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção B-B', lado direito.....	269
Tabela 35 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção B-B', lado esquerdo.....	270
Tabela 36 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção C-C', lado direito.	273
Tabela 37 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção C-C', lado esquerdo.	274
Tabela 38 – Planilha de produção de granito amarelo na pedreira da Empresa A no período pesquisado de janeiro de 2010 a maio de 2013.	304
Tabela 39 – Planilha de produção de granito amarelo na pedreira da Empresa B no período pesquisado de julho de 2015 a julho de 2016. ...	307
Tabela 40 – Análise granulométrica do casqueiro britado de granito amarelo (NBR 7181 da ABNT (2016)).....	310
Tabela 41 – Teor de umidade do casqueiro britado do granito amarelo. (NBR 7181 da ABNT (2016)).....	311
Tabela 42 – Teor de material pulverulento do casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 46 da ABNT (2003).	311
Tabela 43 – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).....	311
Tabela 44 – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo B da ANBT (2011).	316
Tabela 45 – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011).	317

Tabela 46 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 45 da ABNT (2006)).	318
Tabela 47 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 45 da ABNT (2006)).	319
Tabela 48 – Análise granulométrica do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 7181 da ABNT (2016)).	319
Tabela 49 – Teor de umidade do casqueiro britado do granito cinza andorinha. (NBR 7181 da ABNT (2016)).	320
Tabela 50 – Teor de material pulverulento do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR NM 46 da ABNT (2003)).	320
Tabela 51 – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).	320
Tabela 52 – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo B da ANBT (2011)).	325
Tabela 53 – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011)).	326
Tabela 54 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR NM 45 da ABNT (2006)).	327
Tabela 55 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 45 da ABNT (2006)).	328
Tabela 56 – Análise granulométrica do casqueiro britado do granito verde pavão (NBR 7181 da ABNT (2016)).	328
Tabela 57 – Teor de umidade do casqueiro britado do granito verde pavão. (NBR 7181 da ABNT (2016)).	329
Tabela 58 – Teor de material pulverulento do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR NM 46 da ABNT (2003)).	329

Tabela 59 – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).	329
Tabela 60 – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo B da ABNT (2011)).	334
Tabela 61 – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011)).	335
Tabela 62 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR NM 45 da ABNT (2006)).	336
Tabela 63 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 45 da ABNT (2006)).	337
Tabela 64 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples dos casqueiros dos granitos amarelo, cinza andorinha e verde pavão (NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011)).	338
Tabela 65 – Resultados do ensaio de carga puntiforme (Point Load Test) nos casqueiros de granitos, realizados no laboratório do GTEP PUC/Rio.	339
Tabela 66 – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).	341
Tabela 67 – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).	352
Tabela 68 – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).	363

Tabela 69 – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)). 374

Tabela 70 – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)). 385

“O homem erudito é um descobridor de fatos que já existem, mas o homem sábio é um criador de valores que não existem e que ele faz existir”.

Albert Einstein

1. Introdução

O setor de mineração se encontra em constante desenvolvimento, incluindo o de rochas ornamentais, e movimenta outros grandes setores da economia mundial. Ao longo dos processos produtivos de exploração de blocos até a fabricação de chapas e peças de revestimento, grandes volumes de resíduos são gerados, tornando-se, assim, passivos ambientais para o mercado das rochas dimensionadas.

No ano de 2019, segundo ABIROCHAS (2020), o Brasil exportou rochas ornamentais para 119 países, sendo que os EUA responderam por 62% do total desse faturamento, seguidos pela China (12,1%), Itália (6,3%), México (3,0%), Reino Unido (1,7%) e Espanha (1,0%). Para os demais destinos, foram exportadas 12,4% das rochas ornamentais brasileiras.

Segundo ABIROCHAS (2018a), o mercado produtor internacional de rochas dimensionadas tem uma produção de aproximadamente 152 milhões de toneladas/ano e está presente nos continentes asiático, europeu, africano e americano, tendo como principais países produtores a China (32,2%), a Índia (16,1%), a Turquia (8,1%), o Irã (5,7%) e o Brasil (5,4%).

Das exportações brasileiras, o estado do Espírito Santo permaneceu como o principal estado exportador de rochas ornamentais, respondendo por 82% do total do faturamento e 77% do total do volume físico, seguido por Minas Gerais com cerca de 12% e 17%, respectivamente (ABIROCHAS, 2020). Para esse estado, o total faturado no ano de 2018 nas exportações de rochas ornamentais representou cerca de 8% do seu Produto Interno Bruto (SINDIROCHAS, 2019).

Apesar do contínuo crescimento do setor, da sua contribuição econômica ao PIB nacional e da notória relevância do Brasil no cenário de exportações das rochas, as atividades de exploração e beneficiamento de rochas ornamentais têm produzido grandes volumes de resíduos ao longo da cadeia de produção, gerando um passivo ambiental para as empresas do setor (Singh et al., 2016; Galetakis e Soultana, 2016; Souza et al., 2011).

Entretanto, o uso desses resíduos pode se tornar um recurso valioso se for adequadamente projetado para uma solução bem-sucedida, como uma substituição

parcial de cimento no concreto, contribuindo para a construção sustentável (Ramos et al., 2013).

Gomes et al. (2018) afirma que há uma tendência crescente de reutilização de resíduos industriais, a fim de se reduzir seu impacto ambiental: neste sentido, uma alternativa típica para um resíduo é incorporá-lo a um processo produtivo, que possa ser economicamente viável.

Com o aumento da conscientização ambiental, é essencial explorar soluções alternativas para o problema de descarte de resíduos (Sadek et al., 2016; Sarici e Ozdemir, 2018).

Além da geração excessiva de resíduos nas etapas da exploração e do beneficiamento, deve-se frisar que o mercado de rochas ornamentais, bem como muitos outros mercados nacionais e internacionais, ainda é predominantemente gerenciado por um modo de produção linear, também denominado de “*take-make-waste*” (Ellen Mac Arthur Foundation, 2020).

Na busca por tecnologias inovadoras e ambientalmente adequadas, a área da geotecnia ambiental vem comprovando, por meio de inúmeras pesquisas (Cabello et al. (2013), Borges et al. (2018), Zanna et al. (2017), Chabannes et al. (2015)), que o uso de resíduos gerados por diversos setores de produção é uma exímia alternativa para a viabilização econômica de grandes obras na engenharia. Os insumos comumente empregados na área da construção são recursos minerais finitos, não renováveis e com alto valor agregado, elevando significativamente os orçamentos dos empreendimentos (Andreas et al., 2014).

A teoria da Economia Circular, que propõe reincorporar materiais e produtos/resíduos em diferentes níveis de produção, fomenta ainda mais a mudança da metodologia produtiva nos setores industriais. Fundamentada em três pilares (valorização da matéria-prima, maximização dos rendimentos e eficiência dos recursos), a teoria da Economia Circular possui caráter regenerativo e restaurativo, propiciando um fluxo fechado de produção com a utilização de resíduos como insumos em diferentes ciclos de produção (Ellen Mac Arthur Foundation, 2015).

Além da Economia Circular, outros conceitos foram estabelecidos mundialmente, buscando a aplicação contínua de estratégias ambientais preventivas

integradas aos processos, produtos e serviços com o intuito de aumentar a ecoeficiência e reduzir os riscos à saúde e ao meio ambiente.

De acordo com MMA (2020), a Produção Mais Limpa (P + L) foi definida no início da década de 1990, em consonância com os acordos multilaterais estabelecidos na Rio 92, pela Organização pelo Desenvolvimento Industrial da Nações Unidas - UNIDO e pelo Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas - PNUMA. Ao longo da última década, esse conceito foi ampliado, devido às pressões de Organizações Não Governamentais, dos consumidores, da competição do mercado e de novos instrumentos de políticas públicas, e passou a incorporar novas variáveis, critérios e princípios, incluindo as questões sociais que estavam relegadas em relação às ambientais, evoluindo para a ideia de “Produção e Consumo Sustentáveis” (PCS), que reúne as duas pontas do processo produtivo com impacto direto na sustentabilidade.

Seager et al. (2002) descrevem um outro conceito, denominado Ecologia Industrial, no qual, em sua concepção, sistemas industriais são similares aos ecossistemas naturais, nos quais pouquíssimas perdas são verificadas. Desta forma, sugere a modelagem de sistemas industriais como os ecológicos, nos quais muito pouco é descartado ou perdido, o que potencializa seu papel de guia para a melhoria da sustentabilidade. Esse conceito, segundo os autores, representa um conjunto de princípios de projetos e operação padronizados de acordo com os próprios mecanismos naturais, em que matéria-prima e rejeitos têm a mesma função para diferentes organismos, propiciando a minimização do desperdício e a eficiência ambiental.

Com base nos conceitos citados, o redirecionamento dos resíduos de rochas ornamentais acarretará a progressiva extinção das extremidades negativas dos métodos lineares dos processos de produção e numa consequente promoção do método cíclico e fechado de mercado. Ressalte-se que estes processos incluem as etapas da exploração e do beneficiamento, tanto para o próprio ciclo das rochas ornamentais, como para os demais ciclos produtivos do setor.

Os casqueiros de rochas ornamentais, que são resíduos de rochas ornamentais de maiores dimensões, podem ser britados e utilizados em diversas

finalidades: como agregados no concreto, lastro ferroviário, macadame hidráulico e outros fins que atendam as normativas técnicas vigentes.

Os resíduos oriundos dos processos de beneficiamento e polimento de granulometria mais fina possuem características adequadas para o emprego em diversas estruturas e produtos, como, por exemplo, a utilização da lama desaguada do beneficiamento como barreira mineral de fundo e cobertura de células de aterros industriais e na restauração ecológica de cavas de mineração extintas. Obviamente, além das dimensões e granulometrias, outras especificações técnicas deverão ser atendidas para os diferentes usos propostos para os resíduos de rochas ornamentais.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho é a elaboração de um sistema de gestão ambiental para os resíduos de rochas ornamentais do tipo granito. Neste sistema, espera-se que haja quantificação dos resíduos gerados nas etapas da exploração e do beneficiamento dos blocos dimensionados, com posterior categorização dos mesmos para os diferentes usos propostos, aplicando os conceitos da ecoeficiência em processos produtivos, visando o máximo aproveitamento desse recurso mineral. Para determinados tipos desses resíduos, é parte ainda desse sistema de gestão ambiental a proposta de uma forma de destinação final adequada que resultará na restauração ecológica de cavas de mineração extintas ou exauridas, aplicando-se técnicas utilizadas em aterros sanitários e industriais de rejeitos e na recuperação de áreas degradadas.

1.2. Organização do Trabalho

Esse trabalho está organizado em 7 capítulos, incluindo o capítulo introdutório.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, descrevendo o processo produtivo de rochas ornamentais desde a exploração até o beneficiamento final, a geração de resíduos de rochas ornamentais nas diferentes etapas da produção e os usos propostos para esses resíduos por diversos pesquisadores, a definição de conceitos de processos de produção pautados na ecoeficiência (Economia Circular, Produção mais Limpa e Ecologia Industrial), a recuperação, segundo a legislação

brasileira, e a restauração ecológica de áreas degradadas pela mineração, incluindo a apresentação de dois estudos de caso em implantação no estado do Espírito Santo.

O Capítulo 3 descreve os materiais e métodos utilizados, apresentando os trabalhos de campo realizados para as coletas de dados e amostras de resíduos de rochas ornamentais do tipo granito, os cálculos para suas quantificações, as caracterizações físicas, químicas, mineralógicas e classificações quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde do homem, realizadas em função dos usos propostos para esses resíduos neste trabalho.

No Capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados obtidos no programa ambiental, relacionados aos resíduos provenientes da etapa da exploração de granitos, e no Capítulo 5, aqueles relacionados à etapa do beneficiamento dos blocos dimensionados, comparando-os, nesses dois capítulos, com resultados de outros pesquisadores.

O Capítulo 6 apresenta o sistema de gestão ambiental proposto para os resíduos de rochas ornamentais do tipo granito sob a ótica dos conceitos de processos de produção ecoeficientes e uma proposta de restauração ecológica de cavas de mineração de rochas extintas ou exauridas, apresentando ainda um estudo de caso monitorado.

O Capítulo 7 refere-se às conclusões desse trabalho, seguido pelas Referências e Anexos, onde encontram-se planilhas de cálculos, gráficos e laudos laboratoriais realizados.

2. Revisão Bibliográfica

Nesse capítulo, é abordada a importância econômica do setor de rochas ornamentais para o Brasil e para o estado do Espírito Santo, onde foram realizadas as pesquisas de campo desse trabalho. São descritas as etapas do processo produtivo de rochas ornamentais do tipo granito da exploração até o beneficiamento final, a geração, as caracterizações e os usos propostos para os resíduos gerados por diversos pesquisadores.

Também são abordados os conceitos relacionados a processos de produção industriais pautados na ecoeficiência (Economia Circular, Produção mais Limpa e Ecologia Industrial), a definição de recuperação, segundo a legislação brasileira, e a restauração ecológica de áreas degradadas pela mineração.

Vale ressaltar que as rochas ornamentais produzidas no estado do Espírito Santo, responsável por cerca de 82% do faturamento das exportações brasileiras e cerca de 78% da capacidade de serragem do parque nacional de máquinas e equipamentos destinados à essa produção, são exclusivamente dos tipos granito e mármore, com pequeno percentual para esse último. (ABIROCHAS, 2020)

Segundo Calmon et al (2007), dos 93% dos diferentes tipos de rochas beneficiadas em aproximadamente 80 indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais associadas à AAMOL- Associação Ambiental Monte Líbano, no município de Cachoeiro de Itapemirim, situado no sul do Estado do Espírito Santo, 19% são de granito amarelo, 18% de granito verde, 15% de granito cinza, 14% de granito preto, 12% de granito branco e 10% de mármore branco.

Dessa forma, as pesquisas de campo realizadas ao longo do estado do Espírito Santo no presente trabalho, limitaram-se a identificar os impactos ambientais negativos relacionados aos resíduos gerados nas etapas da exploração e do beneficiamento de rochas ornamentais do tipo granito – ressaltando-se que estes impactos são proporcionais à grande produção estadual desse mineral.

Importante também destacar sobre as duas diferentes definições observadas ao longo do desenvolvimento das pesquisas de campo e nas referências citadas neste trabalho por diversos pesquisadores, órgãos públicos ambientais licenciadores, consultores técnicos e também por empresas do setor de rochas

ornamentais, para as rochas não passíveis de comercialização, seja pela qualidade ou por exigências do mercado. Algumas das vezes, esses materiais são chamados de “resíduos” (Campos et al., 2014; Dino et al., 2013; Medina et al., 2017; Lopes et al., 2019; Singh et al., 2016b) e outras de “rejeitos” (Chiodi Filho, 2009; Sardou Filho et al., 2013; Reis et al., 2007), como sinônimos para esses materiais considerados não passíveis de comercialização.

Porém, a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010), define resíduo como todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, não significando a inexistência de valor econômico, podendo ser reaproveitado ou reciclado por outros processos produtivos. Diferencia, ainda resíduo de rejeito, definindo ser esse um tipo específico de resíduo sólido quando todas as possibilidades de reaproveitamento ou reciclagem já tiverem sido esgotadas e, não havendo solução final para o item ou parte dele, a única solução é destiná-lo em local devidamente licenciado para a disposição final.

Estabelece ainda a PNRS (BRASIL, 2010), que todo operador de aterros sanitários ou industriais poderá realizar a disposição final somente de materiais, substâncias, objetos ou bens considerados como rejeitos, e não como resíduos, determinando ainda ações de fiscalização rígidas quanto à distinção dos materiais descartados.

Sendo assim, neste trabalho, serão mantidas nas citações dos diferentes autores pesquisados a terminologia por eles utilizadas. Porém, nas citações da presente pesquisa, será utilizada a palavra resíduo para definir o material resultante das etapas da exploração e do beneficiamento de granitos, que ainda não possua comprovação técnica e econômica que o torne inviável para o uso em outros processos produtivos. A palavra rejeito será utilizada somente para definir o material determinado como inservível para o uso em outros processos produtivos e cuja destinação final deva ser em locais devidamente licenciados.

2.1. Importância do Setor de Rochas Ornamentais para o Brasil e o estado do Espírito Santo

Dentre as tipologias rochosas produzidas no Brasil se destacam, em sua grande maioria, os granitos e similares (54,0%), seguido dos mármore e travertinos (22,0%) (ABIROCHAS, 2018b).

Conforme mencionado no capítulo introdutório, o Brasil é o quinto maior produtor mundial de rochas ornamentais (ABIROCHAS, 2018a) e exportou, no ano de 2019, para 119 países, sendo os três principais destinos os EUA, a China e a Itália, correspondendo respectivamente a 62%, 12,10% e 6,3% do total do faturamento das exportações brasileiras (ABIROCHAS, 2020) (Figura 1).

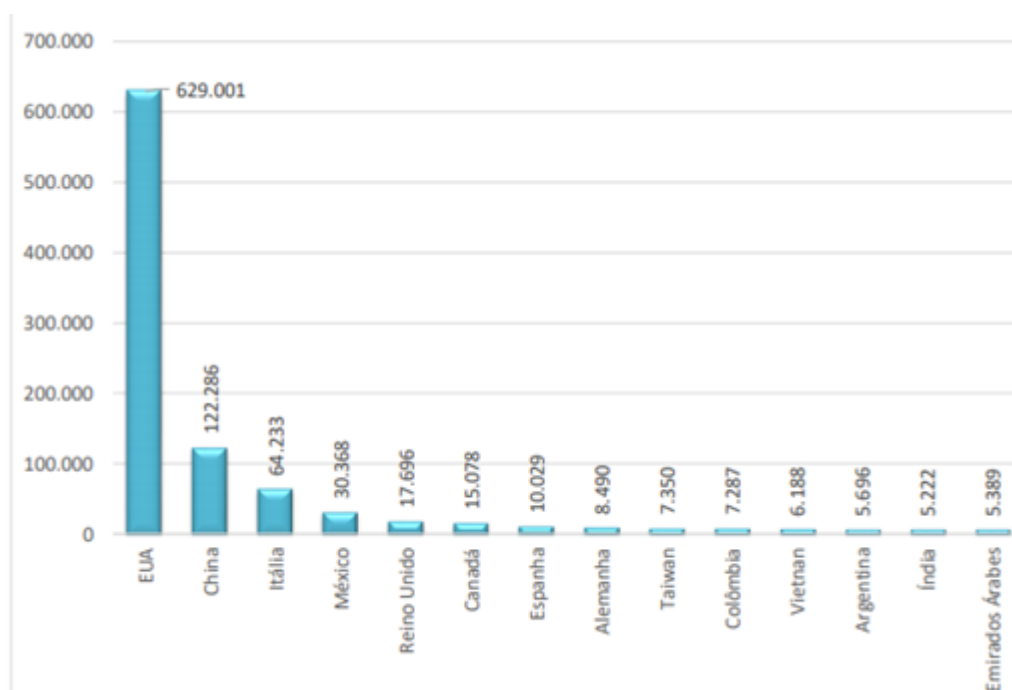


Figura 1 – Exportações brasileiras de rochas ornamentais por país de destino no ano de 2019 (US\$ 1.000). Fonte: ABIROCHAS (2020).

A Figura 2 mostra os principais estados brasileiros exportadores de rochas ornamentais no ano de 2019, com destaque para o Espírito Santo, principal exportador, respondendo por US\$ 827,704 milhões e 82% do total do faturamento brasileiro (ABIROCHAS, 2020).

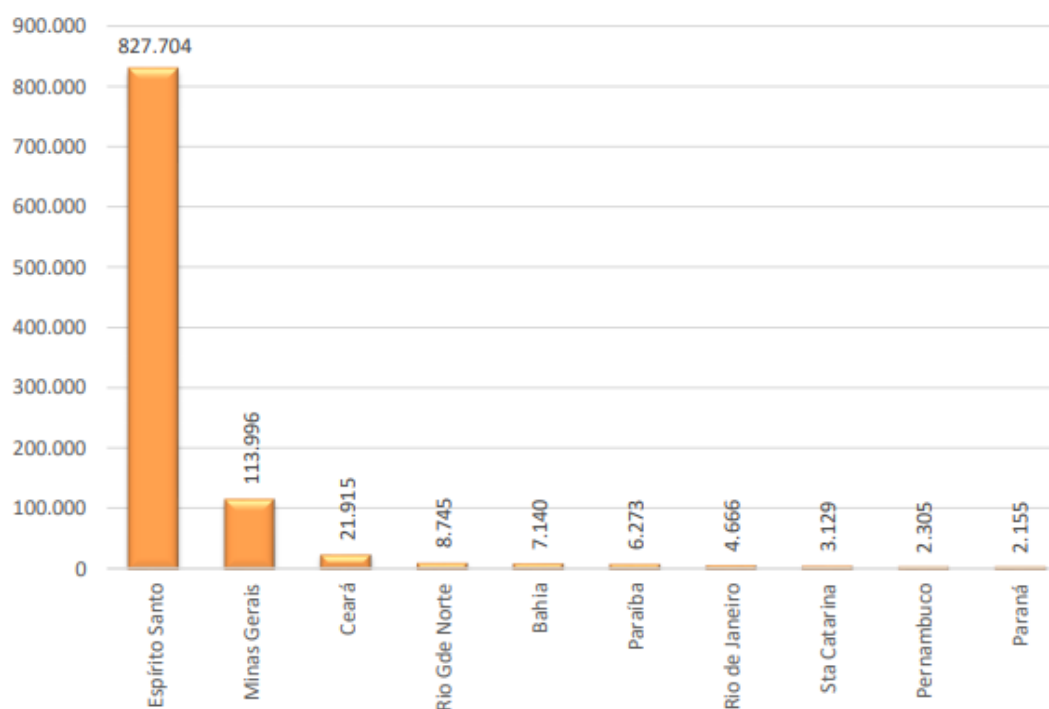


Figura 2 – Principais estados brasileiros exportadores no ano de 2019 (US\$ 1.000). Fonte: ABIROCHAS (2020).

2.2. Etapas da produção de rochas ornamentais do tipo granito / geração de resíduos

As atividades desenvolvidas na produção de rochas ornamentais do tipo granito são apresentadas resumidamente na Figura 3, pelo fluxograma adaptado de Souza (2007) e Sardou Filho et al. (2013) do processo de produção de chapas polidas e acabadas, desde a etapa da exploração dos blocos dimensionados até a etapa da comercialização do produto final.

Campos et al. (2014) estimam que, na indústria das rochas ornamentais, na qual são produzidos diferentes tipos de resíduos desde a exploração no maciço rochoso até as operações finais para produção de placas nas dimensões comerciais, ocorrem perdas de matéria-prima da ordem de 83%.

Singh et al. (2016b) afirmam que na fase de produção industrial do granito cerca de 65,0% da matéria-prima é considerada resíduo.

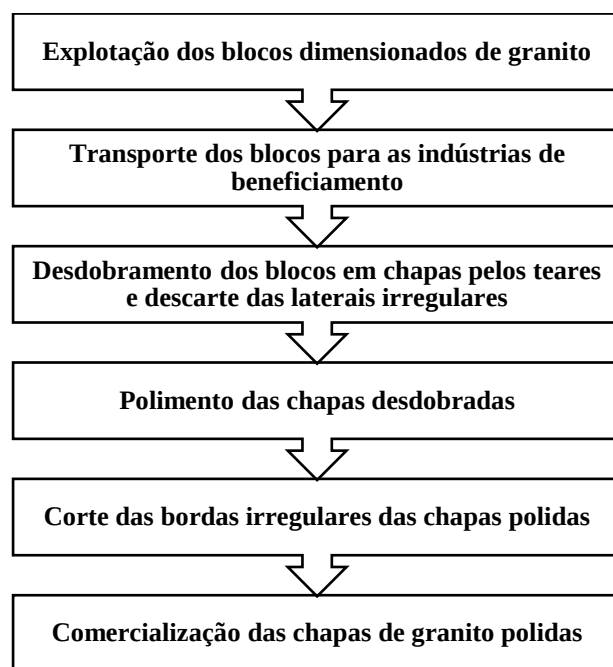


Figura 3 – Fluxograma do processo de produção de blocos e chapas polidas de granito. Fonte: Adaptado de Souza (2007) e Sardou Filho et al. (2013).

Segundo Chiodi Filho e Chiodi (2009), não se pode mais prescindir do aproveitamento dos rejeitos da lavra/beneficiamento de rochas ornamentais. Apesar de algumas iniciativas isoladas para a disposição adequada desses rejeitos, bem como de estudos relativos ao seu aproveitamento econômico, muito pouco foi feito a respeito do assunto no Brasil. Se considerarmos a projeção de aproximadamente 26 milhões t/ano para a produção de rochas em 2030, bem como um índice médio de 60% de recuperação na lavra, serão 10,4 milhões de toneladas de rejeitos gerados anualmente apenas na atividade extrativa.

Se dessas 26 milhões de toneladas subtrairmos 9 milhões de toneladas (valor aproximado) que deverão ser exportadas como rochas brutas, bem como considerando-se perda média de 50% nos processos de beneficiamento e acabamento, teríamos ainda 8,5 milhões de toneladas anuais de rejeitos geradas em 2030. Ainda segundo Chiodi Filho e Chiodi (2009), são tecnicamente conhecidas as diversas possibilidades de aproveitamento de rejeitos/ resíduos como matéria-prima de uso industrial, não se tendo, contudo, promovido uma aproximação entre as indústrias potencialmente consumidoras e os seus possíveis fornecedores, em um trabalho conhecido como simbiose industrial. Os mármore são uma exceção a essa realidade e, ao mesmo tempo, um exemplo de possibilidades, pois quase todos os

seus principais polos mineradores mundiais focados em revestimentos, inclusive no Brasil (Cachoeiro de Itapemirim), tornaram-se hoje também grandes fornecedores de matérias-primas industriais (sobretudo cargas/*fillers*¹).

A necessidade de desenvolvimento tecnológico para o setor industrial de rochas ornamentais em todas as suas etapas de produção, seja para a efetiva produção das rochas ornamentais como para as questões ambientais inerentes a esse processo, é confirmada por ABIROCHAS (2016), ao citar que é esperada para o ano de 2025 a quintuplicação, em relação ao ano de 2016, do consumo mundial e das transações internacionais de rochas ornamentais.

Considerando a evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais (Figura 4) e do crescimento contínuo das exportações de chapas serradas (Figura 5) (ABIROCHAS, 2020), o aumento no quantitativo dos resíduos gerados pelo processamento das rochas nos estados produtores brasileiros é uma consequência imediata.

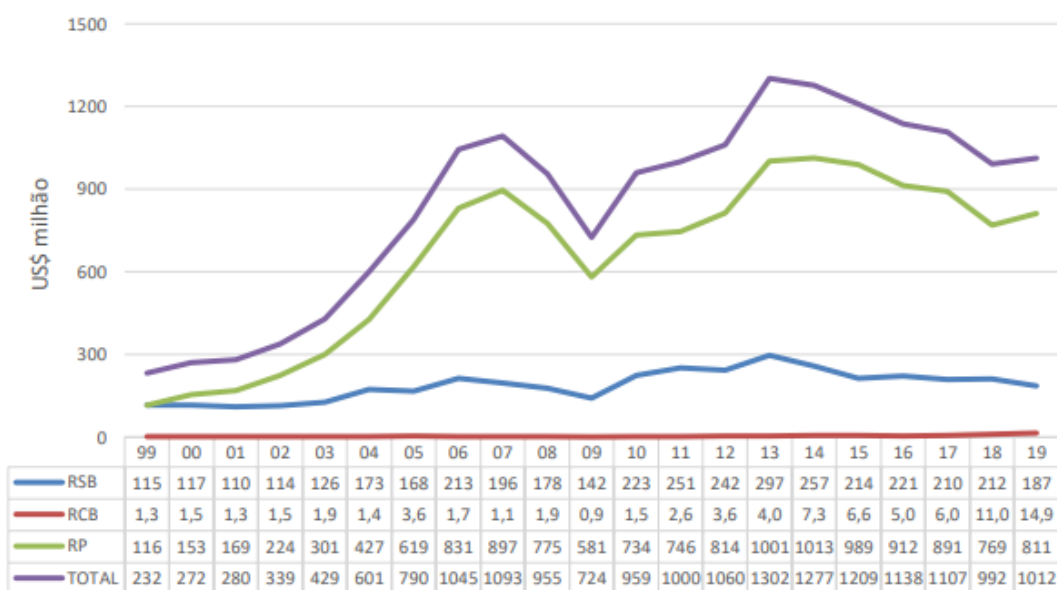


Figura 4 – Evolução anual do faturamento das exportações brasileiras de rochas ornamentais (1999/2019). RSB- blocos de granito, RCB – blocos de mármore e RP – rochas processadas. Fonte: ABIROCHAS (2020).

¹ *Fillers* são agregados finos, cujas partículas tem dimensão transversal compreendida entre 0,07 e 5 mm, utilizados como material de preenchimento para tapar cavidades ou poros em superfícies que se desejam impermeabilizar.

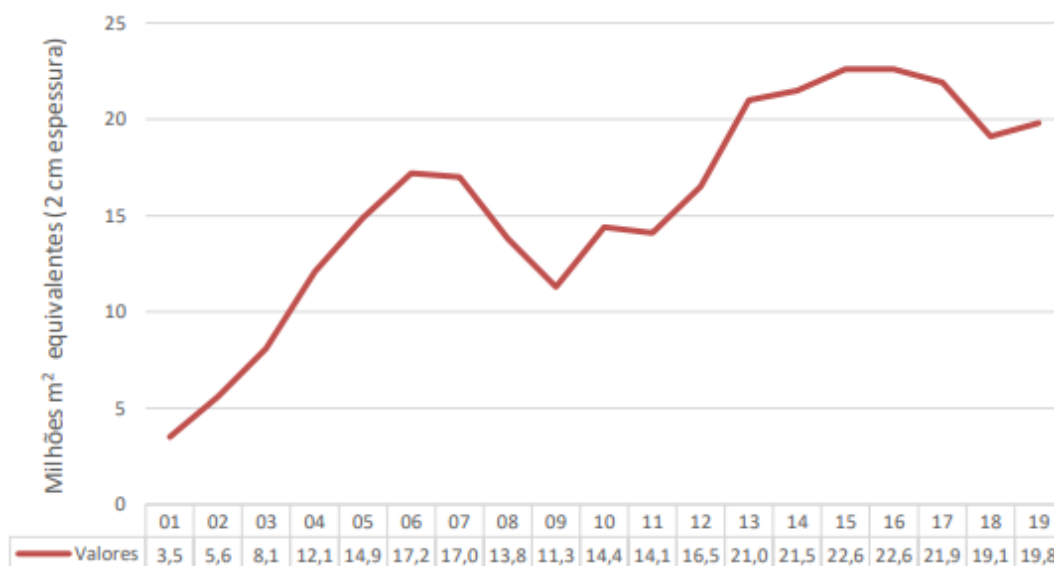


Figura 5 – Evolução anual das exportações brasileiras de chapas serradas de rochas ornamentais (2001/2019). Fonte: ABIROCHAS (2020).

Os vastos volumes de resíduos gerados na exploração de granito ornamental constituem um risco ambiental e de saúde pública (Medina et al., 2017; Lopes et al., 2019). A exploração de pedreiras tem impactos ambientais severos, como a emissão de poeira dispersa no ar, na água e no solo (Galetakis et al., 2012). Subprodutos como o pó de granito e o pó de ferro são materiais perigosos para a saúde humana porque são dispersos no ar e podem ser facilmente inalados (Ghannam et al., 2016).

Segundo Dino et al. (2013), os custos das indústrias de rochas ornamentais para a destinação final da lama desaguada do beneficiamento correspondem a mais de 3% dos seus custos totais de operação. Além disso, a visão de “lixo a ser disposto” contrasta com os princípios das leis europeias de preservação de recursos e recuperação de resíduos.

Relacionados aos principais problemas na gestão dos resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais, Dino et al. (2003) citam o tamanho das partículas na fração silte e poros de pequeno volume, significando que são pouco permeáveis, a presença de metais pesados (Fe, Ni, Cr) e antioxidantes (CaO), relacionados à lama abrasiva dos teares multilâminas convencionais, e do cobre (Cu) e do Cobalto (Co), relacionados aos teares multifios diamantados, e, ainda, a presença de hidrocarbonetos derivados do petróleo, provenientes das perdas de óleos das máquinas utilizadas no processo.

2.2.1. Exploração de rochas ornamentais do tipo granito / quantitativo de resíduos gerados

Segundo Sardou Filho et al. (2013), os métodos de lavras comumente empreendidos para a exploração dos blocos de rochas ornamentais são os de desabamento, de matacões e por bancadas. O método de desabamento consiste no desmonte da rocha por explosivos, que também pode se utilizar de argamassas expansivas, gerando grandes quantidades de material fragmentado e blocos irregulares. O método de lavra de matacões, que são porções definidas de um maciço rochoso, individualizadas pela ação intempérica nas fraturas e destacadas pela erosão, ocasiona problemas ambientais devido às impurezas e alterabilidades dos minerais normalmente encontrados nessas rochas, gerando, assim, grandes volumes de rejeitos, o que dificulta severamente a recuperação das áreas de exploração.

Ainda segundo Sardou Filho et al. (2013), o método de lavra por bancadas é indicado para maciços rochosos que apresentam grande heterogeneidade qualitativa e estrutural, no qual a seletividade da lavra resulta em um trabalho de difícil realização, que requer a montagem de uma estrutura de ataque que possibilite a exploração e a seleção dos blocos. Realiza-se, portanto, através do isolamento de volumes primários da rocha e o seu desdobramento em painéis verticais, cuja altura das bancadas é igual a um número múltiplo de uma das dimensões do bloco comercial (6 a 12 metros) e espessura igual a uma dimensão. É comum que os trabalhos de lavra sejam conduzidos através de bancadas únicas ou múltiplas, com altura, de modo geral, variável entre 6 e 12 metros.

Souza (2007) cita que o método de lavra por bancadas baixas é adotado na fase inicial de abertura das pedreiras, como também em casos em que não exista possibilidade de se conduzir a lavra em profundidade, por causa da limitação da ocorrência. É muito utilizado na exploração de blocos de mármore no município de Cachoeiro de Itapemirim, ES. Cita, ainda, que a limitação deste método é justamente o significativo volume de rejeitos gerados, correspondentes a aproximadamente 80% do material lavrado.

Silva et al (2016) afirmam que o principal resíduo gerado na lavra, por sua maior representatividade em volume, é o resíduo grosseiro, constituído de pedaços

de rocha, proveniente das etapas de desmembramento das bancadas e recorte em blocos. Com base em dados em campo, em média, nas pedreiras de rochas ornamentais, apenas 20% a 25% do volume explotado é aproveitado sob a forma de blocos.

De acordo com o pesquisador, o tamanho do problema pode ser medido pelo volume de material residual existente nas pedreiras: só em 2014 teriam sido geradas quase 30 milhões de toneladas de resíduos, considerando que, nesse ano, a produção de rochas ornamentais do país foi de 10,13 milhões de toneladas (ABIROCHAS, 2015), com uma taxa de aproveitamento média, na exploração, de 25%.

Reis et al. (2007) registra que, mesmo com as adequações legais e ambientais em aplicação nas pedreiras de exploração de rocha, cerca de 90,0% do volume mineral explotado é considerado rejeito.

Segundo Vagnon et al. (2020), na Itália, as rochas ornamentais representam um ativo econômico significativo e a sustentabilidade na extração dessas rochas depende das tecnologias disponíveis, o que tem crescido progressivamente, com o uso extensivo de pás carregadoras frontais, serras de fios diamantados e máquinas de perfuração hidráulica em linha.

2.2.2. Beneficiamento de rochas ornamentais do tipo granito / tipos e quantitativos de resíduos gerados

Posteriormente a etapa da exploração nas jazidas, os blocos dimensionados de granitos são transportados por meio de caminhões apropriados para as indústrias que realizam a etapa do beneficiamento, onde serão desdobrados por meio de teares em chapas (beneficiamento primário), que serão polidas, proporcionando o acabamento superficial que o produto final deverá apresentar (beneficiamento final).

2.2.2.1. Beneficiamento primário: Desdobramento dos blocos dimensionados de granito

No beneficiamento primário, o desdobramento dos materiais brutos explotados das pedreiras em forma de blocos dimensionados, normalmente com dimensões variáveis de 5 a 10 m³, é realizado por meio da serragem em chapas por

teares ou talha-blocos, para posterior polimento, acabamento e esquadreamento, até sua dimensão final para a comercialização (Aguiar, 2012).

Os teares são mais utilizados para o corte de blocos maiores, visando a produção de chapas com 1,5, 2,0 e 3,0 cm de espessura (Silveira et al., 2014), enquanto os talha-blocos são indicados para o corte de blocos menores, cuja serragem em teares seria antieconômica, na produção de chapas, tiras e ladrilhos com cerca de 1 cm de espessura e peças com medidas superiores a 3 cm de espessura (Sardou Filho et al, 2013).

Segundo Silveira et al. (2014), o tear denominado multilâminas convencional é dotado de múltiplas lâminas de aço carbono, de alta dureza, paralelas e dispostas longitudinalmente, que realizam movimentos pendulares (Figura 6). Para otimização do corte e resfriamento das lâminas devido ao atrito aço-rocha, o bloco é banhado constantemente por uma lama abrasiva, composta por água, granalha de aço, como elemento abrasivo, e cal, para evitar a oxidação (Gonçalves, 2000).



Figura 6 – Bloco de granito sendo desdobrado em tear convencional multilâminas.

À medida que a lama abrasiva aumenta a viscosidade, em função da rocha moída que vai se acumulando no decorrer do processo de desdobramento e do reuso, é necessário o descarte de parte da lama e a adequação dos parâmetros necessários à abrasão das rochas, visto que as proporções ótimas para a lama abrasiva são de aproximadamente 66,3% de água, 3,1% de gralha ativa, 1,2% de cal e 29,4% de minerais provenientes da rocha moída (Silveira et al., 2014).

Campos et al. (2014) estimam que sejam geradas 2,2 toneladas de lama por cada metro cúbico de rocha serrada, sendo composta, para os teares multilâminas convencionais, de 67% água, 30% de pó de rocha, 2% de restos limalha de aço e 1% de lâmina e 1% de cal em massa.

Segundo Souza (2012), o tear multifios diamantados consiste de uma estrutura metálica com fios diamantados equidistantes e tencionados, cujo ganho de produtividade no desdobramento dos blocos é maior, se comparado ao tear multilâminas convencional. Fundamentalmente, a tecnologia conta com cabos de aço dotados de pérolas diamantadas, produzidas por meio de liga ferrítica e cristais de diamante, de diâmetro de 5 a 12 mm, fixadas ao longo de sua extensão (Figura 7).



Figura 7 – Bloco de granito sendo desdobrado em tear multifios diamantados.

Segundo Souza (2012), a produtividade dos teares está diretamente relacionada ao rendimento de cada tecnologia e indica a produção (m^2 de chapas desdobradas) em função do tempo de serragem (h), sendo a produtividade do tear multilâminas convencional equivalente a 16,25% da produtividade do tear multifios diamantados, significando que, enquanto o tear multifios diamantados produz 100 m^2 de chapas desdobradas, o tear multilâminas convencional produz apenas 16,25 m^2 no mesmo intervalo de tempo.

Nos estudos realizados por Magacho (2006) e Prezotti et al. (2011), a metodologia utilizada para quantificar os resíduos produzidos nos processos de beneficiamento de granito levou em consideração as dimensões padrões dos blocos explorados no estado do Espírito Santo e as especificações técnicas dos teares, denominados de convencionais, utilizados para o corte dos blocos em chapas.

A Tabela 1, adaptada de Prezotti et al. (2011), apresenta os dados padrões dos blocos dimensionados e das especificações dos teares multilâminas convencionais utilizados no beneficiamento do granito pesquisados.

Tabela 1 – Dimensões médias dos blocos de granito para o desdobramento em teares multilâminas convencionais. Fonte: Adaptado de Prezotti et al. (2011).

Dados do bloco de granito		Dados do beneficiamento	
Dimensões	Valores Médios	Características	Valores Médios
Comprimento (C)	2,90 m	Número de lâminas (n)	75
Largura (L)	2,40 m	Número de chapas (N)	74
Altura (H)	1,80 m	Espessura média das chapas (E)	2,00 cm
Peso do bloco (P)	33,00 Mg	Largura dos casqueiros descartados (laterais externas dos blocos) (Lc)	8,00 cm
Massa específica do bloco (M)	2,63 Mg/m^3	Número médio de serradas por tear multilâmina convencional /mês (Nt)	8

Segundo Prezotti et. al. (2011), para cada serrada por meio de teares multilâminas convencionais de blocos com as dimensões citada na Tabela 1, a perda de rocha no corte das chapas é de 10.441,0 Kg, correspondente a 31,6% do peso total do bloco.

Buzzi (2010), pesquisando sobre a quantificação de resíduos de rochas ornamentais gerados em 81 empresas de beneficiamento de mármore e granitos no município de Cachoeiro de Itapemirim, ES, obteve o indicador de 14,76 Mg de lama desaguada em filtro prensa gerada por bloco desdobrado em teares multilâminas convencionais, para o valor da umidade máxima de 30%.

Além dos teares utilizados no desdobramento dos blocos dimensionados de rochas ornamentais, também podem ser utilizados os chamados talha-blocos (Figura 8), que são equipamentos dotados de somente um disco diamantado de diâmetros variados com capacidade para cortes de grandes profundidades (MECICROL, 2020). Seu emprego é de fundamental importância no aproveitamento de blocos menores, de dimensões inadequadas para o uso nos teares, contribuindo para um maior aproveitamento das rochas exploradas (Sardou Filho et al., 2013), e, ainda, por admitirem movimentação do eixo em ângulos variados, permitindo diferentes formas de desdobramento dos materiais.



Figura 8 – Vista de serra talha blocos. Fonte: MECICROL, 2020.

2.2.2.2. Beneficiamento final do granito: Polimento das chapas desdobradas e corte das bordas laterais

Após o desdobramento dos blocos de granito, as chapas produzidas são encaminhadas para a etapa do beneficiamento final, que se refere aos processos de polimento e de corte das bordas das chapas desdobradas uma vez polidas. O polimento, também conhecido por esmerilhamento, produz o desbaste fino da chapa e o fechamento dos grãos minerais, tendo como resultado uma superfície lisa e opaca. O lustro por sua vez, é aplicado para obtenção de uma superfície espelhada, realçando as propriedades de textura e cor da rocha (Silveira, 2014).

Para essa etapa do processo, os equipamentos utilizados, quais sejam, as politrizes, são dotados de rebolos abrasivos fixados em cabeçotes rotativos que, por sua vez, são aplicados sob pressão e em movimentos circulares sobre a superfície das placas. Como as chapas provenientes do desdobramento de blocos apresentam uma rugosidade elevada, o polimento deve ser realizado através da diminuição gradual dessa rugosidade. Para tal, utilizam-se rebolos de grãos abrasivos de granulometrias diferentes, em sequência decrescente. Para refrigeração do processo e escoamento dos resíduos, utiliza-se um fluxo constante de água (Souza, 2007).

A Figura 9 apresenta politriz automática com cabeçotes rotativos, instalada em indústria de beneficiamento de granito situada no município de Nova Venécia, norte do ES.

Segundo Campos et al. (2014), os resíduos oriundos da atividade de polimento, de granulometria inferior a 0,075 mm, compõem a chamada lama do polimento fluida, cuja quantidade gerada por metro quadrado de chapa é de cerca 3,5 Kg de lama. Essa lama, com alto teor de umidade, é tratada em filtros prensa, separando assim a lama desaguada a ser descartada da porção dos efluentes que retornarão ao processo de beneficiamento.

Para melhor acabamento, adequação das dimensões comerciais das chapas polidas e seleção dos melhores produtos, são gerados, também nesta etapa do beneficiamento final, resíduos como sobras de placas e até mesmo de placas inteiras danificadas (Barreto Neto e Melo, 2013). A Figura 10 apresenta um depósito de casqueiros gerados no corte das chapas beneficiadas em pátio de indústria de beneficiamento de rochas ornamentais.



Figura 9 – Politriz com cabeçotes rotativos instalada em indústria de beneficiamento de granito no município de Nova Venécia, norte do ES.



Figura 10 – Depósito de casqueiros de rochas descartados, provenientes do corte de chapas beneficiadas.

2.3. Utilização dos resíduos de rochas ornamentais

A geração de resíduos provenientes dos processos de exploração e beneficiamento de rochas ornamentais tem sido discutida por muitos pesquisadores em diversos países, devido aos seus impactos ambiental (Galetakis et al., 2012; Singh et al., 2016a; Galetakis e Soultana, 2016; Souza et al., 2011) e social, principalmente quando ao impacto na saúde de trabalhadores e população próxima às jazidas e indústrias de beneficiamento (Ghannam et al., 2016; Medina et al., 2017; Lopes et al., 2019).

Muitos estudos têm sido realizados visando a utilização do chamado “pó de granito”, gerado no processo de desdobramento dos blocos dimensionados e do polimento das chapas, que corresponde à lama do beneficiamento de rochas ornamentais totalmente seca, principalmente para a substituição de matérias-primas convencionais na produção de argamassa (Ramos et al., 2013; Gupta e Vyas, 2018), cimento (Medina et al., 2017; Vazzoler et al., 2018; Sadek et al., 2016), concreto (Li et al., 2016; Ghannam et al., 2016; Ghorbani et al., 2019; Sharma et al., 2017; Singh et al., 2016b); materiais cerâmicos (Moreira et al., 2008; Souza et al., 2010; Souza et al., 2011; Hojamberdiev et al., 2011; Amaral et al., 2019); artefatos de concreto (Galetakis et al., 2012); agregados leves (Moreno-Maroto et al., 2017; Soltan et al., 2016) e tintas (Lopes et al., 2019).

Na China, o aproveitamento de rejeitos da lavra e do beneficiamento, em alguns polos minero-industriais, já chega a 65% do total geral, conforme artigo publicado na China Stone Sources (2009b). Sabe-se que a maior parte desse aproveitamento está ligado à produção de materiais aglomerados, do tipo *marmoglass* e outros (Chiodi Filho e Chiodi, 2009).

Em relação aos resíduos de rochas ornamentais conhecidos como casqueiros de rochas, diversos autores citam que podem ser britados em diferentes granulometrias, de modo que sejam adequadas e constantes para possíveis incorporações em produtos, tais como bases rodoviárias (Akbulut e Gurer, 2007), agregado graúdo para o concreto (Martins et al., 2014; Binici et al., 2008; Pereira et al., 2009; Hebhouh et al., 2011), e lastro ferroviário (DNIT, 2010).

Segundo DNIT (2010), para um ótimo desempenho da brita para o uso em lastro ferroviário, por exemplo, esta deve se apresentar homogênea, resistente, durável, com superfície áspera e angulosa, de forma cúbica e com reduzida absorção. Estas características são fundamentais para que o lastro atue como distribuidor dos esforços solicitantes, impeça significativos deslocamentos horizontais e verticais dos dormentes, atue como suporte parcialmente elástico para absorção de esforços de trepidações e facilite a drenagem da superestrutura.

CHEN et al. (2014) pesquisaram sobre a utilização de diferentes quantidades de cascalhos de granito em misturas granulares melhoradas, como preenchimentos de subleitos ferroviários, e seus resultados indicaram que o coeficiente de permeabilidade aumenta significativamente com o aumento da quantidade na mistura com areia siltosa, especialmente no limite entre 60 a 70%. As investigações indicaram ainda que o módulo de resistência do subleito depende do teor dos cascalhos de granito, aumentando consideravelmente com valores de utilização acima de 50%.

Em relação aos agregados para uso em base rodoviária, que comumente são oriundos de rochas britadas, Bernucci et al. (2010) afirmam que devem promover um ótimo intertravamento do esqueleto sólido, conferindo resistência estrutural à base e sub-base da rodovia. Para tanto, estes devem ser submetidos a ensaios de forma dos grãos, abrasão Los Angeles e durabilidade, para a verificação de seu potencial de uso nas camadas mais profundas do pavimento.

De acordo com Bernucci et al. (2010), os agregados graúdos do macadame hidráulico sobrepõem o uso de britas graduadas simples, possuindo alto potencial hidráulico, alta resistência e baixa deformabilidade. Estes agregados supracitados devem ser resistentes, limpos, duráveis, sem excessos de partículas lamelares ou alongadas e sem contaminações prejudiciais.

Galetakis e Soutana (2016) apresentam uma ampla revisão sobre pesquisas recentes a respeito da produção de materiais de construção à base de cimento produzidos com resíduos de rochas ornamentais, tanto como agregados e materiais substitutivos do cimento. Os estudos foram examinados em termos de materiais constituintes, métodos de preparação, propriedades medidas e usos propostos. O pó

de pedreira e o lodo de mármore foram usados principalmente como agregados finos ou materiais de reposição de cimento na produção de concreto. Outros usos incluíram a produção de elementos de construção, como tijolos de suporte ou decorativos e pedras artificiais.

Singh et al. (2016a) apresentam em seus estudos uma revisão de literatura sobre o efeito do pó de granito nas propriedades do concreto, como trabalhabilidade, tempos de assentamento, resistência à compressão, resistência à tração, resistência à flexão, encolhimento, durabilidade e microestrutura do concreto.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos estudos analisados neste trabalho, que utilizam resíduos de rochas ornamentais e suas possíveis aplicações.

Tabela 2 – Estudos analisados que utilizam resíduos de rochas ornamentais e suas possíveis aplicações.

Resíduo	Aplicação	Local do estudo	Principais resultados	Autor
Pó do granito	Compósitos de escória ativada por álcali	Holanda/China	Os resíduos apresentaram promissor potencial de aplicação com base nos desempenhos e sustentabilidade identificados. A adição de cinzas reduz a resistência à compressão e o pó de granito apresenta menor influência.	Gao et al., 2017
Pó do granito	Incorporação em pavimentos cerâmicos	Brasil	Os resultados indicaram que a adição de resíduo ajustou a plasticidade do corpo argiloso e aumentou a densidade do granel seco, indicando um maior empacotamento. A retração linear sofreu um declínio com o aumento do teor de resíduos, configurando um bom resultado, pois é importante para o controle dimensional dos produtos.	Amaral et al., 2018
Lama de granito e mármore	Produção de agregados leves	Espanha	Em termos gerais, um aumento na temperatura e no tempo de queima envolveu uma sinterização maior, que, por sua vez, traduziu-se em maiores valores de retração, densidade e resistência à compressão, mas menor porosidade e absorção de água.	Moreno-Maroto et al., 2017a
Pó do granito	Produção de piso cerâmico vitrificado	Brasil	Os resultados mostraram que adições de até 30% em peso de resíduo de rocha ornamental causaram variações significativas na generalidade das propriedades tecnológicas da massa cerâmica de referência. A microestrutura das peças cerâmicas também foi influenciada. A substituição de feldspato sódico por esse resíduo tende a melhorar a qualidade do piso cerâmico.	Souza et al., 2011
Pó de granito	Incorporação para a produção de concreto	China	Os resultados mostraram uma melhora na trabalhabilidade do concreto pela introdução de pó de granito. As resistências iniciais do concreto diminuíram, mas as resistências à compressão, as forças de flexão e o módulo de elasticidade aumentaram no estágio posterior, quando a taxa de substituição foi de 20%. Comparado com concreto de cimento puro, a resistência de penetração de cloreto de 56 dias dos concretos modificados foi melhorada notavelmente.	Li et al., 2016

Tabela 2 (cont.) – Estudos analisados que utilizam resíduos de rochas ornamentais e suas possíveis aplicações.

Resíduo	Aplicação	Local do estudo	Principais resultados	Autor
Calcário fino	Produção de blocos de construção	Grécia	Os resultados indicaram que a produção de elementos de construção com características de qualidade aceitáveis pelo mercado é viável.	Galetakis et al., 2012
Pó de granito e de ferro	Produção de concreto com substituto parcial da areia por resíduo	Jordânia	O resultado do teste mostrou que, para uma proporção de 10% de pó de granito no concreto, o aumento na resistência à compressão e flexão foi de cerca de 30% em relação ao concreto normal. A substituição de até 20% de areia por peso por pó de ferro no concreto resultou em aumento da resistência à compressão e à flexão do concreto.	Ghannam et al., 2016
Lama de granito	Produção de cimento a partir da substituição do clínquer	Espanha	A conclusão geral é que os resíduos de corte de granito podem ser usados no projeto de novos cimentos II / A e IV / A de baixo teor de clínquer, uma prática que reduziria a exploração de matéria-prima (calcário) e o risco para a saúde humana, representado por pequenas partículas de granito suspensas no ar.	Medina et al., 2017
Lama de granito	Produção de argamassa de substituição de cimento	Portugal	Os resultados mostraram que o resíduo de lama granítica, produz uma matriz que promove até 38% de redução na expansão, devido à reação alcalino-sílica, e quase 70% de melhora na resistência a cloretos, sem comprometer a trabalhabilidade e a resistência.	Ramos et al., 2013
Pó de granito	Produção de argamassas de cimento com substituição do agregado fino	Índia	Foram estudadas a trabalhabilidade, resistência à compressão, resistência à tração, resistência adesiva, absorção de água, retração de secagem e velocidade de pulso ultrassônico, módulo de elasticidade dinâmico de todas as misturas de argamassa.	Gupta e Vyas, 2018

Tabela 2 (cont.) – Estudos analisados que utilizam resíduos de rochas ornamentais e suas possíveis aplicações.

Resíduo	Aplicação	Local do estudo	Principais resultados	Autor
Pó de granito	Incorporação em tintas de construção civil à base de acetato de vinila	Brasil	Verificou-se que, em ambos os tipos de solos utilizados, as tintas apresentaram melhor poder de cobertura à medida que o resíduo de granito foi adicionado. Tal resultado pode ser explicado pelas características dos resíduos de granito, que promoveram um aumento gradual no teor de sólidos das misturas.	Lopes et al., 2019
Pó de granito	Uso pozolânico do resíduo após tratamento térmico como uma mistura em pasta de cimento Portland.	Brasil	Os resultados indicam que resíduos de processamento de rochas ornamentais, após o tratamento térmico, possuem baixa atividade pozolânica. Quando utilizados na produção de pastas à base de cimento podem fornecer ao produto final uma microestrutura mais densa, devido ao efeito filler, e, possivelmente, devido a uma pequena reação pozolânica.	Vazzoler et al., 2018
Pó de granito	Produção de agregados leves a partir de resíduos graníticos e argila	Egito	Os resultados demonstraram que todos os agregados preparados após a queima a 1200 °C são agregados leves, que podem ser usados em concreto leve como isolantes térmicos e acústicos.	Soltan et al., 2016
Pó de granito	Fabricação de concreto com substituição parcial do cimento	Irã	Os resultados de resistência a compressão e a tração mostraram que o uso de até 20% de pó de granito, como substituição de cimento, não afeta significativamente as propriedades mecânicas das misturas de concreto. No entanto, a mistura de concreto com 10% de pó apresentou a maior resistência de todas. Também foi revelado que a mistura de concreto com 20% de pó mostrou uma maior resistência ao ataque de ácidos e cloretos do que os outros.	Ghorbani et al., 2018

Tabela 2 (cont.) – Estudos analisados que utilizam resíduos de rochas ornamentais e suas possíveis aplicações.

Resíduo	Aplicação	Local do estudo	Principais resultados	Autor
Pó de granito	Uso do resíduo de granito como matéria-prima na síntese de geopolímeros	Camarões	Os resultados mostraram que a reatividade do resíduo de granito é melhorada pelo método de fusão alcalina. A quantidade de fase reativa aumenta significativamente com a quantidade de Na ₂ O durante o processo de pré-ativação. Os resultados de resistência à compressão das argamassas geopoliméricas variaram entre 6,25 e 40,5 MPa, dependendo da quantidade de Na ₂ O usada durante o processo de fusão alcalina.	Tchadjé et al., 2016
Pó de granito	Produção de pisos/ladrilhos para construção civil	Brasil	Os resultados revelaram que a substituição gradual do Na-feldspato por pó de granito acelerou a formação de fase líquida e, portanto, a sinterização, resultando em microestruturas mais densas. Descobriu-se também que esta substituição, na faixa de até 47,5% em peso, permite a produção de pisos melhorados com temperaturas de queima mais baixas.	Souza et al., 2010
Pó de granito	Produção de cerâmica vermelha	Brasil	Os resultados revelaram que o resíduo de rocha ornamental é um material poliminérico não plástico, rico em quartzo, feldspatos, calcita e micáceo mineral. Os corpos de prova sinterizados, contendo resíduos de rocha gnáissica, são adequados para cerâmica vermelha.	Moreira et al., 2008
Pó de granito	Produção de pedra ornamental artificial a partir de pó de pedreira e epóxi	Brasil	A pedra artificial desenvolvida apresentou propriedades mecânicas dentro da faixa padrão esperada, com tensão de ruptura de 30 MPa. A densidade e o comportamento térmico também atenderam a faixa de valores de rochas ornamentais naturais aplicados na construção civil. Esta pedra foi resistente ao ataque químico pelo HCl, com perda de peso de apenas 0,08 g, podendo ser usada para pavimentação de alto tráfego.	Gomes et al., 2018

O uso da lama desaguada do beneficiamento de rochas ornamentais na implantação de camadas de fundo de células e na cobertura superior de aterros industriais e sanitários, vem ao encontro com Guney et al. (2014), em que afirmam que alguns materiais alternativos podem satisfazer as propriedades de engenharia necessárias para a utilização como barreiras minerais, propiciando significativas economias, devido aos valores reduzidos ou até mesmo inexistentes destes materiais.

Rubinos et al. (2013) pesquisaram, por meio de ensaios geotécnicos, a potencialidade do uso de resíduo gerado no refino de bauxita (lama vermelha) na cidade de Lugo, noroeste da Espanha, como barreiras minerais, quando realizaram os ensaios de granulometria, limites de consistência, contração, condutividade hidráulica com permeâmetro de parede rígida, compactação (Standart Proctor) e porosidade. Os valores obtidos para a granulometria resultaram em areia na faixa de 20 a 30%, argila maior do que 15% e pedregulho menor do que 30%. Para os limites de consistência, o Limite de Liquidez, de Plasticidade e o Índice de Plasticidade resultaram em $39 \pm 2\%$, $31 \pm 2\%$ e 8% , respectivamente, sendo o material classificado como lodo argiloso inorgânico com leve plasticidade. A contração média resultou em 3,5%, a densidade seca máxima em $1,69 \text{ g/cm}^3$, com teor de umidade ótima de 28,1%, porosidade dos corpos de prova com 0,509 e a condutividade hidráulica em $2,1 \pm 1,5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$.

Dabska (2019) investigou a viabilidade de utilização do lodo do abrandamento por cal no tratamento de águas como material a ser aplicado em barreiras minerais de aterros sanitários por meio da determinação de propriedades geotécnicas, conforme apresentado na Tabela 3, e propriedades hidráulicas, com enfoque na determinação da condutividade hidráulica por meio do método de carga variável. Considerou na pesquisa diferentes umidades de moldagem, e em duas situações de percolação: curto prazo e longo prazo, sendo esta última avaliada ainda para diferentes líquidos (água da torneira, água destilada, soluções de NaOH e HCl e lixiviado de resíduos municipais).

Os testes revelaram que a compactação e o teor de umidade na moldagem afetaram significativamente a condutividade hidráulica do lodo. Os resultados dos testes de permeabilidade a curto prazo para a água de torneira, de interesse neste

trabalho, mostraram ainda que todos os valores de condutividade hidráulica em gradientes hidráulicos superiores a 30 eram inferiores a $2,5 \times 10^{-9}$ m/s, quando o teor de água se situava entre 27,7% e 36,7% e o grau de compactação se situava entre 0,95 e 1,05, havendo um valor de condutividade hidráulica mais baixo, de cerca de $6,5 \times 10^{-7}$ m/s, para um teor de umidade correspondente de 31%.

Tabela 3 – Propriedades geotécnicas do lodo de abrandamento por cal no tratamento de águas, avaliado como material para barreira mineral de aterros sanitários. Fonte: Dabska, 2019.

Propriedades	Faixa de Valores
Densidade Aparente ρ (Mg/m ³) ^a	1,61 - 1,79
Teor de Umidade w (%)	46,1 - 55,1
Densid. Específica dos Sólidos ρ_s (Mg/m ³)	2,66 - 2,81
Limite de Plasticidade w_p (%)	34,1 - 40,9
Limite de Liquidez w_L (%)	58,4 - 65,3
Limite de Contração w_s (%)	3,4 - 3,73
Índice de Plasticidade I_p (%)	17,5 - 31,2
Densidade Seca Máxima ρ_{ds} (Mg/m ³)	1,28 - 1,40
Teor de Umidade Ótima w_{optm} (%)	28,9 - 37,7

Nota: ^a Após passar pelo filtro prensa.

Wu et al. (2017), por sua vez, avaliaram a viabilidade do uso da ganga de carvão, que é a porção do minério que não tem interesse econômico e que é rejeitada, como material para barreira mineral, por meio de uma série de testes de laboratório em termos de propriedades geotécnicas, conforme apresentado na Tabela 4, e propriedades hidráulicas, com destaque para a condutividade hidráulica, definida a partir do ensaio de permeâmetro de parede flexível, de acordo com a norma ASTM D 5084/10, sob diferentes tensões de confinamento: 50, 100, 200, 300, 400, 500 e 600 KPa, características de sorção e comportamento de lixiviação.

Os resultados da condutividade hidráulica indicaram que, para uma amostra de ganga de carvão consolidada abaixo de 50 KPa, correspondente a um índice de vazios de cerca de 0,64, o valor da condutividade hidráulica fora de cerca de $1,4 \times 10^{-9}$ m/s. Com o aumento da tensão efetiva de 100 para 600 KPa, o índice de vazios

correspondente diminuirá de 0,60 para 0,45 e o valor da condutividade hidráulica diminuirá de $1,0 \times 10^{-9}$ m/s para $0,4 \times 10^{-9}$ m/s. Segundo os autores, essas características indicam que a ganga de carvão tem potencial para ser utilizada como barreira mineral, sobretudo com um índice de vazios menor do que 0,60.

Tabela 4 – Propriedades geotécnicas da ganga de carvão avaliada como material para barreira mineral. Fonte: Wu et al., 2017.

Propriedades Geotécnicas	Valores
Densidade dos Grãos (Gs)	2,54
Limite de Liquidez W_L (%)	28,3
Limite de Plasticidade W_P (%)	17,2
Índice de Plasticidade I_P (%)	11,1
Teor de Umidade Ótima $W_{ótima}$ (%)	17,8
Área Superficial Específica S_a (m ² /g)	8,01
pH	6,14

Na legislação italiana, é estabelecido com o Decreto Legislativo nº 152 (República Italiana, 2006) que os resíduos do beneficiamento de rochas ornamentais podem ser utilizados na restauração ambiental de áreas degradadas abandonadas ou na produção em indústrias de cimento, além de permitir a realização de tratamentos específicos, por meio de consórcios de indústrias, para a produção de materiais brutos secundários ou novos produtos, tais como, solos artificiais, materiais de impermeabilização e outros.

Dino et al. (2013) apresentaram estudos relacionados à utilização dos resíduos gerados por indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais (granitos e gnaisses) em operação na região do Piemonte, nordeste da Itália, com vistas à obtenção de produtos ou subprodutos a serem utilizados como camadas de impermeabilização de obras civis, material de preenchimento de cavas de mineração e de obras civis e ainda solo artificial para restauração de pedreiras e terras abandonadas.

Os pesquisadores obtiveram resultados de estudos geotécnicos para três diferentes tipos de lamas de beneficiamento: lama de teares multifios diamantados,

lama de teares multilâminas convencionais e uma mistura dessas duas lamas, aplicadas em três diferentes formas, as quais forneceram dados suficientes para que possam ser criados novos produtos para uso em barreiras minerais (impermeabilização da camada de fundo ou de cobertura de obras civis com adição de bentonita) e ainda a oportunidade de utilizá-las na reabilitação e recuperação de áreas com solos degradados por processos erosivos.

Dino et al. (2013) sugerem que as lamas do beneficiamento de rochas ornamentais pesquisadas, quando adicionadas a materiais de maiores granulometrias (casqueiros de rochas), poderiam ser utilizadas para preencher jazidas de rochas finalizadas e aterros de obras civis, enquanto essas lamas misturadas com areia, compostos orgânicos e solos vegetais, poderiam ser utilizadas na recuperação da topografia, do solo e da vegetação de jazidas de rochas finalizadas e obras civis. Afirmam ainda que, para essas misturas, o “princípio do berço ao túmulo” seria aplicado: resíduos provenientes das indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais poderiam retornar às jazidas de rochas finalizadas.

Kos e Zawisza (2016) afirmam que aterros industriais ou sanitários, embora sejam as opções mais frequentes para a destinação final de resíduos sólidos, acabam por representar relevante ameaça ao meio ambiente, sendo imprescindível impedir o contato de fluido percolante com o solo/rocha existente e a água subterrânea por meio de uma barreira mineral, o que resulta em um dos principais requisitos para essas construções.

Segundo os pesquisadores, essa barreira mineral pode ser constituída da própria camada do solo natural presente na fundação do aterro sanitário. Todavia, faz-se necessário que seja homogênea, impermeável, sem rachaduras ou interligações com solos permeáveis.

Já Rocca (1993) afirma que uma barreira mineral deve apresentar características essenciais para sua funcionalidade, tais como, estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica e ao intemperismo, com a função de proteger a fundação de aterros industriais e sanitários, evitando a contaminação do subsolo e aquíferos subjacentes.

Relativo aos parâmetros limitantes de condutividade hidráulica para o uso como barreiras minerais em aterros industriais para resíduos classificados como inertes, as normativas e manuais internacionais orientam uma condutividade hidráulica mínima admissível de 1×10^{-9} m/s (DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY, 2007).

A norma NBR 13.896 da ABNT (1997), que fixa as condições mínimas exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos não perigosos, considera necessária a existência de depósito natural extenso e homogêneo de materiais ou de camada artificial impermeabilizante de fundo, com condutividade hidráulica inferior 5×10^{-7} m/s. Estas camadas deverão também atingir resistências e espessuras suficientes para, sobretudo, impedirem a contaminação de águas subterrâneas por águas residuárias do aterro de resíduos. Em relação ao plano de encerramento do aterro, essa norma preconiza que a camada de cobertura da célula de resíduos possua condutividade hidráulica inferior ao solo natural da área do aterro.

Na legislação italiana, o Decreto Legislativo nº 36 (República Italiana, 2003) estabelece que a condutividade hidráulica mínima a ser considerada para materiais utilizados com barreiras minerais em camadas de fundo de aterros de resíduos seja menor ou igual a 1×10^{-9} m/s e menor ou igual a 1×10^{-8} m/s para camadas finais de cobertura.

A Figura 11, adaptada de Environmental Geotechnics (1997), apresenta um resumo dos valores limites mínimos adotados para a condutividade hidráulica e a espessura de barreiras minerais utilizadas em camadas de fundo de aterros para resíduos não-perigosos, segundo as legislações dos diversos países citados.

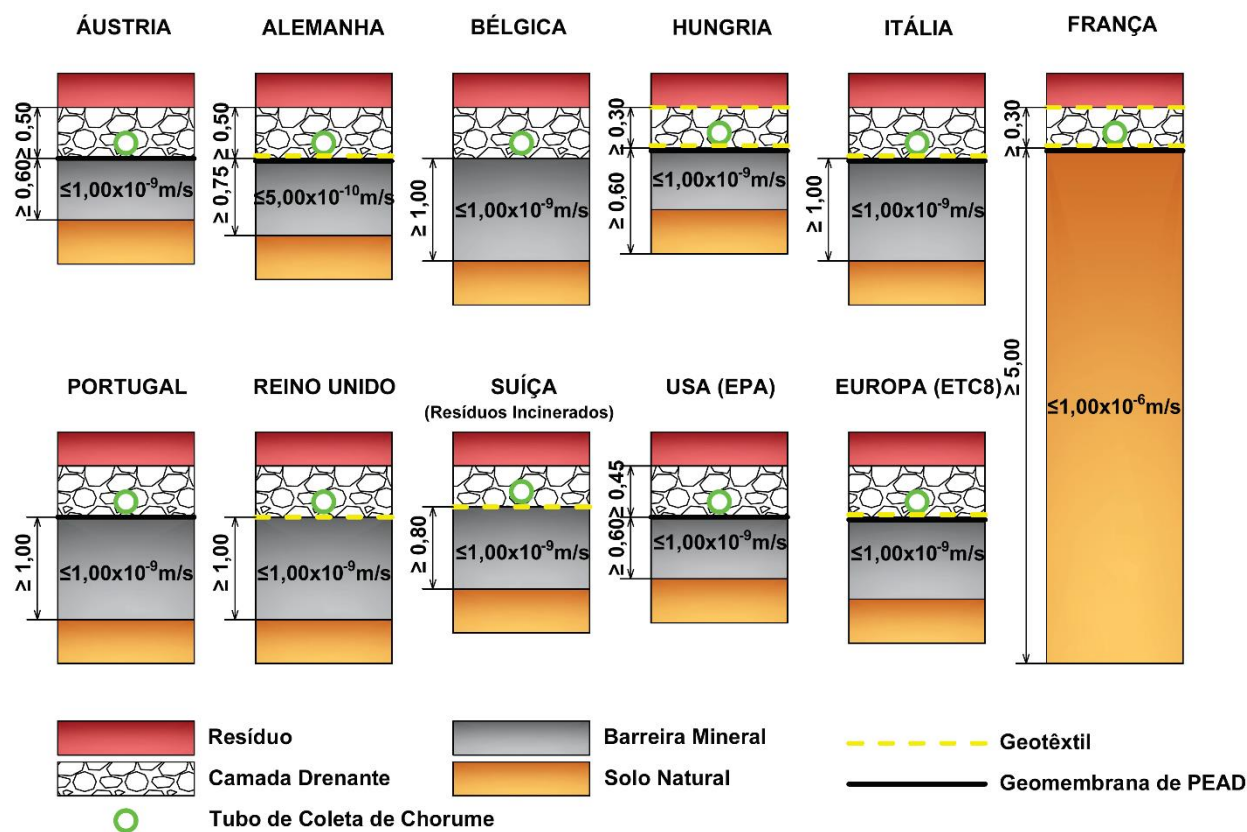


Figura 11 – Limites mínimos adotados para condutividade hidráulica e espessura de barreiras minerais em camadas de fundo de aterros para resíduos não-perigosos. Fonte: Adaptada de Environmental Geotechnics (1997).

Segundo Lambe (1958), a influência do teor de umidade na condutividade hidráulica está relacionada à mudança da estrutura do material, de floculada para dispersa, na qual a estrutura dispersa dificulta a percolação do fluido ao longo do material, devido a redução da dimensão dos vazios. O aumento do teor de umidade facilita a moldagem dos aglomerados do material durante a compactação, auxiliando na diminuição do índice de vazios (Freitas, 2015).

Lambe (1958) e Mitchell et al. (1965) concluíram que a condutividade hidráulica no ramo seco pode ser de 10 a 100 vezes maior que a condutividade hidráulica no ramo úmido.

Segundo Benson e Daniel (1994), a condutividade hidráulica está intimamente relacionada com a granulometria dos solos. Observaram que valores da ordem de 1×10^{-9} m/s são obtidos quando a porcentagem de finos é superior a 30% e quando a porcentagem de argila é superior a 15%.

Segundo Mundell e Bailey (1985), um eficiente método para limitação da infiltração superficial nos maciços formados em aterros de resíduos é a incorporação de uma camada de cobertura final. Andreas et al. (2014) cita que essa camada deverá apresentar baixa condutividade hidráulica, a qual é influenciada pelo tipo do material que a compõe e pela sua espessura, relacionando-se diretamente com a capacidade de armazenamento e percolação da água no seu interior.

Mundell e Bailey (1985) citam que fatores como teor de umidade, método de compactação, energia de compactação e grau de saturação influenciam diretamente na condutividade hidráulica de solos. Outro fator a ser levado em consideração é a granulometria do solo, que, conforme Benson e Daniel (1990), influencia significativamente nas curvas de compactação e, conseqüentemente, na variação da condutividade hidráulica do material.

Descrita em Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), a metodologia tradicional para determinação das condições de uso de um material como barreira mineral recomenda a análise da curva de compactação, para obtenção de uma zona admissível de valores. Nessa zona admissível, o peso específico seco assume valores maiores ou iguais a uma porcentagem “P” do peso específico seco

máximo do solo e o teor de umidade variando de zero a 4,0%, acima do teor de umidade ótimo e tem como limite a curva de saturação de 100,0%. O peso específico seco mínimo adotado corresponde a 90,0% do peso específico seco máximo, obtido no ensaio de Proctor Modificado D 1557 (ASTM, 2012), e 95% do peso específico seco máximo, obtido no ensaio de Proctor Normal D 698 (ASTM, 2012). A zona admissível proposta está esquematizada na Figura 12.

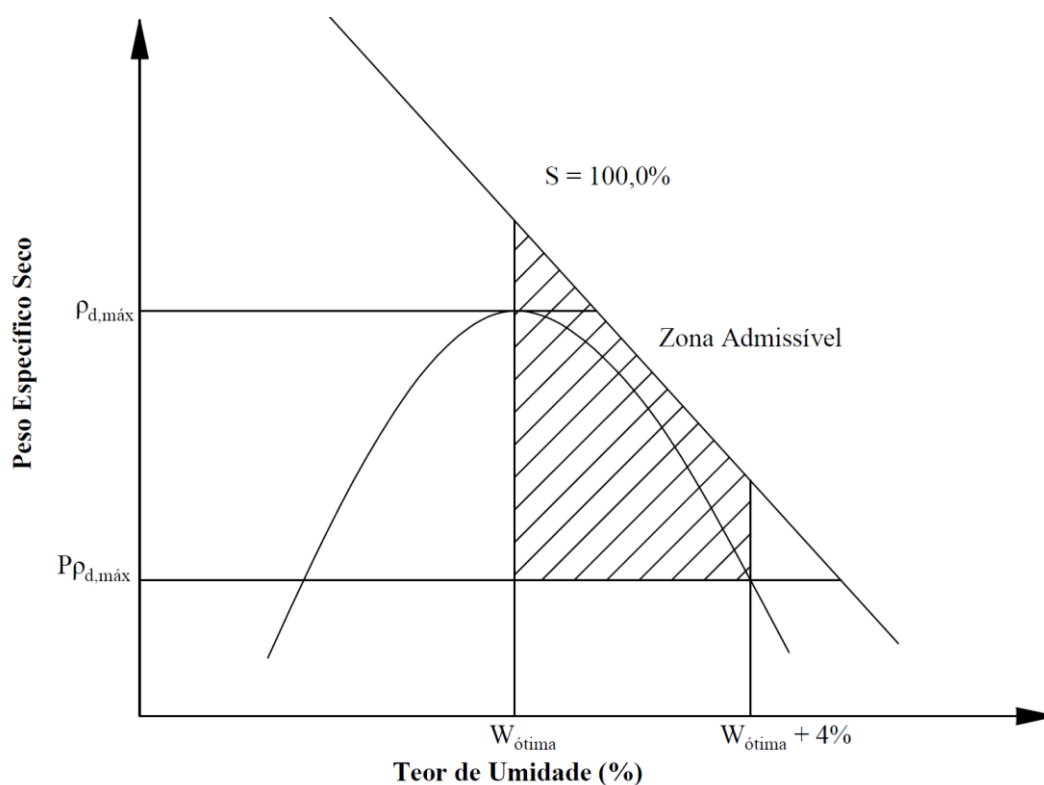


Figura 12 – Metodologia tradicional proposta para obtenção da zona admissível para materiais, sendo empregados como barreira mineral. Fonte: Adaptado de Mundell and Bailey (1985) e Boutwell and Hedges (1989).

Benson e Daniel (1990) adaptaram a metodologia tradicional proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989) propondo, para a verificação da potencialidade de um material para uso como barreira mineral, iniciar-se com a compactação do material em laboratório com energias diferentes, Proctor modificado, normal e intermediário, obtendo-se várias curvas de compactação com cinco a seis pontos para cada energia. Em seguida, obtém-se o valor da condutividade hidráulica para cada corpo de prova obtido através da utilização dos diferentes níveis de energia e faz-se a plotagem dos valores medidos em função dos teores de umidade. Os pontos que atenderem ao limite máximo de condutividade

hidráulica adotado estarão dentro da zona admissível a ser desenhada na curva de compactação.

Benson e Daniel (1990) observaram que dentro da zona admissível haviam valores de condutividade hidráulicas acima de $1,0 \times 10^{-9}$ m/s, valor esse adotado pelos pesquisadores como limitante para o uso como barreiras minerais. Recomendaram, então, que outros ensaios geotécnicos, além do ensaio de condutividade hidráulica, fossem pesquisados, para se definir uma zona admissível que satisfizesse todos os critérios a serem considerados em um projeto.

Daniel e Wu (1993), utilizando os procedimentos recomendados por Benson e Daniel (1990), estabeleceram três critérios para realizarem seus estudos, sendo o primeiro a condutividade hidráulica mínima de $1,0 \times 10^{-9}$ m/s. Para o segundo critério, considerando que a existência de coesão no material contrapõe as reações contrácteis oriundas da perda de água e das tensões capilares contribuindo para o não aparecimento de trincas, os pesquisadores adotaram o valor para a contração volumétrica máxima, obtida pela norma D 427 da ASTM (2004), de 4,0%, admitindo que as trincas não ultrapassem os 10 mm de largura e os 30 mm de profundidade. Para o terceiro critério, considerando que solos compactados utilizados em sistemas de revestimento e cobertura deveriam ter um valor mínimo razoável para a resistência ao cisalhamento, os pesquisadores recomendaram então esse terceiro critério a ser aplicado. Como no momento em que seus estudos estavam sendo realizados não existiam informações para o projeto em particular que realizavam sobre a resistência ao cisalhamento mínima exigida, Daniel e Wu (1993) adotaram uma resistência à compressão simples mínima de 200 KPa, com base no valor mais baixo adotado para essa força em solos muito rígidos, segundo a terminologia de Peck et al. (1974).

Segundo os pesquisadores, deverão então ser realizados os ensaios de condutividade hidráulica, contração volumétrica e de compressão simples para cada corpo de prova, obtidos por meio dos diferentes níveis de energia de compactação utilizados. Os valores que atenderem aos limites requeridos estarão dentro da zona admissível final ou modificada, que será a interseção das zonas admissíveis dos ensaios de condutividade hidráulica, contração volumétrica e compressão simples.

Daniel e Wu (1993) recomendam ainda que outros critérios devam ser realizados, dependendo das necessidades de cada caso pesquisado, sendo necessária uma avaliação individual dos requisitos mínimos de resistência e, ainda, a possibilidade de realização de outros tipos de ensaios de resistência, não somente o ensaio de resistência à compressão simples, que poderão ser mais apropriados.

A Figura 13 apresenta um esquema dos procedimentos adaptados por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993), no qual a zona admissível final ou modificada para a utilização de materiais como barreira impermeável em aterros industriais e sanitários é obtida com base na compactação a diferentes energias (Figura 13 a) e nos parâmetros de condutividade hidráulica (Figura 13 b), resistência à compressão simples (Figura 13 c) e contração volumétrica (Figura 13 d).

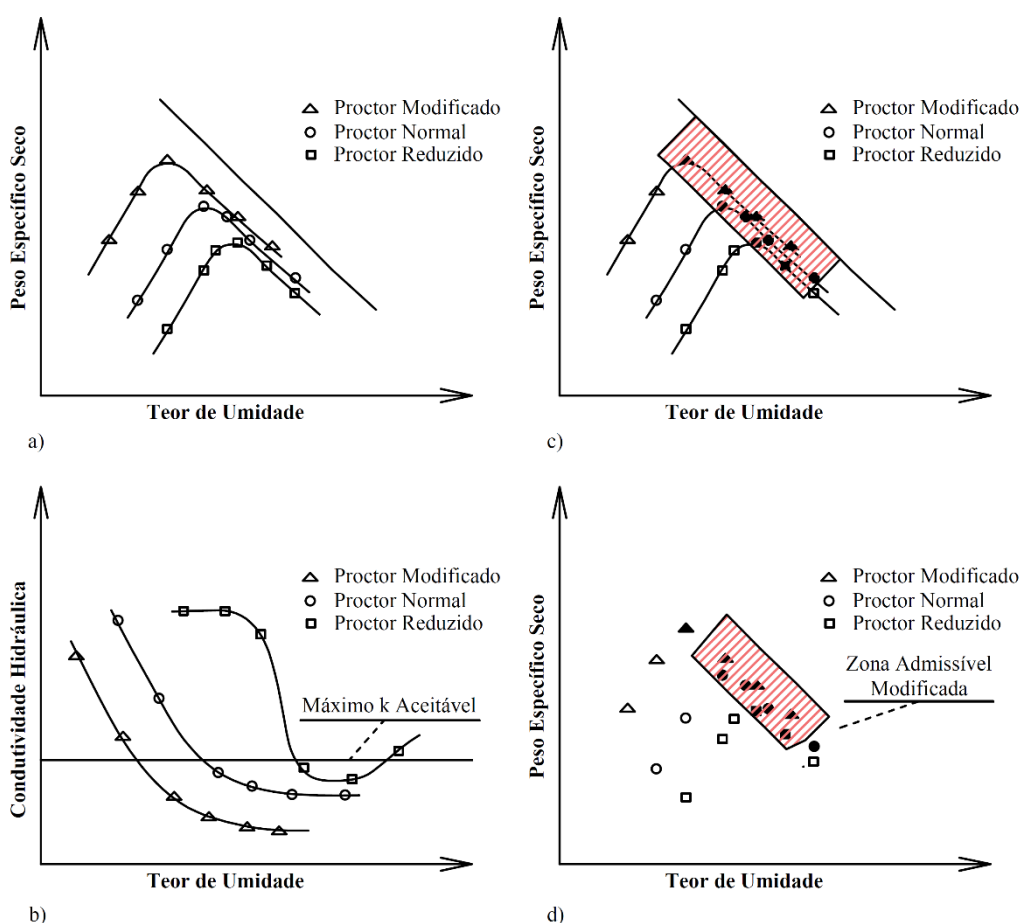


Figura 13 – Zona admissível final ou modificada, em função da compactação a diferentes energias (a) e dos valores limites adotados para a condutividade hidráulica (b), resistência à compressão simples (c) e contração volumétrica (d). Fonte: Adaptado de Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993).

Em relação à espessura e ao número de camadas, Benson e Daniel (1994) concluíram que as barreiras minerais para fundo de célula devem possuir de 4 a 6 camadas com espessura de 15 cm. A redução da condutividade hidráulica ocorrerá pelo aumento das espessuras das camadas e não pelo aumento do número de camadas compactadas. Rocca et al (1993) recomendam a utilização de camadas com espessuras máximas de 20 cm, para maior eficiência de compactação da camada de fundo de células de aterros de resíduos.

2.4. Gestão e Sustentabilidade no Processo de Produção de Rochas Ornamentais

Para Vagnon et al. (2020), a sustentabilidade da exploração de rochas naturais para fins construtivos requer a otimização de todas as fases do processo de produção, desde a exploração até o uso final. Segundo os autores, o desafio é produzir bens que aliem ecologia e economia, garantindo elevados padrões de produção que sejam compatíveis com os edifícios do patrimônio histórico e as tradições arquitetônicas em que serão instalados, minimizando a geração de resíduos e efluentes.

Segundo Vagnon et al. (2020), o desenvolvimento de novas tecnologias – que possibilitem a caracterização das fraturas e a avaliação dos estados de estresse natural e induzido – e suas relações com as operações de exploração tornam-se essenciais para se alcançar a sustentabilidade e competitividade na exploração de rochas.

Para uma gestão adequada do processo de beneficiamento de rochas ornamentais, Bai et al. (2020) desenvolveram metodologias para avaliar a serragem de blocos de granito e construir uma modelagem combinando a serrabilidade – característica que depende do tipo específico do granito – com impactos ambientais, como para o parque industrial de pedras de Laizhou, China, no qual foram desenvolvidos modelos relacionais entre serrabilidade dos blocos e o consumo de energia, consumo de água e geração de resíduos sólidos.

Nos modelos desenvolvidos por Bai et al. (2020), algumas conclusões específicas foram resumidas como uma estrutura de indicadores adotada para

incorporar a conotação de serrabilidade do granito, baseada em propriedades como resistência à compressão uniaxial (UCS), fator de abrasividade Schmiatzek (SF), dureza de Mohs (MH) e o módulo de Young (YM). Com base nas técnicas de Tomada de Decisão de Múltiplos Atributos (Multiple Attribute Decision Making – MADM), um Processo Analítico de Hierarquia (Analytic Hierarchy Process – AHP), baseado na Técnica para Ordem de Preferência por Semelhança com a Solução Ideal (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution – TOPSIS) foi criado, tendo como resultado da caracterização, o cálculo do coeficiente Scc. Dessa forma, o modelo apresenta o resultado da caracterização da serrabilidade na forma de um parâmetro especializado, que pode ser usado para todos os tipos de granitos sob quaisquer condições de processo.

Bianco e Blengini (2017) realizaram estudos relacionados ao ciclo de vida das rochas ornamentais e à gestão na produção no tradicional setor produtivo italiano e identificaram que a sustentabilidade nesse setor pode ser melhorada identificando-se os principais pontos ambientais da cadeia produtiva, desde a exploração dos blocos até o produto acabado. No entanto, os autores afirmaram que, devido à ausência de dados operacionais específicos do processo completo de produção das rochas ornamentais e ao grande número de suposições não comprovadas técnica e cientificamente, os resultados obtidos nem sempre foram significativos.

A fim de fornecer parâmetros técnicos que possibilitem melhor planejamento e gestão no setor industrial de produção de rochas ornamentais, resultando em uma produção mais limpa, Faria et al. (2017) obtiveram a correlação entre variáveis medidas *in situ* durante a operação de um tear multifios diamantados em uma planta de processamento. Foram obtidas variáveis relacionadas ao desdobramento de 38 (trinta e oito) diferentes tipos de rochas e um total de 277 (duzentos sessenta e sete) amostras. Segundo os autores, a dureza está correlacionada com o consumo de energia e com o volume processado por unidade de tempo, variável que denominaram de Pf. Sabendo que o consumo de energia, durante o processo de corte da rocha, é o principal componente do custo de produção, nesse sentido, os autores propuseram o uso desse um único parâmetro, Pf, como medida do custo de produção de uma determinada rocha e a determinação

do seu preço de venda. Verificaram também que este parâmetro possui forte correlação com o tipo de rocha. Para rochas ígneas, têm valores médios na faixa de 1,2 a 2,0 m³.h⁻¹, enquanto para metamórficas, têm valores médios na faixa de 0,5 a 1,2 m³.h⁻¹. Concluíram ainda, através de ensaios de Difração de Raios-X, que um aumento no teor de quartzo das rochas tende a diminuir Pf, levando a um aumento no custo de processamento da rocha.

2.5. Conceitos de processos de produção ecoeficientes (Ecologia Industrial / Produção Mais Limpa / Economia Circular)

Segundo Basu e van Zyl (2006), um conceito que estuda as interações e interrelações físicas, químicas e biológicas, ambas dentro e entre sistemas ecológicos e industriais, é a chamada Ecologia Industrial. Os pesquisadores definem a Ecologia Industrial como uma estrutura organizacional a ser adotada em processos industriais de manufatura, construção e produção, que resulte em soluções inovadoras, levando à produção e à operação mais limpa. Essa estrutura integra um grande número de processos, que relaciona as áreas econômica, ambiental, de saúde e segurança, resultando em uma utilização otimizada dos recursos.

Para os pesquisadores, nas indústrias da mineração e de produtos minerais, que são importantes fornecedoras dos materiais primários para as atividades industriais e fundamental componente no “ecossistema industrial”, a implementação da estrutura da Ecologia Industrial poderia contribuir em grande escala para se atingir o Desenvolvimento Sustentável desse setor industrial. Essas indústrias estão sujeitas a rigorosos controles social e ambiental, enquanto fornecem à sociedade recursos naturais imprescindíveis para atender requisitos essenciais ao desenvolvimento.

Basu e van Zyl (2006) afirmam, entretanto, que para se atingir o desenvolvimento sustentável nas indústrias de mineração e de produtos minerais é essencial um planejamento estratégico, que resulte na implementação de políticas efetivas para a Produção Mais Limpa e o Controle da Poluição nos níveis corporativo e operacional. Tais políticas devem enfatizar minimização da geração de resíduos, reciclagem, controle da poluição e atividades de disposição de resíduos

em seus respectivos níveis (corporativo/operacional), no local em que foram gerados.

Os autores citam que a Ecologia Industrial proporciona a formação desse tipo de estrutura organizacional, de maneira a sintetizar os conceitos para os vários níveis envolvidos na produção, aprimorando suas eficiências operacionais e reduzindo os impactos negativos dessa atividade industrial no sistema ecológico.

Hamner (1996) se refere à relação entre as terminologias utilizadas na gestão ambiental, tais como, Desenvolvimento Sustentável (DS), Ecologia Industrial (EI), Produção mais Limpa (P+L), Controle da Poluição (CP) e outras, como uma “escada de conceitos”, apresentada na Figura 14, na qual os termos localizados à base da escada são subconjuntos dos termos mais altos, e os componentes de sistemas de gestão ambiental variam para cada item, baseados nos requisitos mínimos específicos para implementar os conceitos nos respectivos degraus dessa escada.

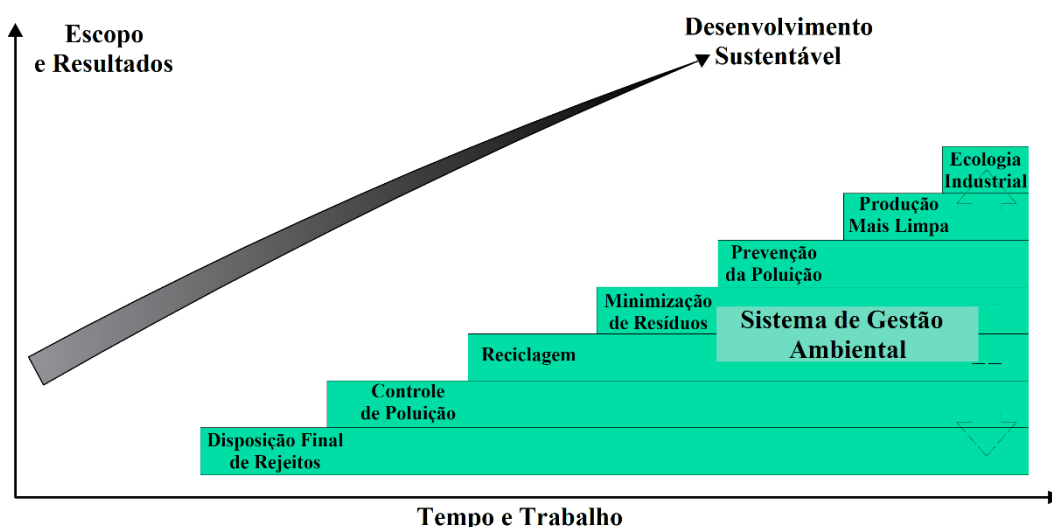


Figura 14 – Escada de conceitos utilizados em sistemas de gestão ambiental proposta por Hamner (1996). Fonte: Adaptado de Hamner (1996).

Basu e van Zyl (2006) sugerem que esses conceitos sejam divididos em três níveis: nível global ou macro, nível corporativo ou organização e nível operacional ou local. Entretanto, para obterem a estrutura hierárquica desses conceitos, sugerem a combinação do modelo da escada de conceitos de Hamner (*opus cit.*) com metas, estratégias, métodos e tarefas, conforme é ilustrado na Figura 15.

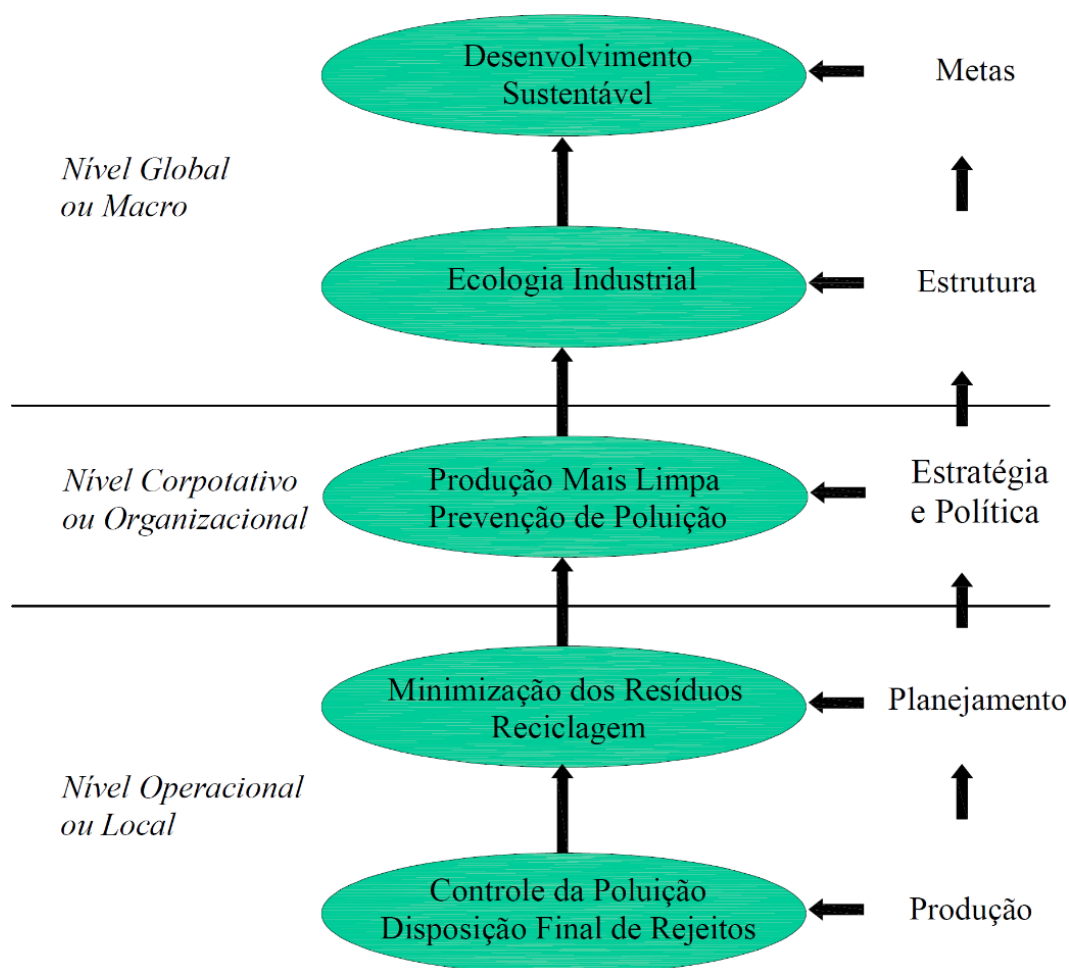


Figura 15 – Estrutura hierárquica sugerida por Basu e van Zyl (2005) à escada de conceitos proposta por Hamner (1996), combinando com diferentes níveis. Fonte: Adaptado de por Basu e van Zyl (2005).

Os autores afirmam que a meta do Desenvolvimento Sustentável pode ser operacionalizada por meio da estrutura da Ecologia Industrial, que poderia ser utilizada para o desenvolvimento de estratégias relevantes de Produção mais Limpa e Controle da Poluição no nível corporativo para efetivas tomadas de decisão. A minimização de resíduos e reciclagem são atividades de planejamento principais no nível operacional, as quais poderiam ser integradas dentro do planejamento macro da organização, seja de curto ou longo prazo. O controle da poluição e a disposição de resíduos são partes das atividades de produção do nível operacional, satisfazendo estratégias e políticas de Produção mais Limpa e Controle da Poluição, utilizando a estrutura da Ecologia Industrial, situada no topo da escala hierárquica.

Em empresas de mineração e de produtos minerais, Basu e van Zyl (2006) afirmam que a estrutura da Ecologia Industrial e os conceitos operacionais de Produção mais Limpa/Controle da Poluição são comumente pouco utilizados, não sendo incorporados em planejamentos estratégicos e operacionais de jazidas e plantas de processamento dos minerais. Entretanto, afirmam que a chave para se alcançar a meta do Desenvolvimento Sustentável, como objetivo da corporação, é colocar em prática atividades identificadas em estratégias e políticas de Produção mais Limpa ou Controle da Poluição.

Hilson (2000), analisando as dificuldades encontradas para a implantação dos conceitos de Produção mais Limpa e Controle da Poluição em indústrias de mineração, particularmente na América do Norte e Europa, verificou que, desde o advento da elaboração da primeira importante legislação ambiental, por volta do ano de 1970, tem havido um substancial aumento do desempenho ambiental dessas indústrias nos locais das jazidas, incluindo a redução de emissões atmosféricas nocivas, diminuição dos níveis de contaminantes tóxicos nas descargas de efluentes e uma melhor gestão da qualidade do solo. O autor observou que todos esses aumentos estão diretamente atribuídos ao abandono, por parte das corporações, dos convencionais mecanismos conhecidos como “fim-de-tubo” e subsequente adoção de tecnologias limpas e estratégias, incluindo equipamentos com altas eficiências ambientais, rigorosos sistemas de controle e planos de gestão ambiental compreensivos.

Verificou ainda o autor que, apesar de centenas de locais de exploração de minerais terem sido já beneficiados com a instalação de sistemas que adotam os conceitos da Produção Mais Limpa e do Controle da Poluição, em outros não se tem conseguido provar a viabilidade da prática desses conceitos na remediação dos locais. As principais barreiras nesses casos, particularmente de ordem econômica, tecnológica e legislativa, têm todas, individual ou coletivamente, impedido a implementação desses conceitos. Muitas dessas barreiras parecem intransponíveis, mas aperfeiçoando técnicas operacionais, educando e treinando funcionários e ocorrendo intervenções governamentais crescentes, certamente contribuiriam para o êxito das indústrias de mineração.

Sobre intervenções governamentais, Hilson (2000) afirma que a menos que os governos claramente indiquem que é de interesse nacional movimentos industriais na direção do Controle da Poluição e que são objetivos principais de ambos, economia nacional e política ambiental, haverá muito pouco incentivo para indústrias de mineração instalarem tecnologias limpas. Afirma ainda que os governos devem assumir o papel de liderança e promover as mudanças básicas na conscientização do que diz respeito ao meio ambiente, a prevenção da poluição e a Produção Mais Limpa.

Yakowitz (*apud* Hilson, 2000) identificou prioridades de governos relacionadas a essa questão, que incluem: obtenção e disseminação de informações apropriadas a respeito de tecnologias limpas e estratégias delineando seus objetivos econômicos; geração de suporte político forte para o desenvolvimento econômico baseado em tecnologias limpas; fornecimento de materiais educacionais e de informações sobre resultados documentados de casos de sucesso; organização de projetos de demonstração; assecuração de que bancos, companhias de seguro e outras instituições de empréstimos favoreçam tecnologias limpas em suas decisões de investimentos; desenvolvimento e implementação de sistemas de certificação de tecnologia limpa para produtos, processos e serviços e trabalhar com universidades e setor privado para desenvolver sistemas de contabilidade gerencial para o controle da poluição.

Um outro conceito relacionado a processos de produção ecoeficientes é aquele da Economia Circular, o qual, segundo Murray et. al. (2015), refere-se a um modelo econômico no qual o planejamento, o suprimento, a produção e o reprocessamento sejam desenhados e gerenciados, tanto enquanto processo quanto resultado, para maximizar o funcionamento dos ecossistemas e do bem-estar humano.

De acordo com Rossé et al. (2016) e ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015), a teoria da Economia Circular se baseia em três principais conceitos: valorizar a matéria-prima, obtendo o controle dos produtos, materiais, componentes e do fluxo dos recursos reutilizáveis; maximizar o rendimento dos recursos, reciclando-os a todo tempo e em diferentes níveis de produção e promover

a eficiência do processo, a fim de eliminar possíveis extremidades no processo proposto como fechado.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015) define a economia circular como uma economia que fornece múltiplos mecanismos de criação de valor que são dissociados do consumo de recursos finitos, como demonstrado no diagrama esquemático da Figura 16.

Passenier (*apud* Luz, 2017) afirma que, para resolver os grandes desafios da Economia Circular, um pré-requisito obrigatório é promover inovações no mercado por meio de contratos públicos pré-comerciais. O autor sugere que envolver os consumidores, os setores produtivos e os órgãos públicos é a forma correta para que isso aconteça.

Segundo Karaca et al. (2012), alguns países têm investido fortemente em pesquisas, divergindo das práticas brasileiras, buscando implantar as práticas de conceitos como da Economia Circular em seus ciclos de produção, reutilizando os resíduos da própria indústria extrativista ou propondo o reuso destes em novas cadeias de produção. Estas iniciativas possibilitam a mitigação dos impasses advindos da disposição final dos resíduos com os danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Relativo aos apoios governamentais para a implantação destas teorias de produção ecoeficientes, Geissdoerfer et al. (2017) destaca o pioneirismo da Alemanha, com a promulgação da Lei de Gestão de Resíduos e Ciclo de Substâncias Fechadas, em 1996, do Japão, que em 2002 desenvolveu a Lei Básica para o Estabelecimento de uma Sociedade Baseada em Reciclagem, e da China, com a Lei de Promoção da Economia Circular da República Popular da China, em 2009.

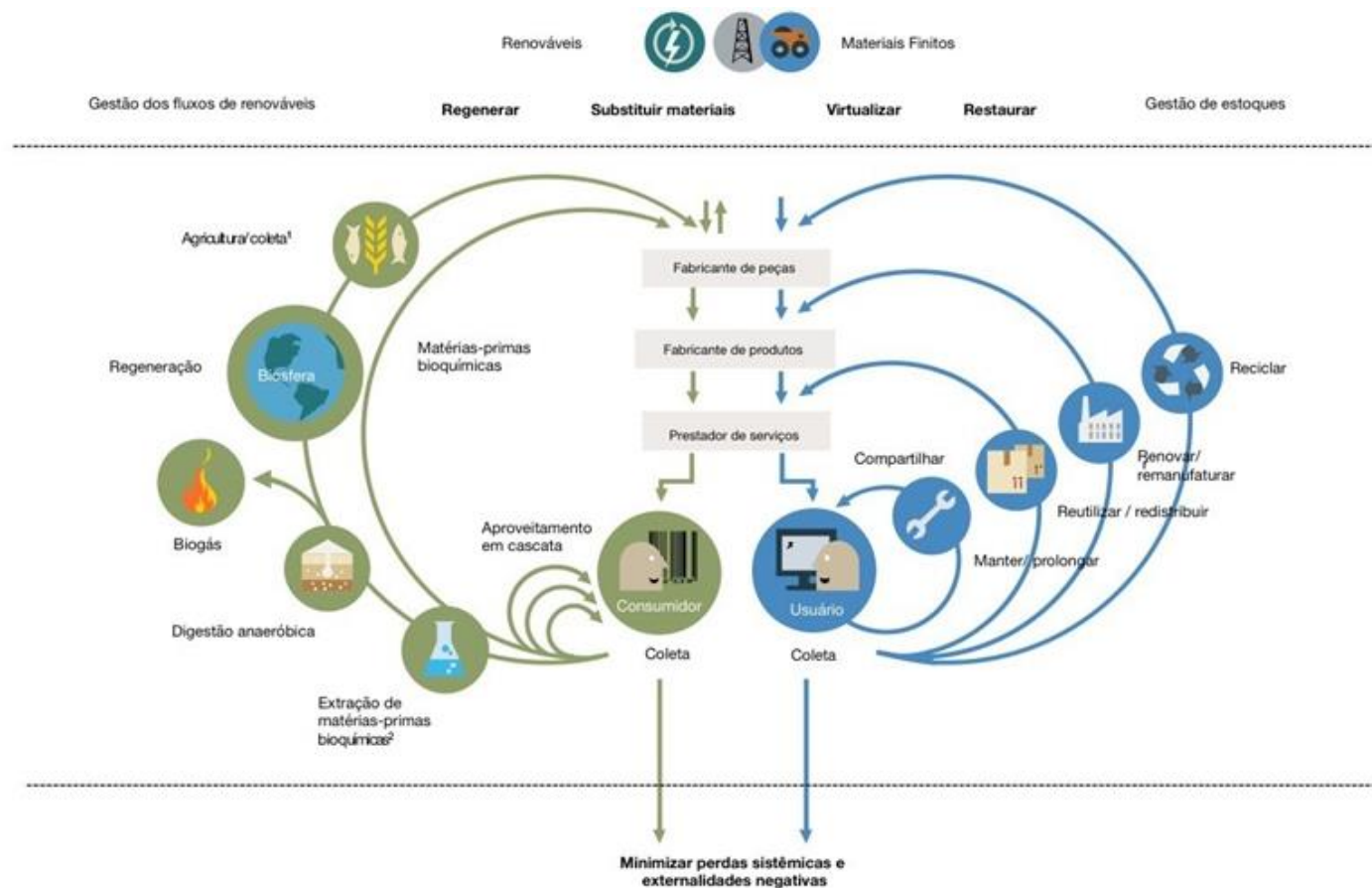


Figura 16 – Diagrama esquemático representando a aplicação dos conceitos da Economia Circular. Fonte: Traduzido para o português, Jornal da USP, do original da Ellen MacArthur Foundation, SUN e McKinsey Center for Business and Environment, desenhado por Braungart & McDonough (Cradle to Cradle). <<https://www.ideiacircular.com/economia-circular-diagrama-borboleta/>> Acesso em 24 de abril de 2020.

Passenier (*apud* Luz, 2017) afirma que, para resolver os grandes desafios da Economia Circular, um pré-requisito obrigatório é promover inovações no mercado por meio de contratos públicos pré-comerciais. O autor sugere que envolver os consumidores, os setores produtivos e os órgãos públicos é a forma correta para que isso aconteça.

Segundo Karaca et al. (2012), alguns países têm investido fortemente em pesquisas, divergindo das práticas brasileiras, buscando implantar as práticas de conceitos como da Economia Circular em seus ciclos de produção, reutilizando os resíduos da própria indústria extrativista ou propondo o reuso destes em novas cadeias de produção. Estas iniciativas possibilitam a mitigação dos impasses advindos da disposição final dos resíduos com os danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Relativo aos apoios governamentais para a implantação destas teorias de produção ecoeficientes, Geissdoerfer et al. (2017) destaca o pioneirismo da Alemanha, com a promulgação da Lei de Gestão de Resíduos e Ciclo de Substâncias Fechadas, em 1996, do Japão, que em 2002 desenvolveu a Lei Básica para o Estabelecimento de uma Sociedade Baseada em Reciclagem, e da China, com a Lei de Promoção da Economia Circular da República Popular da China, em 2009.

2.5.1. Aplicação dos conceitos de Economia Circular e Ecologia Industrial no Setor de Rochas Ornamentais na cidade de Porriño, Província de Pontevedra, Espanha

Em visita técnica realizada à jazida de exploração do granito rosso porriño, na cidade de Porriño, Província de Pontevedra, região da Galícia, noroeste da Espanha, foi possível se constatar que praticamente a totalidade dos resíduos desse granito gerados na etapa da exploração é transformada em subprodutos (areias e britas de diversas granulometrias) nos mesmos locais nos quais são explorados, por meio de britadores móveis implantados pelas empresas extratoras.

A Figura 17 mostra parte da jazida de exploração do granito rosso porriño e de um britador móvel, utilizado na própria área de exploração para a produção de areias e britas.



Figura 17 – (a) Vista da jazida de exploração do granito rosso porriño e (b) de britador móvel utilizado na área da exploração, para a produção de areias e britas.

Nessa visita técnica à cidade de Porrinõ, observou-se que além da finalidade na produção de areia e britas, casqueiros do granito rosso porrinõ, em dimensões passíveis de utilização na construção civil, são largamente utilizados na construção de passeios públicos, paradas de ônibus do transporte coletivo, muros e outras obras civis, conforme mostra a Figura 18.

Em visita ao Polo Industrial Das Gándaras, na mesma cidade, situado praticamente aos pés da jazida do granito rosso porrinõ, pode-se observar um arranjo produtivo industrial otimizado, no qual empresas de beneficiamento do granito operam ao lado de outras produtoras de materiais pré-fabricados para a construção civil, que utilizam os resíduos gerados, tanto na exploração como no beneficiamento do granito, na fabricação dos seus produtos. Essas indústrias são servidas por uma linha férrea implantada no centro desse polo industrial, facilitando a logística dos produtos finais gerados pela mineração do granito rosso porrinõ, viabilizando economicamente a utilização total dessa rocha (Figura 19)

Com essa visita técnica, as constatações obtidas relacionadas à produção do granito rosso porrinõ demonstram a efetiva aplicação dos conceitos da Economia Circular e da Ecologia Industrial, na qual indústrias de exploração e de beneficiamento de rochas ornamentais utilizam ao máximo o recurso mineral explorado. Observa-se, nestas situações, uma espécie de simbiose com outras indústrias do processo produtivo da construção civil, consumidoras dos subprodutos gerados, que geram empregos e desenvolvimento social, as quais, apoiadas por políticas públicas locais claramente aplicadas, tornam possível se atingir o desenvolvimento sustentável.



(a)



(b)



(c)

Figura 18 – Utilização de casqueiros dimensionados do granito rosso porriño na construção civil: (a) parada de ônibus de transporte coletivo, (b) muro e (c) passeio público.



(a)



(b)



(c)

Figura 19 – Polo Industrial Das Gándaras, Porriño, Espanha: (a) Indústria de beneficiamento de granito, (b) Indústria de pré fabricados para a construção civil, que utiliza agregados provenientes do granito e (c) linha férrea para transporte dos produtos finais da mineração.

2.6. Recuperação de áreas degradadas pela mineração, segundo a legislação brasileira

Farias (2016) cita que a única atividade que tem obrigação, pela Constituição Federal do Brasil, de recuperar áreas degradadas é a mineração, por seus impactos, muitas vezes irreversíveis.

O Código de Mineração, datado de 1967, estabelece no artigo 47, inciso XIV, que a empresa mineradora não deve suspender os trabalhos de lavra sem prévia autorização do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), e no inciso XV, que deve manter a mina em bom estado, no caso de suspensão temporária dos trabalhos de lavra, de modo a permitir a retomada das operações (Araújo, 2016).

A Constituição Federal de 1988, no seu artigo 225, parágrafo segundo do capítulo VI, foi o primeiro marco regulatório para a recuperação de áreas degradadas pela mineração no Brasil: “Aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei” (BRASIL, 1988).

Já o Decreto 97.632 de 10 de abril de 1989 (BRASIL, 1989), que regulamentou o Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, é que impôs a exigência da submissão de Plano de Recuperação de Área Degradada à aprovação do órgão ambiental competente, para empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais.

Nesse Decreto, é considerada como degradação a perda ou redução de propriedades ambientais, tais como a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais decorrente de processos danosos ao meio ambiente. Neste sentido, nota-se que a recuperação terá por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com o plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

A Instrução Normativa nº 11 de 2014 do Instituto Chico Mendes (ICMBIO, 2014), define área degradada como “aquela impossibilitada de retornar por uma trajetória natural um ecossistema que se assemelhe ao estado inicial, dificilmente sendo restaurada, apenas recuperada”. Conceitua ainda recuperação com a

“restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original” e a restauração como a “restituição de um ecossistema ou população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original”.

Outras instituições brasileiras de âmbito legal impõem exigências específicas para a recuperação de áreas degradadas, como o Departamento Nacional de Produção Mineral em sua Portaria nº 12 de 2002 – Norma Reguladora da Mineração (DNPM, NRM -21, 2002), que requer ao empreendedor um pedido de renúncia ao título minerário junto com relatório técnico para o fechamento da mina, e a norma NBR 13.030 – Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas da ABNT (1999), que requer estabelecimento de metas a serem atingidas com o projeto.

Os estados brasileiros também elaboram seus Termos de Referência para o licenciamento ambiental da atividade de mineração, que incluem a obrigatoriedade da apresentação de planos de recuperação de áreas degradadas (Silva et al., 2018), e outras instituições ainda elaboram manuais com recomendações técnicas para a elaboração de planos de recuperação de áreas degradadas para a mineração, como o Ministério do Interior (MINTER) e o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA) (MINTER & IBAMA, 1990).

Porém, segundo Araújo (2016), não são indicados métodos ou tecnologias específicas apropriadas com determinações construtivas mínimas para a elaboração de um Plano de Recuperação de Áreas Degradadas na legislação ambiental minerária brasileira, embora haja orientações legais quando à sua elaboração e implantação, de modo que atinjam seus objetivos finais de recuperação ou restauração.

O pesquisador relata ainda que, no Brasil, um Plano de Recuperação de Área Degradada pela mineração não possui, obrigatoriamente, uma determinação quanto à prospecção de custos e medidas de garantia financeira para cobrir as despesas da fase de encerramento das atividades, seja nos casos de interdição de minas em atividade por falta de licenciamento ou pelo abandono devido à inviabilidade econômica da exploração.

Silva et al. (2016) alertam que, pelo fato das diretrizes disponibilizadas pelas autoridades normatizadoras serem de caráter geral, possam acarretar equívocos na escolha e na instalação de estruturas de Planos de Recuperação de Áreas Degradadas, que venham a divergir do seu propósito final. Alerta, ainda, que é comum se verificar na literatura métodos financeiramente onerosos e por vezes ineficazes, que são raros os métodos publicados que se valeram de estudos avaliativos de longo prazo, essenciais para a segura recomendação sobre cada estrutura construtiva e os procedimentos a serem empregados, e que é possível se incluir alternativas construtivas de baixo custo, visando o reaproveitamento de materiais disponíveis na região.

Em relação a legislação brasileira existente sobre o fechamento de minas, de acordo com Araújo (2016), o próprio Plano Nacional de Mineração 2030 (BRASIL, 2010), que traça diretrizes para o desenvolvimento sustentável na mineração para os próximos 20 anos, reconhece que a recuperação proposta para áreas degradadas pela mineração é limitada e focada apenas na recomposição física do local, sem considerar aspectos socioeconômicos ou definir o que deve ser feito na fase pós-encerramento para minimizar impactos negativos.

2.7. Recuperação x restauração ecológica de áreas degradadas: viabilidade técnica x financeira

Conforme citado por ICMBIO (2014), a restauração de uma área degradada é definida como a “restituição de um ecossistema ou população silvestre degradada o mais próximo da sua condição original”, o que a diferencia da recuperação devido à sua maior dificuldade de implantação, seja pelos custos financeiros envolvidos no processo, como na possibilidade de formação de um novo ecossistema similar ao original.

Clewell et. al (2004) definem a restauração ecológica como uma atividade intencional que inicia ou acelera a recuperação de um ecossistema em relação à sua saúde, integridade e sustentabilidade. Frequentemente, o ecossistema que necessita restauração foi degradado, perturbado, transformado ou inteiramente destruído como resultado direto ou indireto de ações humanas.

Segundo os autores, a restauração ecológica é uma dentre várias atividades que se esforçam para alterar a biota e as condições físicas de uma área que foi

degradada, sendo frequentemente confundida com reabilitação. Estas atividades incluem recuperação, reabilitação, mitigação, engenharia ecológica e vários tipos de manejo de recursos como vida silvestre, pesca, pastagens nativas, agroflorestas e silvicultura. Em relação a essas atividades, a restauração ecológica geralmente requer maiores cuidados posteriores para satisfazer a todos estes critérios.

Ainda segundo Clewell et. al (2004), a reabilitação divide com a restauração o foco em ecossistemas históricos ou pré-existentes, que servem como modelos ou referências, mas as duas atividades diferem em seus objetivos e estratégias. A reabilitação enfatiza a reparação de processos de ecossistema, produtividade e serviços, enquanto os objetivos da restauração também incluem o restabelecimento da integridade biótica pré-existente em termos de composição de espécies e estrutura de comunidade. Já o termo recuperação, conforme usado no contexto das áreas mineradas da América do Norte e Reino Unido, tem uma aplicação ainda mais ampla que reabilitação. As metas principais da recuperação incluem a estabilização do terreno, garantia da segurança, melhoria estética e, frequentemente, o retorno da área degradada ao que, em determinada região, seja considerado como propósito útil. A revegetação, que é normalmente um componente da recuperação de áreas, pode incluir o estabelecimento de apenas uma ou poucas espécies. Projetos de recuperação que tenham enfoque mais ecológico podem ser considerados como reabilitação ou até restauração.

Importante questionamento é feito por Holla e Aideb (2011), sobre quais aspectos realmente devem ser levados em consideração antes de se iniciar um processo de recuperação de áreas degradadas, dadas as grandes extensões de áreas utilizadas e modificadas pelo uso humano em escala global e a tendência crescente de esforços necessários para a recuperação de ecossistemas degradados.

No ponto de vista dos pesquisadores, a decisão sobre qual estratégia de recuperação deveria ser empregada em um sistema degradado dependeria da taxa de recuperação natural e o que se deseja para esse ecossistema quando recuperado. A taxa de recuperação é afetada pela resiliência intrínseca do ecossistema (definida como o grau e ritmo com o qual um ecossistema recupera sua estrutura e função iniciais após uma alteração), o nível de degradação humana e as características do entorno da área em foco. A busca de informação sobre esses fatores ajudará a

decidir o tipo e o grau de intervenção que será necessária. Importância igual deve ser dada aos objetivos e recursos disponíveis para o projeto. Uma avaliação balanceada de ambos os fatores deveria ser o primeiro passo no desenvolvimento de uma estratégia de recuperação.

A Figura 20 apresenta os fatores que deveriam ser avaliados para o desenvolvimento de uma estratégia de recuperação de áreas degradadas, segundo Holla e Aideb (2011).

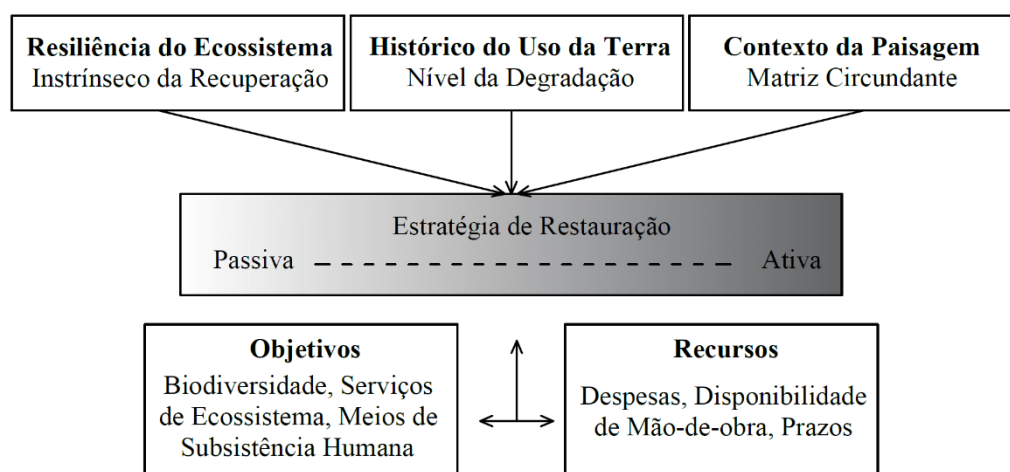


Figura 20 – Fatores deveriam ser avaliados para o desenvolvimento de uma estratégia de recuperação de áreas degradadas. Fonte: Adaptado de Holla e Aideb (2011).

Para a implantação de restauração ecológica em áreas degradadas, Kimball et al. (2015) realizaram estudos sobre a determinação dos custos efetivamente relacionados a esse objetivo e, com os resultados obtidos, definiram a restauração ecológica como sendo uma indústria multibilionária utilizada para melhorar um habitat degradado. Segundo os pesquisadores, muitos processos de restauração são conduzidos sem claramente definirem medidas de sucesso ou análises de custos prévias, resultando em altos valores empregados e baixos resultados finais na formação de um novo ecossistema.

Os pesquisadores levantaram os custos de 120 métodos distintos de restaurações implantadas e descreveram o sucesso em termos de germinação, crescimento, cobertura e densidade de plantas nativas e não nativas. Verificaram que os resultados são influenciados por condições ambientais que variam no espaço e no tempo, sendo que essas variações raramente são consideradas no planejamento

das restaurações, tornando-as, muitas das vezes, inviáveis. Desenvolveram, com base nos resultados, um guia para a tomada de decisões e auxiliaram, assim, os profissionais ao longo das fases estabelecidas da restauração – preparação do local, semeadura e plantio e manutenção.

2.7.1. Casos de restauração ecológica de áreas degradadas pela mineração de granito no município de Nova Venécia, ES, Brasil

No município de Nova Venécia, norte do estado do Espírito Santo, vem-se realizando a implantação de determinado processo de restauração ecológica em duas áreas degradadas pela mineração, nas quais foram explotados granitos para a produção de britas para a construção civil. Esse processo inclui a recuperação geomorfológica e vegetacional das duas áreas, sendo realizado por meio de técnicas empregadas em aterros industriais, as quais utilizam rejeitos gerados no processo de beneficiamento de granitos, os casqueiros e a lama desaguada do beneficiamento dos blocos para o preenchimento dessas cavas de mineração extintas, e também técnicas utilizadas na recuperação de áreas degradadas.

Essas áreas, denominadas Área 1 e Área 2, situam-se distantes cerca de 260 Km da capital Vitória e a 10 Km do Polo Industrial da sede do município de Nova Venécia, conforme mostra a Figura 21, no qual são geradas aproximadamente 4.000 Mg de lama desaguada do beneficiamento de rochas ornamentais mensalmente.

As duas áreas foram previamente licenciadas junto ao órgão público ambiental competente, o IEMA - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo, para exercerem a atividade de aterro industrial de resíduos da Classe II - Não Perigosos e ainda Inorgânicos, sendo, para isso, implantados os sistemas de controles ambientais preconizados pela NBR 13.896 da ABNT (1997) e pela Instrução Normativa nº 11 do IEMA (2016).

A Área 1 se refere a uma cava de mineração extinta com área aproximada de 6.500 m², altura máxima de 25 m e volume da rocha explotada de cerca 80.000 m³. Foi encerrada a exploração de rochas dessa jazida por volta do ano de 1990, devido à proximidade a uma linha existente de alta tensão de transmissão de energia elétrica, a qual inviabilizou a continuidade dos serviços. Com o abandono da cava, não foram realizados, à época, os serviços de recuperação ambiental por parte da empresa mineradora responsável.

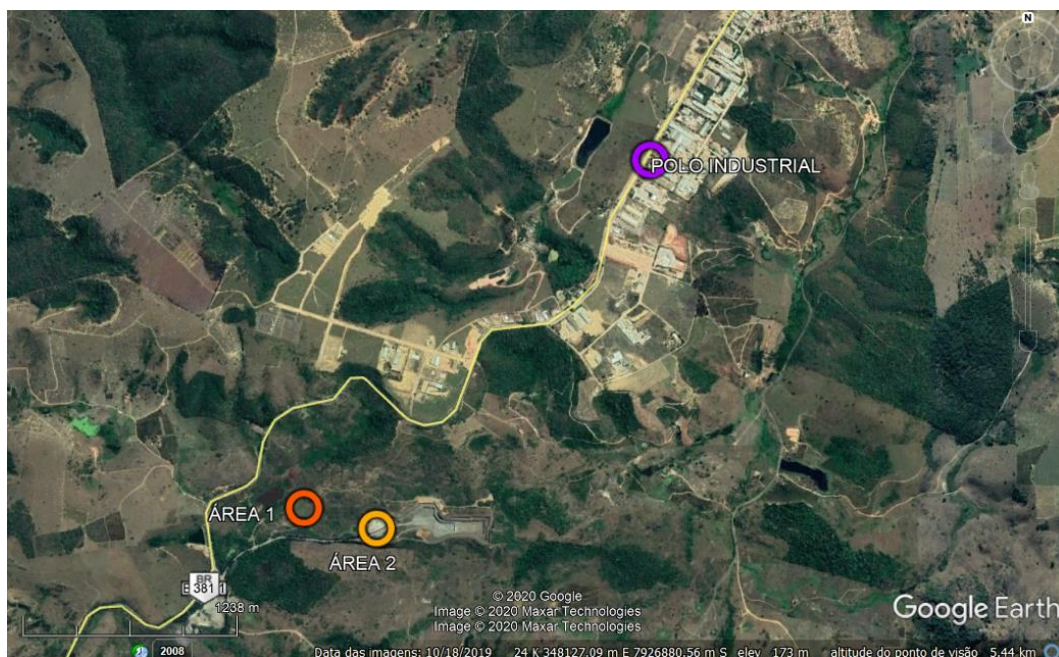


Figura 21 – Localização das Áreas 1 e 2 e do Polo Industrial, situados no município de Nova Venécia, norte do Espírito Santo. Fonte: Imagem extraída do Google Earth em 14 abril de 2020.

A Figura 22 mostra a cava de mineração extinta da Área 1 antes do início da implantação do sistema de recuperação ambiental, quando já havia se passado cerca de 20 anos da interrupção da exploração de granito.

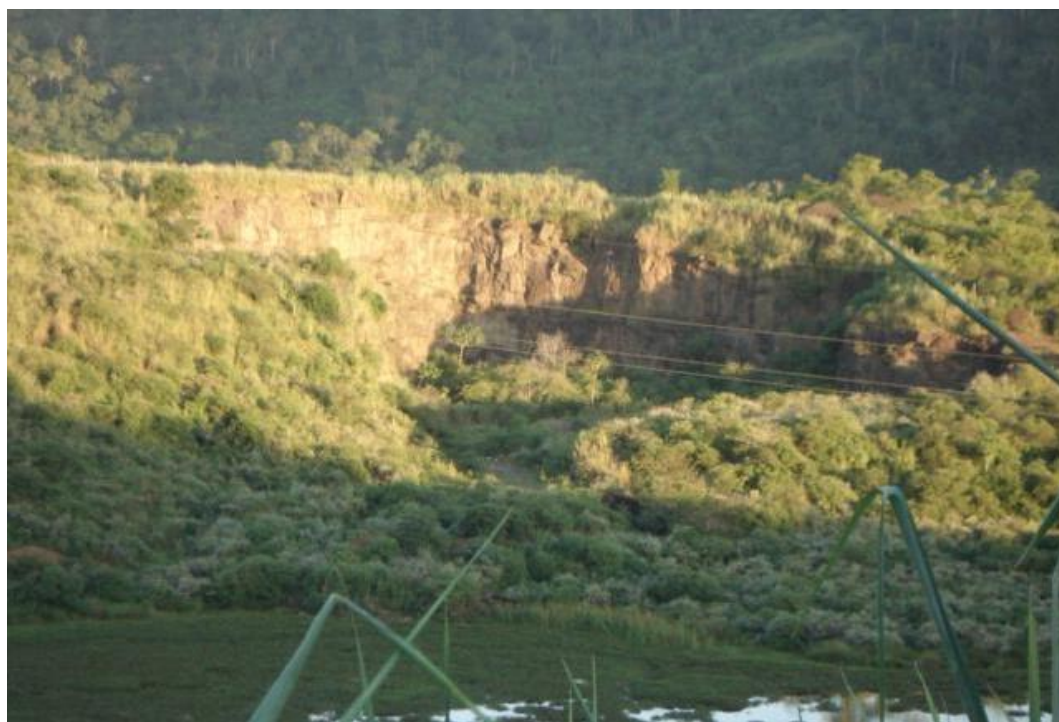


Figura 22 – Área 1, resultante da mineração de granito em fotografia obtida em janeiro de 2009.

A Figura 23 mostra o início dos serviços de implantação da célula de rejeitos no interior da cava de mineração, datada de julho de 2009, com detalhe para a preparação da barreira mineral no fundo da célula, exigida pelo órgão ambiental licenciador, o IEMA, atendendo ao limite mínimo para a condutividade hidráulica de 5×10^{-7} m/s, conforme preconiza a NBR 13.896 da ABNT (1997), e com espessura média de 0,70 m.



Figura 23 – Área 1 no início da implantação da célula de rejeitos em julho de 2009.

A Figura 24, datada de setembro de 2009, apresenta a instalação do geotêxtil não-tecido na parte superior da rocha, descendo até cerca 1/3 da altura da parede lateral da cava, para a proteção mecânica da geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) de espessura 1,5 mm instalada sobre o mesmo, para a impermeabilização das paredes da cava.

Em relação às águas pluviais precipitadas sobre o maciço de rejeitos, foi implantado reservatório para acúmulo no interior da própria célula, para reusá-las por meio de sistema de recalque e irrigação por aspersão sobre o próprio maciço, com objetivo de manter a umidade necessária à compactação e à estabilidade geotécnica, evitar a geração de emissões atmosféricas por meio de materiais particulados e não haver lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos.



Figura 24 – Área 1 – Instalação do geotêxtil não-tecido em setembro de 2009.

A Figura 25 apresenta a célula de disposição final de rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais com o sistema de irrigação por aspersão das águas pluviais acumuladas (reuso) em operação, com as paredes verticais impermeabilizadas com geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) e os rejeitos sendo dispostos, em fotografia obtida em dezembro de 2011.



Figura 25 – Área 1. Detalhes das paredes laterais da célula impermeabilizada com geomembrana, da aspersão (reuso) das águas pluviais e do descarregamento de rejeitos em dezembro de 2011.

A formação do maciço de rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais da Área 1 ocorreu entre janeiro de 2010 e dezembro de 2015, sendo na sua grande maioria a lama desaguada do beneficiamento de mármore e granitos e de pequena quantidade de casqueiros de rochas, podendo ser visto na Figura 26, obtida em dezembro de 2012.



Figura 26 – Área 1 – Formação do maciço de rejeitos do beneficiamento de granitos em dezembro de 2012.

As cotas finais de altura do maciço de rejeitos formado resultaram cerca de 1,0 m abaixo das cotas finais projetadas para o encerramento previsto da recuperação geomorfológica, tendo em vista a necessidade de implantação das camadas superiores de solo compactado para impermeabilização, de casqueiros de rochas para a drenagem e de solo não compactado para o plantio de vegetação.

Ao finalizar a disposição dos rejeitos, foi realizada a impermeabilização do maciço com uma barreira mineral superior construída com solo compactado, conforme mostra a Figura 27, com espessura média de 0,70 m e condutividade hidráulica inferior a 5×10^{-7} m/s, conforme preconiza a NBR 13.896 da ABNT (1997).



(a)



(b)

Figura 27 – Área 1 com o maciço de rejeitos final sendo coberto com barreira mineral em janeiro de 2016.

Essa barreira mineral foi recoberta por uma outra com função drenante, composta de casqueiros de rochas, e sobre ela foi lançada uma última camada de solo não compactado (Figura 28), para o plantio da vegetação. As cotas de terreno dessa última camada de solo coincidiram com as cotas das curvas de níveis existentes antes da exploração da rocha, com objetivo de se recuperar a morfologia próxima à existente antes da exploração.



Figura 28 – Área 1 – Implantação das camadas drenante e de solo para a revegetação em fevereiro de 2016.

A Figura 29 e a Figura 30 mostram imagens da Área 1 recuperada geomorfologicamente e com a cobertura vegetal formada por gramíneas (capim braquiária), embora não tenha sido essa a vegetação prevista inicialmente, que seriam espécies da mata atlântica que possuísem sistema radicular de pequena profundidade. Dificuldades operacionais relacionadas ao isolamento (implantação de cercas com arame farpado) junto ao proprietário/arrendatário da área contribuíram para o acesso de gado bovino ao local, inviabilizando assim o plantio das espécies indicadas e favorecendo o avanço da vegetação de gramíneas (capim braquiária).

A Figura 31 apresenta um corte longitudinal da célula de disposição final da Área 1, indicando as alturas das cotas de terreno no início e no final da recuperação ambiental e o volume final de rejeitos de rochas ornamentais dispostos, correspondendo a cerca de 75.400 m³. Com o valor da massa específica média de 1,80 Mg/m³, resultaram em cerca de 136.000,00 Mg de rejeitos de rochas ornamentais dispostos. A Figura 32 apresenta detalhe das camadas de cobertura do maciço de rejeitos de rochas ornamentais após sua finalização.



Figura 29 – Área 1 – Recuperação morfológica e com cobertura vegetal não prevista (capim braquiária) em dezembro de 2017.



Figura 30 – Área 1 em julho de 2020.

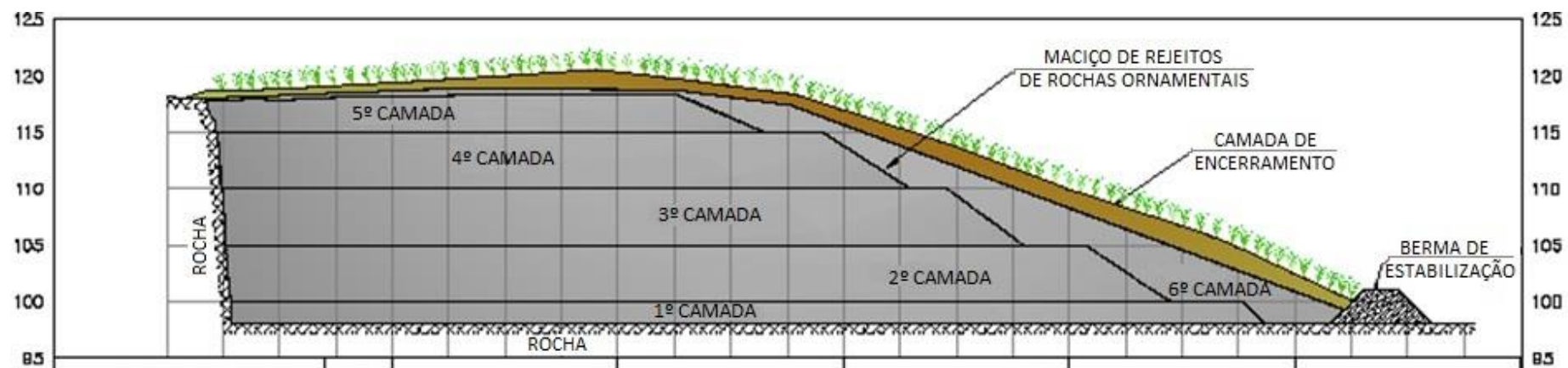


Figura 31 – Corte longitudinal da célula de disposição de rejeitos de rochas ornamentais da Área 1.

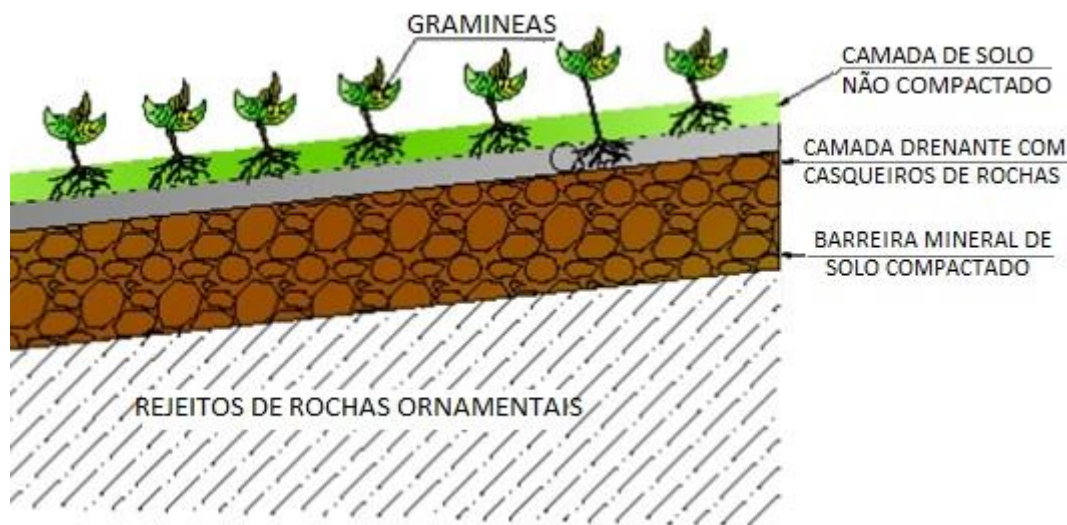


Figura 32 – Detalhes das camadas de cobertura do maciço de rejeitos finalizado da Área 1.

As imagens da Figura 33 da Área 1 ilustram uma sequência de diferentes datas, anteriores e posteriores ao início da implantação do processo de recuperação ambiental em questão na cava de mineração extinta, iniciando-se no ano de 2008 e após 3 e 6 anos do seu início de operação, respectivamente, em 2013 e 2016. No ano de 2018, é possível se observar a geomorfologia recuperada e a vegetação superior formada por gramíneas (capim braquiária), embora não sendo aquela prevista no projeto inicial. Ao longo desse período, foram dispostos adequadamente no local cerca de 136.000,00 Mg de rejeitos de rochas ornamentais.

Em relação ao monitoramento da Área 1 em seu estágio final de recuperação ambiental, observou-se que as solicitações do órgão ambiental licenciador foram pautadas no que preconizam as citadas NBR 13.896 da ABNT (1997) e Instrução Normativa nº 11 (IEMA, 2016), exigindo a realização de controles ambientais em períodos de tempo pré-estabelecidos, tais como, instalação de marcos topográficos para medição de eventuais recalques do maciço de rejeitos, monitoramento do corpo hídrico superficial situado mais próximo ao empreendimento e a apresentação de relatórios fotográficos comprovando a recuperação da vegetação na área.



Figura 33 – Imagens da Área 1, ilustrando sequência de implantação do processo de recuperação ambiental nos anos de 2008, 2013, 2016 e 2018. Fonte: Imagens extraídas do Google Earth em 17 de junho de 2020.

Os controles ambientais realizados até a data da obtenção dos dados do presente trabalho, qual seja, dezembro de 2019, não indicavam a ocorrência de recalques do maciço de rejeitos e problemas referentes à sua estabilidade e indicavam ainda que os resultados dos monitoramentos das águas do corpo hídrico superficial mais próximo não apresentavam variações na sua qualidade.

A Área 2 de implantação do sistema de recuperação ambiental citado, situa-se a cerca de 1,0 km da Área 1, na mesma propriedade rural. Adjacente a essa área, é realizada a exploração de granito para a produção de britas para a construção civil, cuja responsabilidade é de uma outra empresa, do setor de mineração. Essa recuperação ambiental foi iniciada em local onde a exploração da rocha já havia sido encerrada, não impedindo assim a continuação da exploração por parte da mineradora.

A concepção do projeto foi similar àquela utilizada na Área 1, na qual foram implantadas, por exigência do órgão ambiental licenciador, barreira mineral de fundo da célula construída em solo compactado com condutividade hidráulica inferior a 5×10^{-7} m/s, conforme preconiza a NBR 13.896 da ABNT (1997),

espessura média de 0,70 m e impermeabilização das paredes rochosas laterais com geomembranas de PEAD de espessura 1,5mm.

A área da base da célula resultou em cerca de 9.500,00 m², altura máxima de 23,0m e uma previsão de volume para os rejeitos a serem dispostos de 283.000,00 m³. O início da disposição dos rejeitos ocorreu em janeiro de 2016, encontrando-se em operação no mês de dezembro de 2019 com cerca de 25,0% da sua capacidade máxima de ocupação preenchida.

A data para o preenchimento total com os rejeitos de rochas ornamentais e o início da recuperação com o plantio da vegetação dependerão do quantitativo mensal de rejeitos que estão sendo dispostos no local pelas indústrias de beneficiamento de granito geradoras.

A Figura 34 apresenta a cava de mineração extinta da Área 2, em fotografia obtida em março de 2013, correspondente a cerca de 20 anos após o término da exploração de rochas no local.



Figura 34 – Cava de mineração da Área 2 em março de 2013, antes da implantação do processo de recuperação ambiental.

As Figura 35 e Figura 36 apresentam detalhes das obras de implantação da célula de disposição final de rejeitos na Área 2.



Figura 35 – Início das obras de implantação da barreira mineral do fundo da célula da Área 2 em abril de 2015.



Figura 36 – Implantação do fundo da célula da Área 2 sendo finalizado em maio de 2015.

A disposição dos rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais na célula da Área 2 podem ser observados nas Figura 37, Figura 38, Figura 39, Figura 40 e Figura 41.



Figura 37 – Descarregamento da lama desaguada do beneficiamento de granitos na célula da Área 2 em dezembro de 2019.



Figura 38 – Espalhamento e compactação da lama desaguada do beneficiamento de granitos na célula da Área 2 em dezembro de 2019.



Figura 39 – Formação de novo platô para a disposição da lama desaguada do beneficiamento de granitos na célula da Área 2 em julho de 2020.



Figura 40 – Detalhes da vegetação crescendo naturalmente sobre as bermas laterais dos rejeitos do beneficiamento de granitos na célula da Área 2 em julho de 2020.



Figura 41 – Vista do maciço de rejeitos de granitos em formação na Área 2, com detalhe da vegetação crescendo naturalmente sobre as bermas de estabilização laterais, em julho de 2020.

Na planta do corte longitudinal da célula de disposição final de rejeitos da Área 2 são apresentadas as alturas das cotas do terreno no início e no final previsto para a recuperação ambiental, conforme mostra a Figura 42. Os quantitativos previstos de rejeitos a serem dispostos nessa célula em volume e em peso são, respectivamente, 282.779,00 m³ e 509.009,00 Mg.

A Figura 43 apresenta detalhes da cobertura final do maciço de rejeitos da Área 2 a ser formada por três camadas, sendo uma implantada sobre o maciço de resíduos atuando como barreira mineral, seguida de outra atuando como camada drenante e uma última superficial implantada com solo não compactado, para o plantio das espécies vegetais típicas do entorno e que não possuam sistema radicular profundo. A figura apresenta ainda o sistema de drenagem superficial revestido com geomembrana de PEAD, para escoamento das águas pluviais, nos taludes e platôs a serem formados, para finalização da recuperação ambiental proposta.

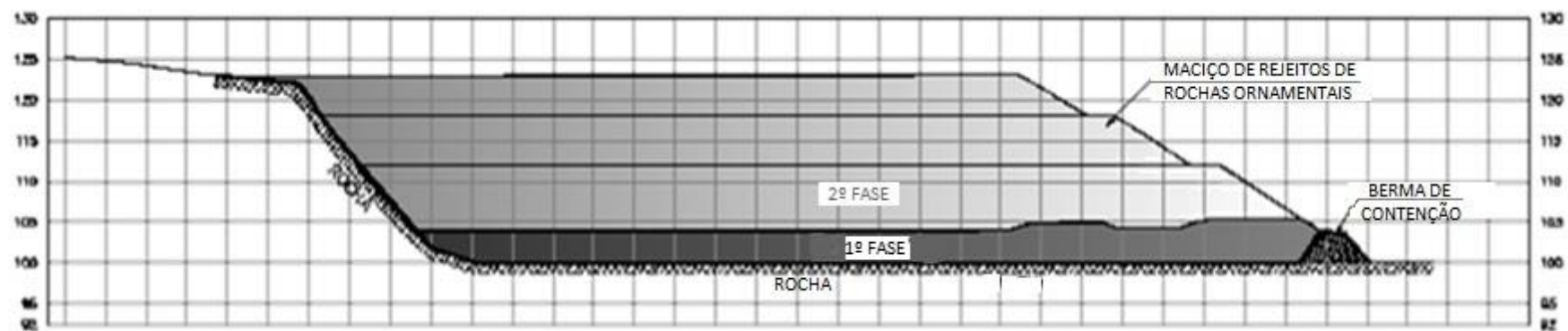


Figura 42 – Corte longitudinal do maciço de rejeitos de rochas ornamentais da Área 2.

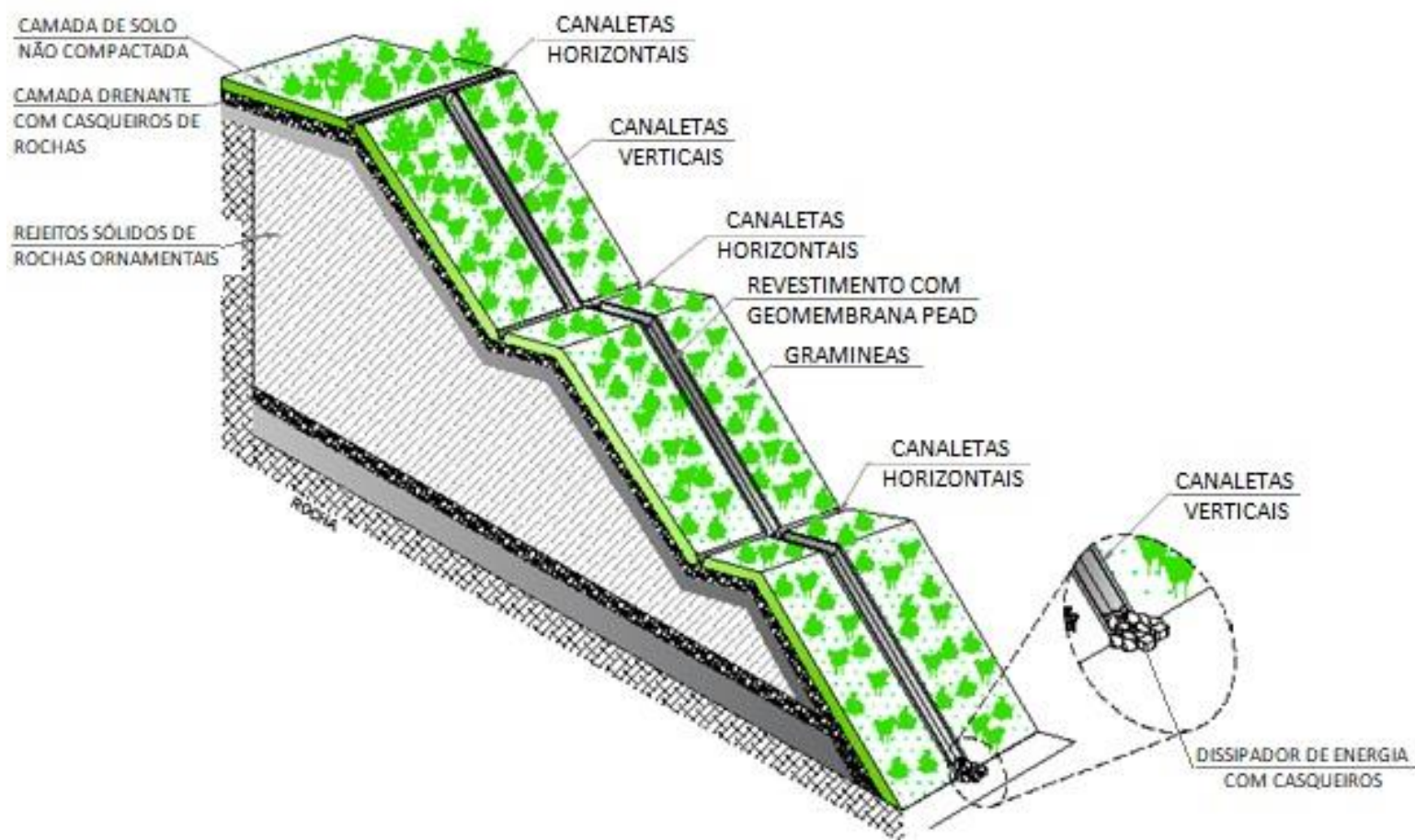


Figura 43 – Detalhes das camadas de cobertura do maciço de rejeitos a ser formado na Área 2 e do sistema de drenagem superficial revestido com geomembrana de PEAD.

As imagens da Figura 44 apresentam a evolução da implantação do processo de recuperação ambiental proposto para a Área 2, sendo a primeira fotografia obtida no ano de 2008, anterior ao início da implantação, e nos anos seguintes de 2016, 2019 e 2020, correspondentes a 1, 3 e 4 anos após seu início.

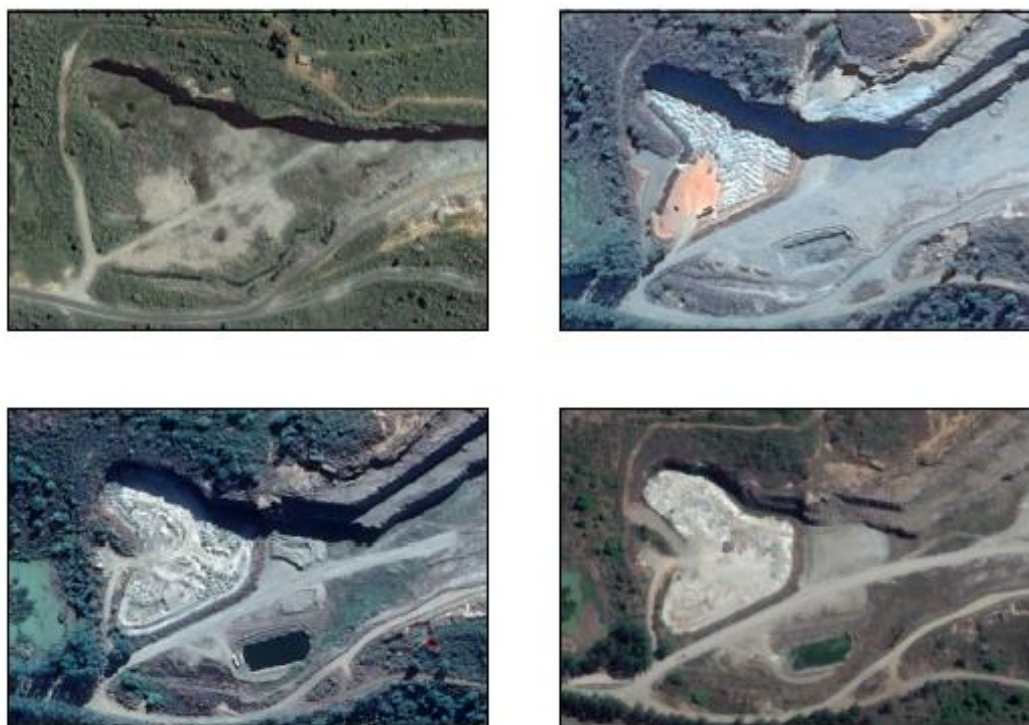


Figura 44 – Imagens da Área 2, ilustrando o processo de recuperação ambiental nos anos de 2008, 2016, 2019 e 2020. Fonte: Imagens extraídas do Google Earth em 23 de junho de 2020.

Em relação aos procedimentos administrativos exigidos pelo órgão ambiental licenciador, que obrigatoriamente devem ser realizados durante a operação desse processo de recuperação ambiental nas duas áreas em questão, referem-se a comprovações de ações que comprovem a implantação e operação dos controles ambientais propostos para o empreendimento, tais como, controle das águas pluviais precipitadas sobre o maciço de rejeitos, instalação de marcos topográficos, monitoramento do corpo hídrico superficial situado mais próximo e apresentação de relatórios fotográficos comprovando as fases de recuperação da área.

Como se trata de processo de recuperação ambiental por meio de técnicas de aterros industriais, é exigida ainda pelo órgão ambiental licenciador à empresa responsável pela operação, a apresentação dos inventários periódicos dos rejeitos dispostos no empreendimento e dos Certificados de Destinação Final emitidos, para

que as indústrias geradoras dos rejeitos comprovem junto aos órgãos ambientais fiscalizadores competentes que realizaram a disposição final adequada dos seus rejeitos.

3. Materiais e Métodos

Nesse capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados para a determinação da geração dos resíduos de rochas ornamentais do tipo granito nas etapas da exploração e do beneficiamento dos blocos dimensionados e para a realização dos ensaios referentes às suas caracterizações físicas, químicas e mineralógicas e as propriedades de engenharia, condutividade hidráulica e resistência desses resíduos.

Com os resultados das caracterizações químicas desses resíduos, também serão classificados quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, perante a norma NBR 10004 da ABNT (2004), se classificados como da Classe I – Perigosos ou da Classe II Não Perigosos, podendo ainda serem Classe II-A Não Perigosos e Não Inertes e Classe II-B Não Perigosos e Inertes.

Ainda nesse capítulo, são apresentados os materiais e métodos utilizados no monitoramento de um sistema de restauração ecológica em implantação no interior de área degradada pela mineração, situado no município de Serra, ES.

3.1. Determinação da geração de resíduos de granitos

A metodologia adotada neste trabalho para a determinação dos quantitativos de resíduos de granitos gerados nos processos de exploração e beneficiamento dos blocos dimensionados foi a realização de visitas técnicas aos locais de operação de empresas que realizavam, separadamente, os processos de exploração e beneficiamento das rochas. Durante essas visitas, foram obtidos os dados técnicos e operacionais dos respectivos processos de produção de cada uma das empresas visitadas.

Importante ressaltar que nessa etapa do desenvolvimento do trabalho, as visitas técnicas realizadas foram devidamente autorizadas pelas empresas operadoras das lavras e das indústrias de beneficiamento dos granitos, mediante a assinatura de termos de compromisso de sigilo de informações, sendo obrigatório, por parte desse pesquisador, não citar seus nomes e endereços e não realizar publicações que as identificassem.

Em relação à quantidade obtida de dados finais para o desenvolvimento dessa etapa da pesquisa, vale destacar que as dificuldades encontradas para essa obtenção de informações reais relacionadas aos volumes dos granitos efetivamente explorados, beneficiados e comercializados, as quais são consideradas como sigilosas e de interesse estratégico pela maioria das empresas desse setor produtivo, inviabilizaram a obtenção de uma maior amostragem de dados.

Essas dificuldades citadas corroboram com a carência encontrada em referências bibliográficas pertinentes, conforme citado por Bianco e Blengini (2017), de dados reais medidos em campo, referente à quantificação dos resíduos gerados de rochas ornamentais do tipo granito, principalmente relacionado ao processo de exploração das rochas.

A metodologia empregada neste trabalho para a determinação dos quantitativos de resíduos de granitos gerados nos processos de exploração e beneficiamento dos blocos dimensionados foi dividida em quatro etapas:

Etapa 1: Mapeamento das atividades industriais do setor de rochas ornamentais relacionadas à produção de granitos no estado do Espírito Santo, a partir de visitas aos locais de exploração e de beneficiamento, levantamentos de dados secundários em literatura e em acervos técnicos do autor e de profissionais que atuam na área, desde a exploração dos blocos dimensionados de granitos até o polimento e corte das bordas das chapas desdobradas destinadas à comercialização.

Etapa 2: Monitoramento das atividades realizadas em três pedreiras de granitos localizadas na região norte do estado do Espírito Santo, realizado por meio de vistorias técnicas para a obtenção dos dados quantitativos da geração de resíduos da etapa da exploração, ressaltando que o acompanhamento dessas atividades contou com a presença de engenheiros e encarregados do setor, para a identificação e os esclarecimentos correlatos ao respectivo processo produtivo adotado por cada uma das empresas visitadas.

Etapa 3: Formulação de cálculos empíricos dos volumes de resíduos de granitos gerados nos processos de beneficiamento primário e final. A formulação dos cálculos foi realizada com base em dados sobre as dimensões dos blocos e características dos equipamentos e processos de serragem e polimento, obtidos em acervos técnicos do autor e profissionais que atuam na área.

Etapa 4: Compilação dos dados das etapas 1, 2 e 3 e detalhamento dos resultados.

3.1.1. Na etapa da exploração dos blocos dimensionados

A partir das vistorias realizadas nas três empresas de exploração de granitos que autorizaram a realização da pesquisa, foram coletadas informações referentes ao volume da exploração de blocos dimensionados para determinados intervalos de tempo, tais como, levantamentos topográficos, planilhas de rochas “tombadas” (explotadas) e efetivamente comercializadas e, ainda, informações obtidas nos locais das extrações com os encarregados diretos dos serviços.

As informações obtidas foram transformadas em planilhas e gráficos, para melhor interpretação dos resultados.

3.1.2. Na etapa do beneficiamento

3.1.3. Na etapa do beneficiamento primário dos blocos

Para a quantificação dos resíduos de granitos gerados na etapa do beneficiamento primário, correspondente ao desdobramento dos blocos dimensionados, foram obtidas informações em visitas técnicas realizadas em indústrias de beneficiamento de granitos do estado do Espírito Santo, relacionadas às dimensões padronizadas dos blocos serrados em teares convencionais multilâminas, que corroboram com os dados da Tabela 5, adaptada de Prezotti et al. (2011).

Vale ressaltar que as dimensões dos blocos de granitos citadas na Tabela 5 e utilizadas neste trabalho para os cálculos da geração de resíduos da etapa do beneficiamento de granitos, embora próximas, não são as mesmas dos blocos de granitos quando desdobrados em teares do tipo multifios diamantados.

Tabela 5 – Dimensões médias dos blocos de granito para o desdobramento em teares multilâminas convencionais. Fonte: Adaptado de Prezotti et al. (2011).

Dados do bloco de granito		Dados do beneficiamento	
Dimensões	Valores médios	Características	Valores médios
Comprimento (C)	2,90 m	Número de lâminas (n)	75
Largura (L)	2,40 m	Número de chapas (N)	74
Altura (H)	1,80 m	Espessura média das chapas (E)	2,00 cm
Peso do bloco (P)	33,00 Mg	Largura dos casqueiros descartados (laterais externas dos blocos) (Lc)	8,00 cm
Massa específica do bloco (M)	2,63 Mg/m ³	Número médio de serradas por tear multilâmina convencional /mês (Nt)	8

Para o dimensionamento do volume dos casqueiros gerados nos cortes das bordas laterais dos blocos, utilizaram-se os dados da Tabela 5 na Equação 1.

$$V_c = 2 \times C_b \times H_b \times L_c \quad (1)$$

Na qual:

V_c: Volume de casqueiros das bordas laterais dos blocos (m³);

C_b: Comprimento do bloco explotado (m);

H_b: Altura do bloco explotado (m);

L_c: Largura média dos casqueiros (m).

Em relação ao volume de resíduos gerados nessa etapa do processo, correspondentes à rocha moída pelas lâminas de corte dos teares, utilizaram-se os dados da Tabela 5 nas Equação 2, Equação 3 e Equação 4.

$$X = L_b - (2 \times L_c) \quad (2)$$

Na qual:

X: Largura efetiva do bloco para o beneficiamento sem os casqueiros laterais (m);

Lb: Largura do bloco explotado (m);

Lc: Largura média dos casqueiros laterais (m).

Com o resultado da Equação 2, pode-se obter o valor “Y” com a Equação 3, que corresponde ao somatório das espessuras das faixas de rocha existentes entre as chapas, as quais são moídas no processo de serragem.

$$Y = X - (N \times E) \quad (3)$$

Na qual:

Y: Somatório das espessuras das faixas de rocha existentes entre as chapas (m);

X: Largura efetiva do bloco para o beneficiamento sem o casqueiro (m);

N: Número de chapas beneficiadas por bloco (m);

E: Espessura das chapas beneficiadas (m).

A Equação 4 permite calcular o volume de rocha moída gerada durante o processo de desdobramento de um bloco de granito em chapas.

$$Z = (Y \times Hb \times Cb) \quad (4)$$

Na qual:

Z: Volume de rocha moída gerada no desdobramento do bloco em chapas (m³);

Cb: Comprimento do bloco explotado (m);

Hb: Altura do bloco explotado (m);

Y: Somatório das espessuras das faixas de rocha existentes entre as chapas (m).

3.1.3.1. Beneficiamento final dos granitos

Para a quantificação dos resíduos gerados no polimento das chapas, também denominada de rocha moída, utilizaram-se os dados da Tabela 5 na Equação 5. Nesta equação, considerou-se que a espessura perdida das chapas desdobradas, quando submetidas ao processo de polimento (E_p), é de 0,0007 m, adaptado de Buzzi et al. (2010), valor esse coerente com aqueles observados nas visitas técnicas realizadas nas indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais ao longo deste trabalho.

$$W = E_p \times (N \times C_b \times H_b) \quad (5)$$

Na qual:

W: Volume de rocha moída gerado na fase de polimento de N chapas (m^3);

E_p : Espessura perdida na chapa pelo processo de polimento (0,0007 m);

H_b : Altura do bloco explotado (m);

C_b : Comprimento do bloco explotado (m).

Em relação ao volume dos casqueiros de rochas gerados no processo do beneficiamento final, provenientes do corte lateral das chapas polidas, utilizaram-se os dados da Tabela 5 na Equação 6, para a obtenção dos quantitativos.

$$K = N \times ((C_b \times 2 \times L_m) + (H_b \times 2 \times L_m)) \times (E - E_p) \quad (6)$$

Na qual:

K: Volume de casqueiros gerados nos cortes laterais das N chapas beneficiadas (m^3);

L_m : Largura média dos cortes (m);

N: Número de chapas beneficiadas por bloco (m);

H_b : Altura do bloco explotado (m);

C_b : Comprimento do bloco explotado (m);

E: Espessura das chapas beneficiadas (m);

E_p : Espessura perdida na chapa pelo processo de polimento (0,0007 m).

3.2. Caracterização dos resíduos de granitos

3.2.1. Casqueiros de granitos da etapa da exploração dos blocos dimensionados

Para verificar a potencialidade em relação a diferentes usos propostos para os casqueiros gerados por empresas de exploração de granitos do estado do Espírito Santo, foram definidas três tipologias de granitos em função da abundância dessas jazidas localizadas na região do estudo, e por esses materiais possuírem cenário de destaque no mercado nacional e internacional de rochas ornamentais dimensionadas, na data do início do desenvolvimento desse trabalho, correspondente ao primeiro semestre de 2016.

Conforme citado anteriormente no Capítulo 2, dos 93% dos diferentes tipos de rochas beneficiadas em aproximadamente 80 indústrias de beneficiamento associadas à AAMOL- Associação Ambiental Monte Líbano, no município de Cachoeiro de Itapemirim, situado no sul do Estado do Espírito Santo, 19% foram de granito amarelo, 18% de granito verde, 15% de granito cinza, 14% de granito preto, 12% de granito branco e 10% de mármore branco (Calmon et al., 2007).

Foram definidos para a presente pesquisa, os casqueiros dos granitos comercialmente conhecidos como Granito Amarelo (GA), Granito Cinza Andorinha (GCA) e Granito Verde Pavão (GVP), para a realização dos estudos referente aos usos propostos como lastro ferroviário, empregando a metodologia proposta pela norma NBR 5564 da ABNT (2011), macadame hidráulico, empregando a metodologia proposta pela norma 316 do DNER-ES (1997), agregado graúdo para concreto, empregando a metodologia proposta pela norma NBR 7211 da ABNT (2009) e agregado para base rodoviária, empregando a metodologia proposta pela norma 141 do DNIT (2010).

Vale ressaltar que os casqueiros de granitos gerados na exploração dos blocos dimensionados nas jazidas possuem as mesmas características daqueles gerados pelas indústrias de beneficiamento desses blocos.

Por questões de facilidade na logística da coleta e do transporte, foram coletadas amostras de casqueiros dos 3 (três) tipos de granitos em um ponto tradicional de revenda, situado às margens da Rodovia BR-101 Norte, no município

de Serra, ES (Figura 45), para a realização dos ensaios das caracterizações física, química e mineralógica e das propriedades de engenharia e resistência.

As amostras pesquisadas são provenientes de indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais em operação no Bairro CIVIT I, no mesmo município de Serra, situado à cerca de 20 Km desse ponto de revenda, e correspondem às bordas laterais de blocos dimensionados quando desdobrados, sendo considerados como rejeitos por essas empresas. Trabalhadores informais, conhecidos como “quebradores de pedras”, coletam esses casqueiros em peças com dimensões variadas, talhando-as de forma manual em dimensões de cerca 40 x 40 cm e colocando-as à venda nesse local, para o uso como pisos rústicos.



Figura 45 – Ponto tradicional de comercialização de casqueiros de granitos, situado às margens da Rodovia BR-101 Norte, no município da Serra, ES.

A Figura 46 apresenta parte de um bloco de granito desdobrado, no qual é possível se observar, à esquerda da foto, chapas serradas com espessuras uniformes e de mesma dimensão, e, à direita, o casqueiro do bloco, gerado no corte lateral, a ser descartado com dimensões irregulares.



Figura 46 – Detalhe, à direita na foto, do casqueiro com dimensões irregulares a ser descartado, gerado no corte lateral do bloco de granito.

3.2.1.1. Propriedades e índices

Para a realização dos ensaios com vista à obtenção das caracterizações de parte das amostras coletadas dos casqueiros de granitos, foram consideradas normativas técnicas que preconizam procedimentos e ensaios para a produção de britas para as finalidades de uso como Lastro Ferroviário, Macadame Hidráulico, Agregado Graúdo para Concreto e Base Rodoviária, conforme mostra a Tabela 6.

Tabela 6 – Ensaios realizados para caracterização dos casqueiros de granitos em função dos usos propostos.

Ensaios	Lastro ferroviário (NBR 5564 da ABNT (2011))	Macadame Hidráulico	Agregado graúdo para concreto (NBR 7211 da ABNT (2009))	Base Rodoviária DNIT 141 (2010)
Granulometria	NBR 5564 da ABNT (2011)	DNER-ES 316 (1997)	NBR NM 248 da ABNT (2003)	DNER ME 080 (1994)
Forma do Grão	NBR 5564 da ABNT (2011) - Anexo A	-	NBR 7809 da ABNT (2008)	DNER-ME 086 (1994\0
Massa Específica Aparente	NBR 5564 da ABNT (2011) - Anexo B	-	-	-
Porosidade Aparente	NBR 5564 da ABNT (2011) - Anexo B	-	-	-
Absorção de Água	NBR 5564 da ABNT (2011) - Anexo B	-	NBR NM 53 da ABNT (2009)	-
Limite de Massa Unitária Solta	NBR NM 45 da ABNT (2006)	-	-	-
Teor de Material Pulverulento	NBR NM 46 da ABNT (2003)	-	NBR NM 46 da ABNT (2003)	-
Torrões de Argila	NBR 7218 da ABNT (2010)	-	NBR 7218 da ABNT (2010)	-
Teor de Fragmentos	NBR 5564 da ABNT (2011) - Anexo F	-	-	-
Abrasão Los Angeles	NBR 51 da ABNT (2001)	DNER-ES 316 (1997)	NBR NM 51 da ABNT (2001)	DNER ME 035 (1998)
Resistência à intempérie ou ensaio de durabilidade	NBR 5564 da ABNT (2011) - Anexo C	DNER-ES 316 (1997)		DNER-ME 089 (1994)
Densidade Aparente Seca (kg/m³)	NBR 5564 da ABNT (2011) - Anexo C			
Resistência à compressão simples	NBR 5564 da ABNT (2011) - Anexo D	-	-	-

Ressalta-se que, além dos ensaios citados na Tabela 6, foram realizados os ensaios de resistência à compressão puntiforme (ISRM, 1985) e à Difração de Raios-X, os quais, embora não solicitados pelas citadas normativas técnicas para a verificação dos diferentes usos pesquisados para os granitos, foram realizados para comparação com resultados disponíveis na literatura.

As curvas granulométricas foram construídas a partir dos ensaios de granulometria preconizados pela norma NBR 7181 da ABNT (1984) e comparados com os valores limites estabelecidos nas normativas pertinentes aos 4 usos propostos para os granitos pesquisados. Para esses ensaios, as amostras dos casqueiros, coletadas em dimensões 40 x 40 cm² e altura variando entre 17 e 19 cm, foram cortadas com equipamento de disco diamantado em pequenos blocos de dimensões 5 cm³, para a realização do processo de britagem, em função das dimensões da abertura de entrada do moinho de mandíbulas disponível para a realização desse trabalho.

A Figura 47 apresenta o britador de mandíbula utilizado para a britagem dos casqueiros de granitos, pertencente ao Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção (LEMAC) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Espírito Santo/UFES, com dimensões da abertura para a entrada das amostras de 15,0 x 15,0 cm.



Figura 47 – Britador de mandíbula utilizado para britagem dos casqueiros de granitos pesquisados (LEMAC/UFES). Fonte: Extraído de <<http://lemac.ufes.br/britadores>> em 16 de abril de 2020.

3.2.1.2. Resistência à compressão simples e à carga puntiforme

Nesse subitem, são apresentados os métodos empregados para determinação, nos casqueiros de granitos estudados, da resistência à compressão simples, segundo a norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011), e à carga puntiforme, conhecidos como Point Load Test, baseado na norma estabelecida pela International Society for Rock Mechanics (ISRM, 1985), cujo objetivo foi determinar o Índice de Resistência à Compressão Pontual Corrigido (IS (50)), e correlacioná-lo com a resistência à compressão simples obtida pela norma citada.

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão simples, foram extraídos 15 corpos de prova cilíndricos, sendo 5 para cada um dos três tipos de granitos pesquisados, confeccionados com diâmetro entre 70 e 80 mm e buscando-se a relação altura x diâmetro de 1:2,5 a 1:3, conforme preconizado na citada norma.

Os ensaios foram realizados no laboratório de propriedade da empresa BRASCONTEC ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA, situada no município de Serra, ES, utilizando-se plugadeira para a exploração dos corpos de prova e retífica para faceamento das amostras.

A Figura 48 e a Figura 49 apresentam detalhes da preparação dos corpos de prova dos granitos com a plugadeira, para os ensaios de resistência à compressão simples.

A Figura 50, a Figura 51 e a Figura 52 apresentam corpos de prova dos 3 (três) tipos de granitos estudados, após os processos de plugagem, corte e faceamento, necessários à execução dos ensaios de resistência à compressão simples.



Figura 48 – Detalhe da preparação de corpos de prova de granito com a plugadeira, para os ensaios de resistência à compressão simples.



Figura 49 – Corpo de prova de granito extraído com a plugadeira, para os ensaios de resistência à compressão simples.



Figura 50 – Corpos de prova do Granito Amarelo (GA).



Figura 51 – Corpos de prova do Granito Cinza Andorinha (GCA).



Figura 52 – Corpos de prova do Granito Verde Pavão (GVP).

A Tabela 7 apresenta as características das amostras dos casqueiros de granitos empregadas no programa experimental, para os ensaios de resistência à compressão simples.

Conforme pode-se observar nessa tabela, em 03 das amostras do Granito Amarelo a relação entre as alturas e os diâmetros resultaram em 1/2,4 e 01 das amostras resultou em 1/2,3, inferiores ao valor mínimo de 1/2,5 preconizado pela norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011). Em 02 amostras do Granito Cinza Andorinha, essa relação resultou em 1/2,4 e ainda, em uma outra, em 1/2,3. Tal fato ocorreu devido às dificuldades encontradas para a obtenção de amostras de casqueiros de granitos que possuísem espessuras de no mínimo 189 mm, para que essa relação mínima fosse atendida.

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão simples, os corpos de prova foram submersos em água limpa por no mínimo 48 horas e, imediatamente após, segundo preconizado pela citada norma, submetidos aos ensaios em uma prensa hidráulica elétrica digital, da marca CONTENCO, modelo HD200T, nº de

série 36 e faixa nominal de capacidade de 200 Mgf, de propriedade da mesma empresa, a BRASCONTEC ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA, conforme mostra a Figura 53.

Tabela 7 – Corpos de prova dos casqueiros de granitos utilizados para os ensaios de resistência à compressão simples.

Grupo	Corpo de Prova	Diâmetro D (mm)	Altura H (mm)	Relação H/D	Peso Específico (kN/m³)
GA	A1	75,2	183,6	2,4*	26,13
	A2	75,1	183,4	2,4*	26,31
	A3	74,8	196,3	2,6	25,63
	A4	75,3	171,5	2,3*	25,59
	A5	74,8	180,5	2,4*	25,70
GCA	C1	75,3	189,7	2,5	26,50
	C2	75,1	192,3	2,6	26,64
	C3	74,8	174,8	2,3*	26,47
	C4	74,9	178,7	2,4*	26,15
	C5	74,8	176,5	2,4*	26,29
GVP	V1	75,0	196,2	2,6	27,40
	V2	75,3	193,2	2,6	27,18
	V3	74,9	194,5	2,6	27,48
	V4	74,7	189,5	2,5	27,10
	V5	74,7	195,6	2,6	27,23

Notas: GA – Granito Amarelo, GCA – Granito Cinza Andorinha e GVP – Granito Verde Pavão.

* Relação altura/diâmetro inferiores à mínima preconizado pela norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011) de 1/2,5, devido às dificuldades encontradas na obtenção de amostras de casqueiros de granitos que possuísem espessuras de no mínimo 189 mm.



Figura 53 – Prensa hidráulica utilizada para os ensaios de resistência à compressão simples (Laboratório BRASCONTEC ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA, Vitória, ES).

O ensaio de resistência à carga puntiforme, ou Point Load Test, preconizado pela norma ISRM (1985), é um ensaio prático de campo que facilita a identificação da resistência das rochas, que relaciona resultados encontrados em ensaios de laboratório, como aqueles de resistência à compressão simples, preconizado pela NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011), obtendo-se, assim, um fator de proporcionalidade a ser utilizado em próximos ensaios de campo com maior rapidez e praticidade. Neste ensaio, obtém-se o índice de resistência de uma amostra de rocha à compressão à carga puntiforme (IS (50)), corrigido para um corpo de prova de 50 mm de espessura. A resistência à compressão uniaxial (CO) resultante, no caso de rochas isotrópicas, será cerca de 20 a 25 vezes maior do que o índice de resistência corrigido (IS (50)) (ISRM, 1985).

Os ensaios foram realizados em conformidade com as diretrizes da ISRM (1985), utilizando equipamento específico do Laboratório de Mecânica das Rochas do Grupo de Tecnologia e Engenharia de Petróleo (GTEP) da PUC-Rio, fabricado pela empresa GCTS Testing System (Figura 54).

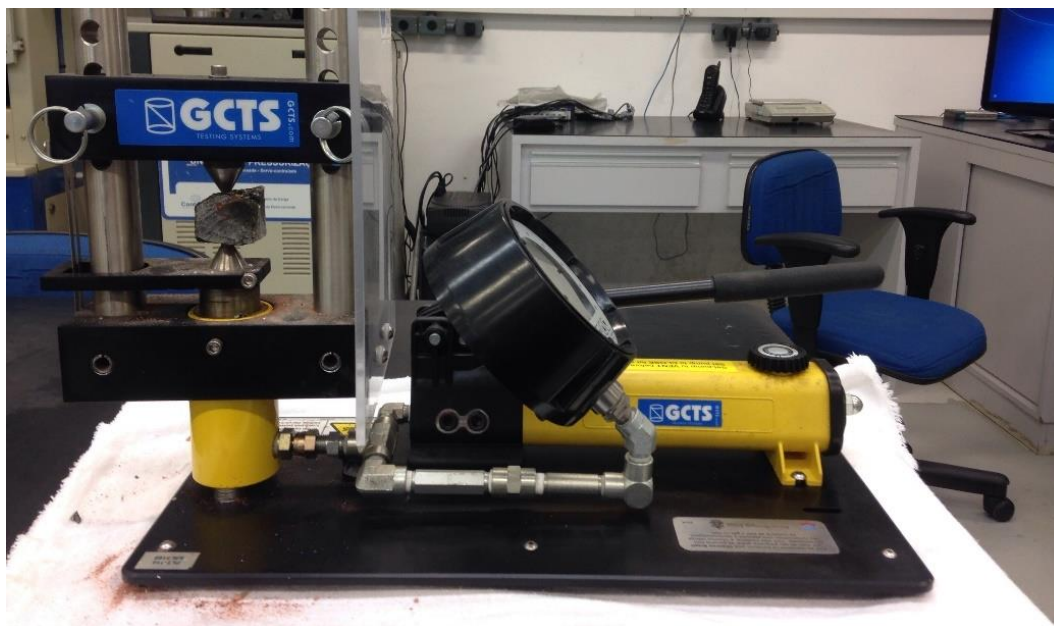


Figura 54 – Equipamento portátil utilizado para a realização do ensaio de resistência à carga puntiforme (GTEP/PUC-Rio).

Foram confeccionados 12 corpos de prova os ensaios de resistência puntiforme com formato irregular, aproximadamente cúbico, para cada grupo de granito, totalizando 36 amostras, conforme mostra a Figura 55 e a Tabela 8. O teste ao qual as amostras foram submetidas é o chamado teste de formato irregular (Irregular Lump Test).



Figura 55 – Detalhe dos 36 corpos de prova de formato irregular e cúbico para os ensaios de resistência puntiforme.

Tabela 8 – Corpos de prova utilizados para o ensaio de resistência puntiforme.

Grupo^a	Corpo de prova	Altura (D) (mm)	Largura (W) (mm)	Comprimento (L) (mm)
GA	A1 _{PL}	33,78	36,39	43,93
	A2 _{PL}	36,1	39,19	43,99
	A3 _{PL}	36,22	39,22	39,55
	A4 _{PL}	33,3	37,19	45,67
	A5 _{PL}	38,85	35,89	35,69
	A6 _{PL}	40,65	42,93	45,35
	A7 _{PL}	36,04	43,11	50,97
	A8 _{PL}	33,94	42,28	49,32
	A9 _{PL}	35,27	35,6	47,01
	A10 _{PL}	37,23	35,1	53,97
	A11 _{PL}	35,43	38,65	37,11
	A12 _{PL}	34,23	35,99	52,21
GCA	C1 _{PL}	32,24	41,83	44,31
	C2 _{PL}	38,17	37,76	42,32
	C3 _{PL}	34,97	39,47	42,29
	C4 _{PL}	35,7	38,14	44,5
	C5 _{PL}	32,19	48,36	37,51
	C6 _{PL}	35,67	37,36	36,2
	C7 _{PL}	34,92	39,07	39,62
	C8 _{PL}	43,81	33,06	47,85
	C9 _{PL}	35,13	41,31	42,74
	C10 _{PL}	41,09	36,7	40,08
	C11 _{PL}	35,15	39,92	44,26
	C12 _{PL}	37,07	38,23	38,94

Nota: ^a GA – Granito Amarelo, GCA – Granito Cinza Andorinha e GVP – Granito Verde Pavão.

Tabela 8 (cont.) – Corpos de prova utilizados para o ensaio de resistência puntiforme.

Grupo ^a	Corpo de prova	Altura (D) (mm)	Largura (W) (mm)	Comprimento (L) (mm)
GVP	V1 _{PL}	38,89	36,19	53
	V2 _{PL}	39,57	40,54	36,62
	V3 _{PL}	36,53	45,56	51,57
	V4 _{PL}	36,56	38,82	51,41
	V5 _{PL}	36,44	35,98	49,82
	V6 _{PL}	37,85	37,29	50,42
	V7 _{PL}	36,36	47,88	48,34
	V8 _{PL}	37,44	42,26	48,33
	V9 _{PL}	38,37	42,64	46,86
	V10 _{PL}	37,99	38	49,5
	V11 _{PL}	39,76	37,7	48,34
	V12 _{PL}	35,22	51,96	48,45

Nota: ^a GA – Granito Amarelo, GCA – Granito Cinza Andorinha e GVP – Granito Verde Pavão.

Para dar início ao ensaio, cada corpo de prova foi posicionado entre os dois cabeçotes (superior e inferior), e, em seguida, aplicada uma pequena carga para ajustá-los, de modo que entrassem em contato com a amostra.

Como se trata de um equipamento manual, foi preciso que o operador do equipamento aplicasse a carga manualmente por meio de uma alavanca. Um medidor mostrava a força que estava sendo aplicada a cada “bombeada” na alavanca. No momento da ruptura, anotava-se a força de pico (P) indicada no medidor.

3.2.1.3. Caracterização mineralógica

Para a realização dos ensaios para a caracterização mineralógica dos casqueiros de granitos, as amostras estudadas na forma de rocha moída foram encaminhadas para o Laboratório de Raios-X do Departamento de Engenharia Química e de Materiais (DEQM) da PUC-Rio. O equipamento utilizado é da marca BRUKER, modelo D8 DISCOVER, que opera com uma diferença de potencial de

40 kV na faixa angular de incidência de 10 a 90°, composto por tubo de cobre, filtro de níquel localizado antes do detector para absorção de parte dos raios (k β) e por um detector Lynxeye. A voltagem e a corrente do tubo de cobre utilizadas são 40 kV e 40 mA, respectivamente, sendo as análises realizadas nas condições de Bragg-Brentano. A Figura 56 a seguir apresenta o difratômetro utilizado nos ensaios.



Figura 56 – Difratômetro utilizado nos ensaios de Difração de Raios-X. Fonte: Laboratório do DEQM/PUC-Rio.

3.2.1.4. Caracterização química e classificação, quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde do homem

Para as caracterizações químicas e para a classificação dos resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde do homem, perante os limites estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004), os casqueiros dos três tipos de granitos foram estudados na forma de rocha moída, determinando-se o pH e realizando-se as análises químicas dos extratos lixiviados e solubilizados, segundo as recomendações das normas APHA (2005) e NBR's 10005 e 10006 da ABNT (2004). Comparando-se os resultados encontrados com os valores orientadores

estabelecidos na norma NBR 10004 da ABNT (2004), obtiveram-se as classificações dos casqueiros dos granitos.

3.2.2. Lama do beneficiamento de granitos para uso como barreira mineral de aterros industriais e sanitários

A amostra de lama desaguada, ensaiada para a verificação da viabilidade de uso como barreira mineral, impermeabilizando camadas de fundo e superiores de aterros de rejeitos industriais e sanitários, é proveniente da etapa do beneficiamento com o desdobramento de blocos de granito realizado por meio de teares multifios diamantados.

A geração da lama de beneficiamento coletada foi previamente identificada em indústria de beneficiamento de granitos, que utiliza teares multifios diamantados, em operação no Bairro CIVIT I, município de Serra, ES. Após a etapa do tratamento dos efluentes industriais, a empresa direciona a lama desaguada com valores de teor de umidade abaixo de 30%, para aterro licenciado especificamente para a disposição final de rejeitos de rochas ornamentais.

A Figura 57 apresenta sistema de tratamento de efluentes industriais largamente utilizado em indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais no estado do Espírito Santo, similar àquele utilizado na empresa geradora da lama do beneficiamento coletada. Esse sistema é constituído de sedimentação primária de fluxo vertical ascendente, com auxílio de polímeros orgânicos aniônicos e não aniônicos em concentrações das soluções em água de cerca 0,1% (Tasaico, 2007), e desaguamento do lodo gerado por meio de filtros prensa, gerando a lama desaguada.

As eficiências elevadas normalmente encontradas nesse tipo de sistema de tratamento, no que se refere à remoção dos parâmetros contaminantes dos efluentes brutos, tem viabilizado o reuso dos efluentes tratados no processo industrial dessas indústrias. Ainda, a geração de lama desaguada com reduzidos valores de umidade obtida nos filtros prensas, tem possibilitado o atendimento às legislações pertinentes à destinação final adequada em aterros industriais.



Figura 57 – Sistema de tratamento de efluentes industriais em indústria de beneficiamento de rochas ornamentais, com detalhe para a lama desaguada gerada pelo filtro prensa.

Segundo Jordão e Pessoa (2005), o filtro-prensa consiste em um conjunto de placas verticais, revestidas por um tecido filtrante, mais espessas nas bordas que na parte central, de modo a acumular o lodo neste recesso central. A operação de filtragem e retirada da torta acontece com o bombeamento do lodo previamente sedimentado no interior das placas filtrantes, as quais, após um período de bombeamento até atingirem determinada pressão confinante, são abertas e as placas das tortas desaguadas são desprendidas.

Ainda segundo os autores, é comum obter-se a torta prensada nos filtro-prensas provenientes de lodo de sistemas de tratamento de esgotos domésticos com teor de sólidos na ordem de 35%, isto é, 65% de umidade. Porém, segundo Calmon et al. (2007), quando prensados lodos sedimentados provenientes de sistemas de tratamento de efluentes de rochas ornamentais, os valores obtidos chegam à faixa de 70% de sólidos, isto é, 30% de umidade.

Em relação à lama do beneficiamento de granito coletada, foi obtida uma única amostra, com peso aproximado de 15 Kg, ao ser descarregada no aterro industrial pelo caminhão que transportava a quantidade aproximada de 30 Mg. Para

a coleta, foram seguidas as recomendações preconizadas pela norma NBR 10007 da ABNT (2004).

A Figura 58 apresenta a célula de disposição final do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais, local da coleta da amostra da lama do beneficiamento pesquisada.

Parte da amostra foi direcionada ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LAMES) da Universidade Federal do Espírito Santo/UFES, para a realização dos ensaios de granulometria (norma NBR 7181 da ABNT (1984)), umidade higroscópica (norma NBR 6457 da ABNT (2016)), limites de consistência (normas NBR 6459 e NBR 7180 da ABNT (2016)), peso específico (norma NBR 6508 da ABNT (2016)), compactação (norma NBR 7182 da ABNT (1986)), condutividade hidráulica (norma D 5084 da ASTM (2016)), resistência à compressão simples (norma NBR 12770 da ABNT (1992)) e contração volumétrica (metodologia adotada por Macambira (2005) e Piedade (2002), citados por Freitas (2015)).



Figura 58 – Célula de disposição final de rejeitos de rochas ornamentais, local da coletada da amostra de lama de beneficiamento pesquisada.

Outra parte da amostra da lama do beneficiamento coletada foi direcionada para laboratório privado, o TOMMASI AMBIENTAL, situado no município de Serra, ES, acreditado junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo/IEMA, para a realização da caracterização química e da classificação do resíduo quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e a saúde do homem, perante os limites estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004).

Para a verificação da viabilidade de uso da lama desaguada do beneficiamento de granito como barreira mineral, foi utilizada a metodologia tradicional proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), complementada por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993).

Foram realizados ensaios de compactação em 15 corpos de prova extraídos da única amostra da lama do beneficiamento coletada, sendo 5 para cada energia especificada na norma NBR 7182 da ABNT (1986): Proctor Normal, Intermediário e Modificado. Em seguida, com os resultados obtidos nos ensaios de compactação, foram moldados novos 15 (quinze) corpos de prova com a mesma amostra da lama do beneficiamento e realizados os ensaios para obtenção dos valores das condutividades hidráulicas, de acordo com a norma D 5084 da ASTM (2016), para cada um desses corpos de prova. Fazendo-se a plotagem dos valores medidos em função dos teores de umidade encontrados, foi definida a zona admissível, limitando-a aos pontos que atenderam ao limite de condutividade hidráulica mínima, adotado neste trabalho de 1×10^{-8} m/s, inferior àquele preconizado pela norma NBR 13.896 da ABNT (1997) de 5×10^{-7} m/s.

Em etapa seguinte, foram realizados os ensaios resistência à compressão simples, de acordo com a norma NBR 12770 da ABNT (1992), em outros 15 (quinze) corpos de prova moldados a partir dos resultados obtidos nos ensaios de compactação, para compará-los com o valor mínimo admissível adotado neste trabalho de 200 KPa, conforme recomendado por Daniel e Wu (1993).

Foram ainda realizados os ensaios de contração volumétrica, de acordo com a metodologia adotada por Macambira (2005) e Piedade (2002), nos mesmos corpos de prova utilizados para os ensaios de condutividade hidráulica, para compará-los

com o valor limite adotado neste trabalho de 4%, conforme recomendado por Daniel e Wu (1993).

Assim, os valores que atenderam aos limites requeridos para esses parâmetros pesquisados, permitiram o desenho da zona admissível modificada ou final, que foi resultante da interseção das zonas admissíveis dos ensaios de condutividade hidráulica, resistência à compressão simples e contração volumétrica.

Para a utilização dessa metodologia tradicional proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), complementada por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993), foram realizados os ensaios seguintes na lama do beneficiamento de granito pesquisada.

3.2.2.1. Caracterização física

Os ensaios de granulometria e sedimentação foram realizados conforme a norma NBR 7181 da ABNT (1984), em 5 amostras secas retiradas da única amostra composta da lama do beneficiamento de granito coletada no aterro industrial. Os ensaios para a obtenção dos limites de consistência foram realizados de acordo com as normas NBR 6459 e NBR 7180 da ABNT (2016). Os ensaios de umidade higroscópica e peso específico dos grãos foram realizados em outras 3 (três) amostras retiradas dessa mesma amostra composta, conforme as normas NBR 6457 da ABNT (2016) e NBR 6508 da ABNT (2016), respectivamente.

3.2.2.2. Caracterização mecânica e hidráulica

Os ensaios de compactação foram realizados em 15 (quinze) corpos de prova, sendo cada 05 (cinco) moldados com uma diferente energia: Proctor normal, intermediário e modificado. As dimensões adotadas para os corpos de prova foram de 10 cm de diâmetro e 12 cm de altura, conforme recomenda a norma NBR 7182 da ABNT (2016).

Os ensaios de condutividade hidráulica e de resistência à compressão simples foram realizados em outros 30 (trinta) corpos de prova, construídos a partir dos resultados obtidos nos ensaios de compactação, sendo 15 (quinze) para cada

um desses dois tipos de ensaios. Os diâmetros adotados para os corpos de prova nos ensaios de condutividade hidráulica e de resistência à compressão simples foram de 10 cm, sendo as alturas de 4 e 12 cm, e realizados conforme as normas D 5084 da ASTM (2016) e NBR 12770 da ABNT (1992), respectivamente.

3.2.2.3. Ensaios de contração volumétrica

O ensaio de contração volumétrica empregado foi baseado na metodologia adotada por Macambira (2005) e Piedade (2002), no qual determina a contração axial e diametral com a perda de umidade por secagem ao ar. Este método de ensaio obtém, por meio da leitura do extensômetro (Figura 59), a contração axial de um corpo de prova compactado de dimensões reduzidas. A leitura da variação da altura do corpo de prova é realizada diariamente, para se observar a influência da variação da umidade no parâmetro de contração. É medida a contração diametral, a qual, juntamente com a leitura da contração axial, possibilita a obtenção da contração volumétrica do corpo de prova.



Figura 59 – Equipamento para realização do ensaio de contração volumétrica. Fonte: Freitas, 2015.

Os corpos de prova utilizados nesses ensaios foram os mesmos utilizados nos ensaios de condutividade hidráulica, com o objetivo de garantir as mesmas condições de compactação em ambos os ensaios.

Após os ensaios de condutividade hidráulica, foram determinados, para cada corpo de prova, os diâmetros e as alturas em três posições distintas com o auxílio de um paquímetro. Em seguida, cada corpo de prova foi transferido para o equipamento de ensaio de contração, no qual foram colocadas duas pedras porosas, uma na face superior e outra na face inferior do corpo de prova, centrando-os cuidadosamente. Era então ajustado o relógio comparador, marcando-se a leitura inicial e efetuando-se leituras diariamente. Foram verificados também eventuais aparecimentos de trincas e realizadas as pesagens dos corpos de prova.

Por fim, foram calculadas as contrações axial, diametral e volumétrica através das equações a seguir, obtidas de Freitas (2015):

Contração Axial:

$$CA = \frac{100 \cdot (Li - Lf)}{Ai} \quad (7)$$

Na qual:

CA é a contração axial;

Li é o valor leitura inicial do relógio comparador (mm);

Lf é o valor leitura final do relógio comparador (mm);

Ai é o valor altura inicial do corpo-de-prova (mm).

Contração Diametral:

$$CD = \frac{100 \cdot (di - df)}{di} \quad (8)$$

Na qual:

CD é a contração diametral;

di é o valor médio inicial do diâmetro da amostra (mm);

df é o valor médio final do diâmetro da amostra (mm);

di é o valor médio inicial do diâmetro da amostra (mm);

Contração Volumétrica:

$$CV = \frac{100 \cdot (V_i - V_f)}{V_i} \quad (9)$$

Na qual:

CV é a contração volumétrica;

Vi é o valor médio inicial do volume da amostra (mm³);

Vf é o valor médio final do volume da amostra (mm³);

As três contrações obtidas pelas equações acima são expressas em porcentagem, com aproximação de 0,1.

Vale ressaltar que a norma técnica utilizada por Daniel e Wu (1993), quando adotaram o valor da contração volumétrica máxima de 4,0 % como valor limite para solos indicados na construção de barreiras minerais, de modo que não ocorra o aparecimento de trincas superiores a 10,0 mm de largura e 30,0 mm de profundidade, foi a D 427 da ASTM (2004), que utiliza o método de determinação com mercúrio.

Tendo em vista ser o mercúrio classificado perante a norma NBR 10004 da ABNT (2004) com resíduo Classe I - Perigoso quanto à sua destinação final, foi utilizada neste trabalho a metodologia proposta por Macambira (2005) e Piedade (2002), que utiliza o método para determinação da contração volumétrica por secagem ao ar das amostras.

3.2.2.4. Caracterização mineralógica

Para a caracterização mineralógica, parte da amostra coletada da lama do beneficiamento de granitos foi direcionada ao Laboratório de Raios-X do Departamento de Engenharia Química e de Materiais (DEQM) da PUC-Rio, para a realização do ensaio de Difração de Raios-X pelo mesmo equipamento apresentado na Figura 56 desse trabalho.

O objetivo dessa caracterização foi comparar os resultados obtidos da mineralogia da lama do beneficiamento de granitos com os resultados obtidos da mineralogia dos três tipos de casqueiros de granitos estudados.

3.2.2.5. Determinação da Zona Admissível Final ou Modificada

A zona admissível resultante da metodologia proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), para verificação da viabilidade do uso de um material como barreira mineral, impermeabilizando camadas de fundo e superiores de aterros de rejeitos industriais e sanitários, é formada pelos resultados dos ensaios de compactação e condutividade hidráulica em função dos teores de umidade encontrados no material pesquisado, no caso, a lama de beneficiamento de granito, atendendo ao limite mínimo pré-estabelecido para a condutividade hidráulica.

Foi adotado neste trabalho, como limite mínimo para o valor da condutividade hidráulica para a verificação da viabilidade do uso da lama do beneficiamento como barreira mineral, de 1×10^{-8} m/s, valor esse inferior àquele preconizado pela norma NBR 13.896 da ABNT (1997), que é de 5×10^{-7} m/s.

Utilizando-se, então, esse limite adotado para a condutividade hidráulica de 1×10^{-8} m/s no gráfico das curvas obtidas para os ensaios de compactação realizados com as três diferentes energias, Proctor Normal, Intermediário e Modificado, obtém a primeira zona admissível.

Em relação à determinação da segunda zona admissível, referente à complementação proposta por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993) à metodologia tradicional proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), será aquela formada pelos resultados dos ensaios de compressão simples e

contração volumétrica em função dos resultados dos ensaios de compactação, para valores mínimos adotados para esses parâmetros.

Neste trabalho, para determinação da segunda zona admissível, foi adotado o valor mínimo admissível para a resistência à compressão simples de 200 KPa e, para a contração volumétrica, o valor máximo admissível de 4%, conforme recomendados por Daniel e Wu (1993).

Ainda conforme a complementação proposta por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993) à metodologia inicial proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), a zona admissível final ou modificada será aquela resultante da interseção das duas zonas admissíveis, obtidas com os resultados dos ensaios de condutividade hidráulica, compressão simples e contração volumétrica, em função dos resultados dos ensaios de compactação realizados a três diferentes energias.

3.2.2.6. Caracterização química e classificação, quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem

Assim como foi realizada para os casqueiros de granitos pesquisados, na caracterização química da lama desaguada do beneficiamento de granito determinou-se o pH e realizaram-se as análises químicas dos extratos lixiviados e solubilizados, segundo as recomendações das normas APHA (2005) e NBR's 10005 e 10006 da ABNT (2004).

Comparando-se os resultados encontrados com os limites máximos estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004), realizou-se a classificação da lama do beneficiamento de granito, quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem.

3.2.3. Solo utilizado na barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais

Com objetivo de se conhecer as caracterizações química e mineralógica e ainda a classificação quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem, perante a norma (NBR 10004 da ABNT (2004), do solo utilizado na construção da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de rejeitos de rochas ornamentais, no qual foi coletada a amostra da lama do beneficiamento pesquisada, foram realizados os ensaios necessários.

Foi coletada uma única amostra representativa no mesmo local da jazida de onde se extraiu o solo para a construção da barreira mineral de fundo, indicado na Figura 60.



Figura 60 – Jazida de exploração do solo utilizado para implantação da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de rejeitos de rochas ornamentais.

As Figura 61 e Figura 62 apresentam a implantação da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de rejeitos de rochas ornamentais citado.



Figura 61 – Implantação da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de rejeitos de rochas ornamentais.



Figura 62 – Jazida Barreira mineral de fundo de parte da célula de disposição final do aterro de rejeitos de rochas ornamentais.

3.2.3.1. Caracterização mineralógica

O ensaio de caracterização mineralógica do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de rejeitos, onde foi coletada a amostra da lama, foi realizado no Laboratório de Difração de Raios-X do Departamento de Engenharia Química e de Materiais (DEQM) da PUC-Rio, utilizando-se o mesmo equipamento citado na Figura 56.

3.2.3.2. Caracterização química e classificação, quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem

Para a caracterização química do material do fundo da célula de disposição final de rejeitos, determinou-se o pH e foram realizadas as análises químicas dos extratos lixiviados e solubilizados, segundo as recomendações das normas APHA (2005) e NBR's 10005 e 10006 da ABNT (2004). Comparando-se com os resultados encontrados com os limites máximos permitidos na norma NBR 10004 da ABNT (2004), realizou-se a classificação do solo quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem.

3.2.3.3. Condutividade hidráulica da barreira mineral

Em relação ao valor resultante obtido para a condutividade hidráulica da barreira mineral implantada no fundo da célula de disposição final de rejeitos de rochas ornamentais, para a comprovação junto ao órgão ambiental licenciador, o IEMA – Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo, na época da sua implantação, foi coletada uma amostra indeformada antes do início da disposição dos rejeitos, conforme mostram a Figura 63 e a Figura 64, para a realização de ensaio de permeabilidade de carga variável, segundo a norma NBR 14545 da ABNT (2000).

A amostra foi encaminhada para laboratório privado, o MS SOLOS EIRELI, situado no município de Vitória, ES, para a realização do ensaio de condutividade hidráulica a carga variável, segundo a norma NBR 14545 da ABNT (2000).



Figura 63 – Retirada do bloco da amostra indeformada da barreira mineral de fundo, após sua implantação, da célula de disposição final do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais.



Figura 64 – Bloco da amostra indeformada da barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais sendo coletado.

3.3. Monitoramento de sistema de restauração ecológica em implantação

Como forma de se verificar a viabilidade técnica de aplicação do sistema de gestão ambiental proposto, foi monitorado, ao longo do período de realização deste trabalho, um estudo de caso de implantação de sistema de restauração ecológica em uma antiga cava de mineração de rochas (granito), por meio do uso de rejeitos (casqueiros e lama do beneficiamento) de granitos.

Trata-se do mesmo local onde foram coletadas as amostras da lama do beneficiamento, citada no Item 3.2.2 e do solo utilizado na barreira mineral, citada no Item 3.2.3. Porém, os diferentes estudos realizados nesse monitoramento são listados à seguir, além da descrição detalhada da área.

Refere à uma antiga jazida de exploração de rochas (granito) utilizadas na construção de portos marítimos na década de 1960, situando-se no município de Serra, região metropolitana da Grande Vitória, ES. Encontra-se posicionada próximo a dois polos industriais de grande porte do município, denominados CIVIT I e CIVIT II, conforme mostra a Figura 65, na qual se encontram em operação indústrias de beneficiamento de rochas ornamentais, que geram aproximadamente 15.000 Mg/mês de lama desaguada do beneficiamento.

Para os monitoramentos realizados, foram obtidas informações referentes aos controles ambientais implantados na preparação da cava de mineração extinta, para adequá-la a uma célula de disposição de rejeitos de acordo com o projeto elaborado, e de fotografias em diferentes estágios do período de implantação e operação do empreendimento. Levantamentos de dados de campo, por meio de coletas de amostras indeformadas da lama do beneficiamento de rochas ornamentais (granito) disposta na célula, também foram realizados, com vistas à realização de ensaios em laboratórios e a obtenção dos parâmetros geotécnicos precisos do material.

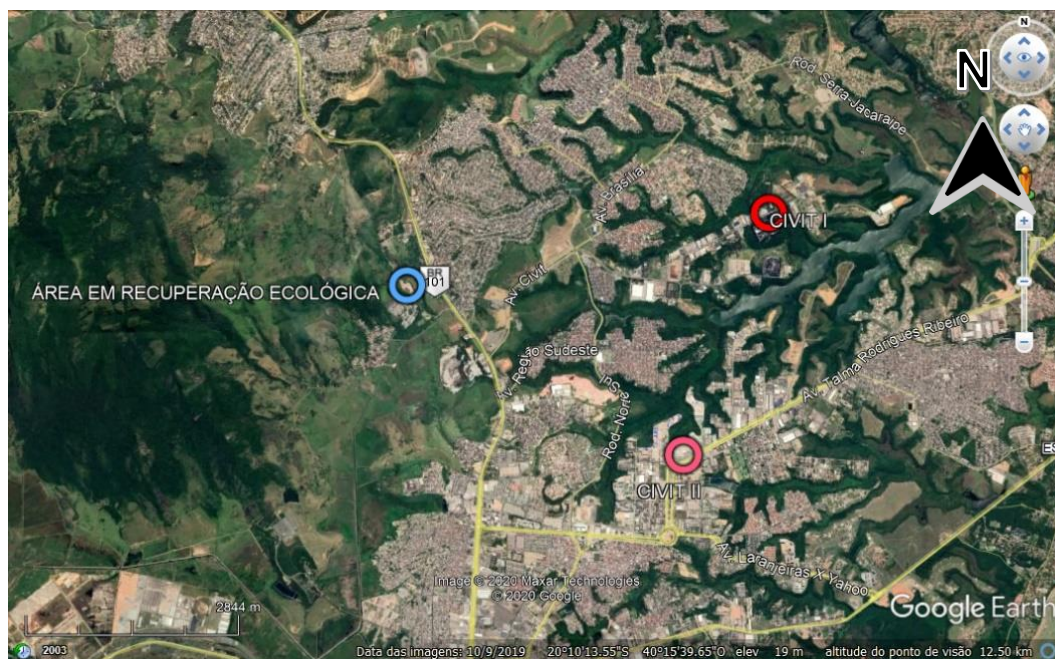


Figura 65 – Localização da área monitorada e dos Polos Industriais CIVIT I e II, situados no município de Serra, região metropolitana da Grande Vitória, ES. Fonte: Imagem extraída do Google Earth em 14 abril de 2020.

3.3.1. Coleta das amostras da lama do beneficiamento de granitos dispostas no maciço de rejeitos

Para a obtenção dos parâmetros geotécnicos da lama do beneficiamento de granitos disposta na célula, que representa praticamente a total quantidade dos rejeitos dispostos, iniciou-se em junho de 2016 a obtenção de dados de campo com a coleta de cinco amostras indeformadas em diferentes profundidades distribuídas ao longo da altura do maciço de rejeitos em formação, definidas por AM1, AM2, AM3, AM4 e AM5.

O croqui da Figura 66 apresenta a localização dos pontos de coleta das cinco amostras indeformadas, podendo-se observar três superfícies horizontais, sendo uma superior na cota 15,15 m e uma intermediária na cota 4,80 m, que correspondem às alturas das platôs de disposição de rejeitos na data da coleta das amostras, junho de 2016, e uma abaixo, coincidente com o fundo da célula, na cota de referência 0,0 m.

A Figura 67 apresenta os taludes formados com a disposição dos rejeitos, indicando os locais de coleta das cinco amostras indeformadas apresentados no croqui da Figura 66.

Na coleta das amostras indeformadas em diferentes profundidades, contou-se com o auxílio de escavadeira hidráulica (Figura 68), para se chegar às profundidades desejadas, e então fazer a cravação do amostrador de parede fina do tipo Shelby, para cada uma das amostras (Figura 69 e Figura 70).

Esse procedimento teve por objetivo avaliar a existência ou não de variações no comportamento das características geotécnicas desse rejeito, quando submetido a diferentes situações de pré-adensamento, resultantes das camadas de resíduos previamente sobrepostas aos mesmos e retiradas para melhoria das condições operacionais e de segurança geotécnica do maciço de rejeitos meses antes dessas.

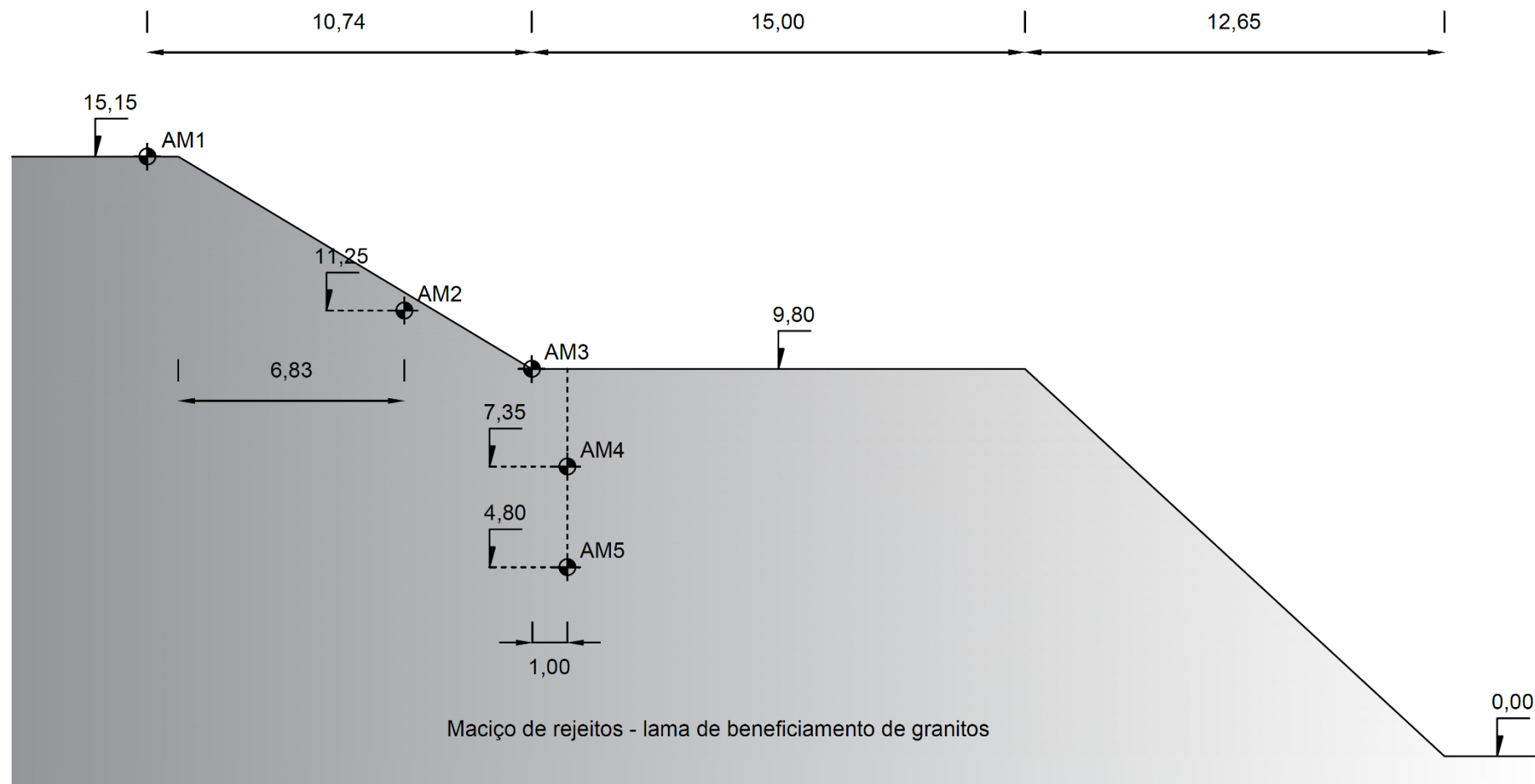


Figura 66 – Pontos de coleta das amostras indeformadas em 5 (cinco) diferentes profundidades e croquis do perfil topográfico dos taludes no momento da coleta em junho de 2016.



Figura 67 – Ilustração dos locais de coleta das 5 amostras da lama do beneficiamento de granitos no maciço de rejeitos em junho de 2016.



Figura 68 – Escavação para se chegar às profundidades de coleta das amostras em junho de 2016.



Figura 69 – Coleta da amostra AM1.



Figura 70 – Coleta da amostra AM2.

3.3.2. Ensaios de laboratório

3.3.2.1. Ensaio de granulometria

Foi realizado ensaio de granulometria para obtenção das curvas das distribuições granulométricas, obtidas segundo os procedimentos preconizados pela norma NBR 7181 da ABNT (1984), para as 05 amostras de lama do beneficiamento de granitos, coletadas em diferentes profundidades do maciço de rejeitos da célula de disposição final da área monitorada.

3.3.2.2. Ensaios de cisalhamento direto: obtenção dos parâmetros geotécnicos da lama do beneficiamento de granitos do maciço de rejeitos pesquisado

Foram realizados ensaios de cisalhamento direto para as cinco amostras indeformadas coletadas em diferentes alturas do maciço de rejeitos pesquisado, padronizados pela norma americana ASTM D3080, sendo adotada, para todas as amostras, a velocidade de deformação de 0,036 mm/min e aplicadas tensões normais de valores aproximados de 100, 200 e 300 KPa, adotadas em função dos valores das alturas inicial e final do maciço de resíduos a ser formado. Foram moldados corpos de prova de forma quadrada, com dimensões de aproximadamente 5,0 cm de lado e 2,0 cm de altura, cravando-se o extrator no interior do tubo Shelby (Figura 71).

O equipamento utilizado para os ensaios de cisalhamento direto para cada uma das amostras, foi da marca PAVITEST, fabricado pela CONTENCO, com capacidade de aplicação de carga cisalhante de até 500 kgf, com velocidade de deslocamento variando de 0,0002 a 12,0mm/min, dotado de sistema de aplicação de tensões normais, com capacidade de até 1 MPa, para os corpos de prova de 4" x 4", e de até 4 MPa, para os corpos de prova de 2" x 2", realizado através da colocação de pesos em pêndulo e/ou braço de alavanca para multiplicação das cargas e obtenção das tensões desejadas (Figura 72).



Figura 71 – Retirada dos corpos de prova do tubo Shelby, para os ensaios de cisalhamento direto.



Figura 72 – Equipamento marca PAVITEST, utilizado para os ensaios de cisalhamento direto (LAMES/UFES).

3.3.3. Nível da água no interior do maciço de rejeitos

Com objetivo de se determinar o nível da água no interior do maciço de rejeitos da área monitorada, conferindo maior confiabilidade aos resultados dos estudos de estabilidade, foram instalados três poços de monitoramentos (piezômetros) na área de implantação do maciço, posicionados conforme mostra a Figura 73.



Figura 73 – Localização dos piezômetros instalados na área monitorada. Fonte: Imagem do Google Earth.

A Figura 74 e a Figura 75 mostram as obras de instalação do piezômetro PM 1, similares à implantação dos outros dois piezômetros, nas quais foi utilizado sistema de perfuração do tipo sonda rotativa para perfuração em rochas. Esta escolha ocorreu em virtude de dificuldades operacionais encontradas na perfuração utilizando-se sondagem do tipo simples percussão ao longo da altura do maciço de rejeitos, que apresentou elevada resistência para a execução dos serviços.

Cerca de 15 dias após a implantação dos piezômetros, aguardando-se a estabilização dos níveis da água em seus interiores, foram realizadas leituras dos níveis d'água em cada poço com um aparelho medidor de nível, normalmente utilizado para medição em poços de monitoramentos, e fornecido pelo LAMES/UFES (Figura 76).



Figura 74 – Vista do local de instalação do piezômetro PM 1 instalado na área monitorada.



Figura 75 – Equipamento de sondagem rotativa, utilizado na instalação dos piezômetros da área monitorada.



Figura 76 – Medidor de nível d'água utilizado para o monitoramento dos piezômetros.

3.3.4. Determinação da condutividade hidráulica da camada superficial de rejeitos

Para conhecimento da condutividade hidráulica dos rejeitos (lama do beneficiamento de granitos) nas camadas superficiais do maciço de rejeitos em formação foi realizado ensaio por meio de um permeâmetro do tipo Guelph, desenvolvido por Reynolds & Elrick em 1983 na Universidade de Guelph, no Canadá (OWNTEC, 2020). É um permeâmetro de poço de sondagem e de carga hidráulica constante, que permite a medição da condutividade hidráulica saturada e ainda o potencial de fluxo matricial e o parâmetro da extensão capilar macroscópica, tendo como elemento principal o Frasco de Mariotte. É composto de tubos transparentes e graduados, que permitem a medição da vazão podendo-se utilizar dois reservatórios, que permitem aumentar a faixa de medição em função do tipo de solo pesquisado.

Para o ensaio, foi utilizado um Permeâmetro Guelph. modelo I-1034 L, marca CONTENCO, de propriedade do Laboratório de Mecânica dos Solos (LAMES) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo/UFES, conforme mostrado em Figura 77, Figura 78 e Figura 79.



Figura 77 – Montagem do Permeômetro Guelph em uma das camadas superficiais de rejeitos (lama do beneficiamento) no aterro monitorado.



Figura 78 – Verificação das dimensões do poço de sondagem escavado na camada superficial de rejeitos (lama do beneficiamento), para a realização do ensaio com o Permeômetro Guelph.



Figura 79 – Poço de sondagem escavado na camada superficial de rejeitos (lama do beneficiamento), preenchido com água durante a realização do ensaio com o Permeâmetro Guelph.

4. Apresentação e Discussão dos Resultados para os Resíduos Gerados na Exploração dos Blocos Dimensionados de Granitos

Nesse capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nas pesquisas realizadas referentes à quantificação dos resíduos de rochas ornamentais do tipo granito (casqueiros) gerados nos processos de exploração, às suas caracterizações físicas, químicas e mineralógicas e a propriedade de engenharia, resistência, e ainda as classificações quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem, perante a norma NBR 10004 da ABNT (2004), comparando-os com valores preconizados nas normativa técnicas pertinentes relacionadas aos diferentes usos propostos para esses resíduos.

4.1. Quantificação dos resíduos gerados

Por meio de visitas técnicas realizadas em indústrias de exploração de mármore e granitos ao longo do estado do Espírito Santo, foram obtidas as informações técnicas e operacionais desse setor produtivo de rochas ornamentais, que serviram de base para o desenvolvimento dessa etapa do presente trabalho.

Para a quantificação dos resíduos gerados na exploração desses dois tipos de rochas ornamentais, os mármore e granitos, foi possível verificar, por meio das visitas realizadas, que são utilizadas as mesmas técnicas de exploração, e, portanto, decidiu-se pelo monitoramento específico das atividades de exploração desenvolvidas em três pedreiras de granitos localizadas na região norte do estado.

Os motivos pelos quais foram obtidos dados dos volumes de granitos explorados em apenas três pedreiras ao longo de todo estado, dizem respeito, conforme citado anteriormente no Item 3.1 deste trabalho, às dificuldades encontradas junto à maioria das empresas desse setor produtivo, que consideram essas informações estratégicas para seus negócios e de carácter sigiloso.

Vale ressaltar que a terminologia a ser adotada para os “resíduos” gerados no presente item desse trabalho será a de “rejeitos”, visto serem definidos e

considerados dessa forma nas três empresas pesquisadas e descartados “ladeira abaixo” sem qualquer previsão de usos futuros.

Para a determinação dos volumes de granitos explotados em duas das empresas monitoradas, denominadas de A e B, foram obtidas planilhas de controle das produções, nas quais constavam registros dos volumes das pranchas de granito “tombadas” e os volumes dos blocos dimensionados efetivamente comercializados ao longo de determinados intervalos de tempo. A diferença entre esses dois volumes se referia ao volume de materiais descartados, considerados rejeitos, no período.

A terceira empresa monitorada, denominada de empresa C, utilizava planilhas de levantamentos topográficos realizados nos diferentes locais da exploração da jazida de granito para períodos de tempo determinados, quantificando-se, assim, os volumes de rochas explotadas naquele período. A partir desses volumes e conhecendo o volume total de blocos de granitos dimensionados que foram efetivamente comercializadas no período estudado, era determinado o volume total gerado de rejeitos no período.

Essa forma de cálculo utilizada pela empresa C, elaborada ao longo do tempo de operação da empresa pela experiência dos responsáveis pela produção, é normalmente utilizada para a obtenção dos valores para os pagamentos dos arrendamentos das pedreiras, baseados na produtividade do período analisado, sendo um método empírico considerado válido entre as empresas de exploração de granito da região do norte do estado do Espírito Santo.

A Figura 80 apresenta pedreira de granito amarelo de uma das empresas monitoradas, na qual é realizada a exploração dos blocos dimensionados por meio do método de corte de bancadas com alturas múltiplas.

Pode-se verificar que a técnica é largamente empregada ao longo do estado do Espírito Santo para o corte dos blocos dimensionados dos maciços de rochas, sendo realizada por meio de corte contínuo com fio diamantado, acompanhada do uso de argamassa expansiva, para o deslocamento da prancha da qual serão explotados os blocos dimensionados, conforme mostra a Figura 81.



Figura 80 – Corte de bancada com altura múltipla em pedreira de granito amarelo situada no norte do ES.



Figura 81 – Corte de bancada com altura múltipla e detalhe do equipamento com fio diamantado, em pedreira de granito amarelo situada no norte do ES.

Segundo Sardou Filho et al. (2013), o uso do fio diamantado para o corte dos blocos no estado do Espírito Santo tem sido empregado de forma sistemática nas extrações, combinado ao uso de tecnologias cíclicas, tais como a perfuração descontínua, consorciadas ao uso de argamassa expansiva ou de explosivos e cordel detonante.

Após o corte e o deslocamento, verificou-se que o tombamento das pranchas é feito por meio de técnicas que se valem de macacos hidráulicos ou de máquinas hidráulicas, tais como pás carregadeiras com auxílio de cabos de aço ou ainda utilizando apenas os “braços” hidráulicos dessas máquinas diretamente nas pranchas. Como forma de preservar as bancadas de granitos explotados de danos físicos resultantes desta operação de tombamento, são utilizados “colchões de rejeitos” para o amortecimento, formados por uma mistura de solo e fragmentos de rochas (Figura 82).



Figura 82 – Tombamento de bancada com altura múltipla, utilizando colchões de rejeitos para o amortecimento, em pedreira de granito amarelo situada no norte do ES.

Foi possível se observar no tombamento das pranchas com bancadas de alturas múltiplas, de onde se extraem os blocos dimensionados de granito, a fragilidade desse processo, em que ocorrem grandes perdas de matéria-prima e, conseqüentemente, grande geração dos chamados rejeitos por essas empresas. Ao

caírem, as bancadas, na maioria das vezes, se partem em dimensões diferentes daquelas necessárias aos blocos que serão direcionados aos teares para o processo de desdobramento.

Foi possível se constatar que os rejeitos da exploração nas pedreiras monitoradas são estocados no entorno dos pátios de exploração ou lançados aleatoriamente “ladeira abaixo”, juntamente com o solo ou a rocha alterada retirados no momento do decapeamento da jazida para a exploração dos blocos. Estes rejeitos (pedaços de rocha de dimensões variadas) normalmente encontram-se soterrados em pilhas altas misturados com o solo removido, inviabilizando um eventual uso futuro, e dispostos indevidamente sobre parte da própria jazida (Figura 83).



Figura 83 – Depósito de rejeitos (solo e pedaços de rochas) posicionados sobre a própria jazida de granito amarelo em pedreira situada no norte do ES.

Em relação aos blocos explorados já com as dimensões padronizadas para o desdobramento, os chamados blocos dimensionados, foi possível se observar que são geralmente estocados em pátios, posicionados lado a lado, para a comercialização, possibilitando aos clientes interessados a realização de análise de suas características estéticas e escolha daqueles que serão adquiridos (Figura 84).

Constatou-se que os blocos que não são vendidos após determinado período de tempo, por possuírem, muitas das vezes, detalhes estéticos quase que imperceptíveis, são simplesmente descartados “ladeira abaixo” juntamente com outros rejeitos sem qualquer previsão de uso futuro (Figura 85), resultando assim em grande parte dos rejeitos gerados na exploração.



Figura 84 – Blocos dimensionados estocados para a comercialização, em pátio de pedreira situada no norte do ES.



Figura 85 – Rejeitos da exploração, incluindo blocos dimensionados descartados por possuírem padrões estéticos indesejáveis, em pedreira situada no norte do ES.

Na Figura 86, também é possível se observar a perda elevada de recursos minerais resultante do processo de exploração em uma pedreira de granito considerada exaurida e abandonada, devido à perda da qualidade do material, situada no norte do estado do Espírito Santo.



Figura 86 – Rejeitos de granito em exploração de granito abandonada situada no norte do ES.

Em relação à quantificação dos rejeitos de granito gerados na etapa da exploração da pedreira da empresa A monitorada, as informações referentes ao período de janeiro de 2010 a maio de 2013 possibilitaram a apresentação dos resultados, conforme mostram a Figura 87 e a Figura 88, nas quais são relacionados os quantitativos em volume de granito amarelo comercializados na forma de blocos dimensionados e os rejeitos gerados no período.

Pode-se verificar que o produto final (blocos de granito dimensionados) efetivamente comercializado, resultante do processo de exploração da empresa A no período estudado de janeiro de 2010 a maio de 2013, representa 11,09% do volume total das rochas exploradas, sendo, portanto, gerados 88,91% de rejeitos da jazida de granito em questão.

Na Empresa B, foram obtidas informações da sua atividade de exploração referentes ao período compreendido entre junho de 2015 e julho de 2016, cujos resultados são apresentados na Figura 89 e na Figura 90.

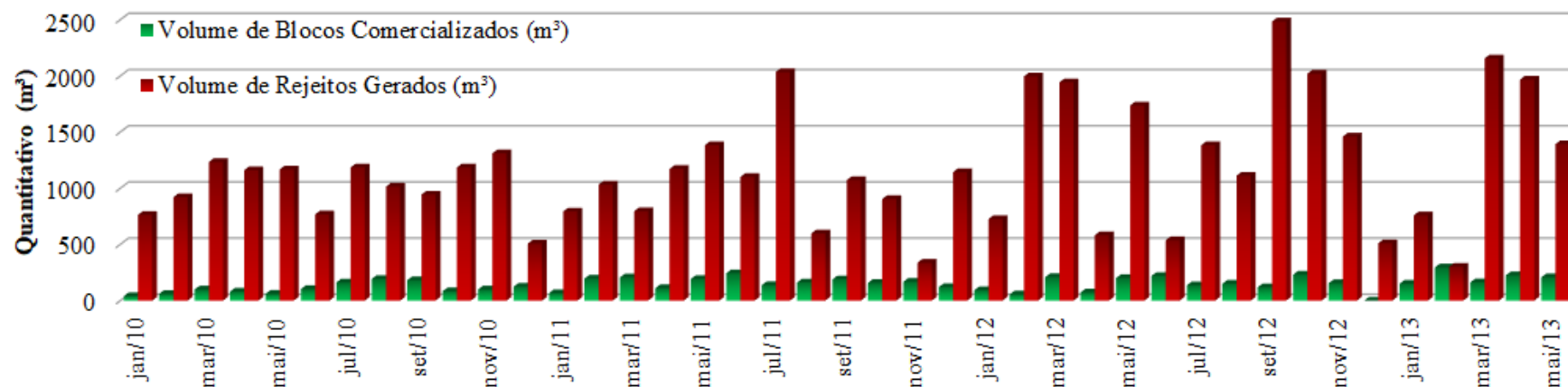


Figura 87 – Quantitativos dos blocos dimensionados de granito amarelo comercializados e dos rejeitos gerados na pedreira da empresa A no período pesquisado.

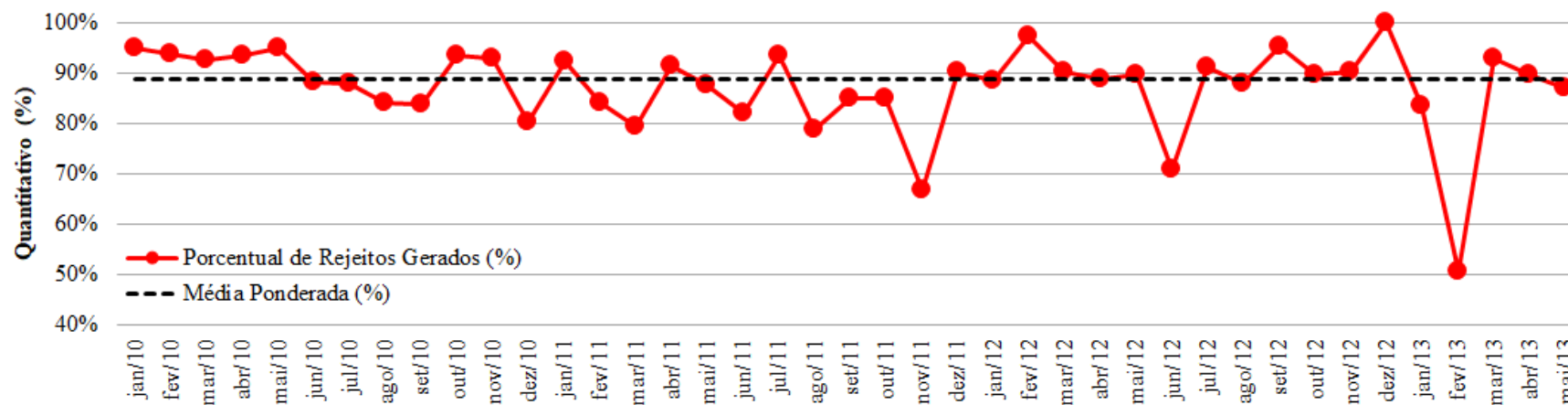


Figura 88 – Variação da geração de rejeitos na pedreira da empresa A ao longo período pesquisado.

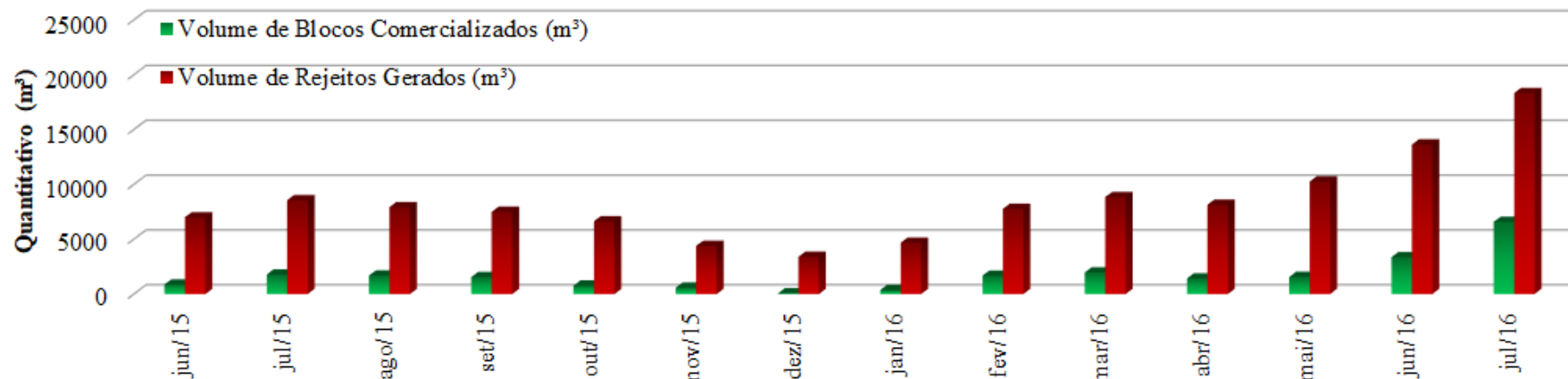


Figura 89 – Quantitativos dos blocos dimensionados de granito amarelo comercializados e de rejeitos gerados na pedreira da empresa B no período pesquisado.

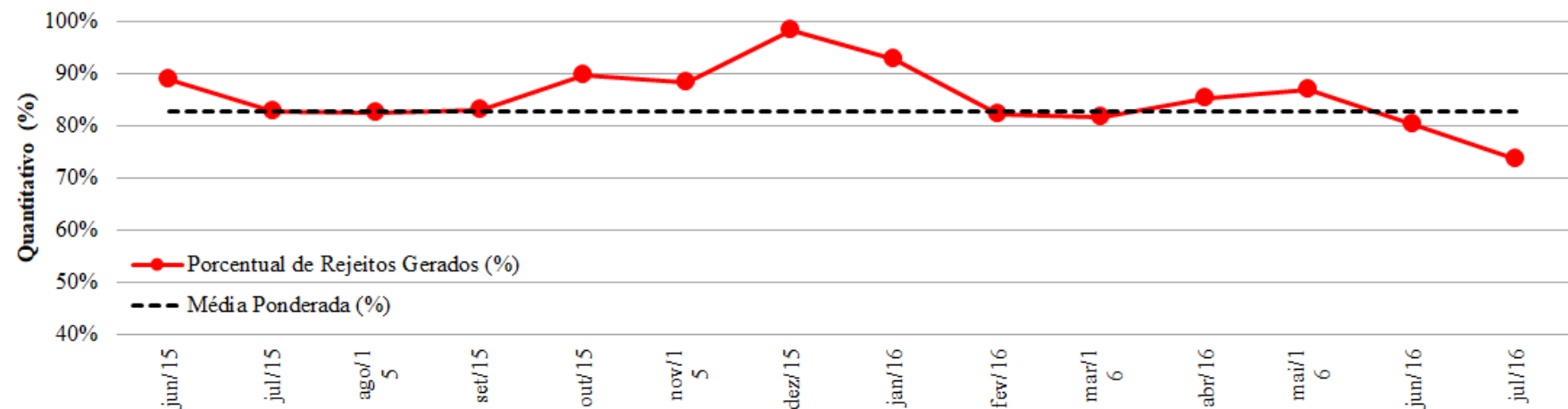


Figura 90 – Variação da geração de rejeitos na pedreira da empresa B ao longo do período pesquisado.

Em relação à empresa B, verificou-se que os blocos de granito dimensionados efetivamente comercializados, resultantes do seu processo de exploração no período compreendido entre julho de 2015 a julho de 2016 representaram 17,14% do volume total das rochas exploradas, sendo gerados, portanto, 82,86% de rejeitos da jazida de granito em questão.

Com os gráficos da Figura 88 e da Figura 90, pode-se observar que ocorrem períodos de maior e menor geração de rejeitos, os quais, segundo os administradores das empresas, referem-se às diferentes etapas da exploração das jazidas. Afirmaram que, quando a exploração ocorre na parte central das jazidas, resulta em maior rendimento, devido à menor geração de casqueiros de rochas das suas laterais. Explicaram também que também podem ocorrer indesejáveis variações na qualidade da rocha explorada, mesmo em períodos em que a exploração está ocorrendo na parte central das jazidas, dificultando a comercialização dos blocos já dimensionados, que resultarão em rejeitos.

No Anexo I desse trabalho encontram-se as planilhas com os dados obtidos junto às empresas A e B monitoradas, que resultaram nos gráficos das figuras anteriormente citadas.

A terceira empresa monitorada, denominada empresa C, utiliza levantamentos topográficos realizados em intervalos de aproximadamente 12 meses, para quantificar as diferenças entre os volumes de rochas exploradas e de blocos dimensionados de granito comercializados. As informações fornecidas se referem ao período compreendido entre junho de 2015 e maio de 2016, correspondente a dois levantamentos consecutivos realizados, cujos dados descrevem que o volume total do material explorado (rocha + solo removido) foi de 72.540,72 m³ e o volume de blocos dimensionados comercializados ou ainda estocados para futura comercialização foi de 18.507,70 m³.

Ainda segundo essas informações, esse desmonte de rochas resultou no volume das chamadas “pilhas de materiais estéreis” (casqueiros de rocha descartados + solo) de 54.033,02 m³.

A empresa C considera ainda que o volume de casqueiros de rochas descartados presentes nas “pilhas de materiais estéreis” é de cerca de 70% do volume total, ou seja, 37.823,11 m³, e o volume do solo, cerca de 30%, ou seja, 16.209,91 m³. Dessa forma, a taxa de aproveitamento final dessa jazida no período analisado é obtida dividindo-se o volume de rocha comercializada (18.507,70 m³) pelo volume total de rocha efetivamente explorada (56.330,81 m³), que corresponde à soma dos volumes de rocha comercializada (18.507,70 m³) e dos casqueiros de rochas na pilha de estéril (37.823,11).

Portanto, a taxa de aproveitamento dessa pedreira analisada da empresa C foi de 32,86%, correspondendo ao volume de blocos dimensionados de granito disponíveis para a venda, e a quantidade de rejeitos de granitos gerados foi de 67,14%.

Segundo os administradores dessa empresa, o rendimento elevado no período estudado foi decorrente da etapa da exploração ter ocorrido na parte central do maciço rochoso e acima da superfície do solo, posição essa conhecida como a de maior rendimento, visto não haver sobras resultantes das paredes laterais normalmente irregulares existentes nos maciços trabalhados.

Portanto, a partir dos monitoramentos realizados em determinados períodos de operação nas três empresas de exploração de granito situadas no norte do estado do Espírito Santo, verificou-se que foram gerados, em média, nas empresas A, B e C, respectivamente, 88,91%, 82,86% e 67,14% de rejeitos, quando comparados com os volumes totais de rochas exploradas nesses períodos.

Observa-se, portanto, com o fluxograma da Figura 91, que a taxa de aproveitamento das jazidas na etapa da exploração dos blocos dimensionados nas três empresas pesquisadas variou de 11,09% a 32,86% e a geração dos casqueiros de rochas, considerados rejeitos por essas empresas, variou de 88,91% a 67,14%.

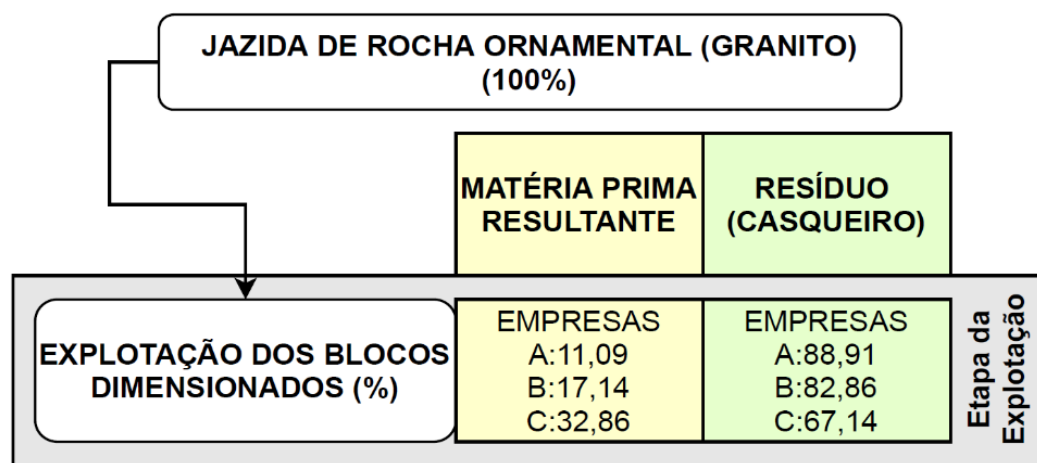


Figura 91 – Fluxograma dos percentuais de aproveitamento da matéria-prima.

Comparando-os com os resultados obtidos por Rocha (2016) para as taxas de aproveitamento nas lavras, referente ao que é efetivamente comercializado e de acordo com as variedades de rochas exploradas, apresentados na Tabela 9, verifica-se que as empresas A e B, que extraem granito amarelo, resultaram em valores de geração de rejeitos para esse tipo de granito ainda maiores nessa etapa da produção de rochas ornamentais.

Rocha (2016) afirma que cada variedade de granito ou mármore apresenta uma margem de eficiência diferenciada na exploração, que acaba por ser definida no momento em que se realiza a exploração na pedreira. É essa eficiência resultante que, por consequência, implicará na maior ou menor geração de rejeitos nas pedreiras.

Tabela 9 – Taxas de aproveitamento e da geração de rejeitos na exploração de rochas de acordo com as variedades, segundo Rocha (2016). Fonte: Rocha (2016).

Tipos de Rochas ornamentais	Aproveitamento da lavra (%)	Geração de rejeitos da exploração (%)
Granito Verde	15,0 – 20,0	85,0 – 80,0
Granito Preto	10,0 – 15,0	90,0 – 85,0
Granito Branco	15,0 – 20,0	85,0 – 80,0
Granito Amarelo	20,0 – 25,0	80,0 – 75,0
Mármore Branco	30,0 – 40,0	70,0 – 60,0

Segundo Silva et al. (2016), o principal resíduo gerado na lavra, por sua maior representatividade em volume, é o resíduo grosseiro, constituído de fragmentos de rocha, proveniente das etapas de desmembramento das bancadas e recorte em blocos. Segundo o pesquisador, de acordo com estimativas baseadas em dados em campo, em média, nas pedreiras de rochas ornamentais, apenas 20-25% do volume explotado é aproveitado sob a forma de blocos.

4.2. Caracterização dos casqueiros de granitos - Resultados de Laboratório

4.2.1. Propriedades e índices

Nesse subitem, são apresentados os resumos dos resultados obtidos para as propriedades índices dos casqueiros de granitos pesquisados, encontrando-se no Anexo 2 desse trabalho as respectivas planilhas e os memoriais de cálculos realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LAMES) da Universidade Federal do Espírito Santo/UFES.

As curvas granulométricas para os três tipos de casqueiros de granitos estudados foram construídas, conforme os procedimentos preconizados na norma NBR 7181 da ABNT (2016), e são apresentadas na Figura 92. Pode-se observar que, pelo fato de as amostras dos casqueiros dos três granitos terem sido preparadas com dimensões aproximadas e britadas no mesmo equipamento, as curvas granulométricas obtidas foram similares.

Todavia, é possível se obter outras curvas granulométricas, a partir de diferentes tamanhos adotados para as amostras submetidas à britagem. Desta forma, pode-se considerar que os casqueiros podem sofrer diferentes britagens, a fim de adquirir as granulometrias ideais para diferentes usos propostos.

Na Tabela 10 são apresentados, de forma detalhada, os percentuais obtidos em função das faixas granulométricas. Ressalta-se que foi realizado neste trabalho apenas o peneiramento grosso, devido ao fato de que as porcentagens passantes das amostras peneiradas na peneira de abertura 2,0 mm, conforme preconiza a norma NBR 7181 da ABNT (2016), terem sido ínfimas se comparadas com as porcentagens retidas nessa peneira. Todavia, para maior conhecimento, os materiais

passantes nessa peneira foram peneirados na peneira de abertura 0,075 mm, para obtenção das porcentagens de argila nas amostras. Assim, com a não realização dos ensaios de peneiramento fino, não foi possível se obter de forma discriminada as porcentagens das demais frações granulométricas: areias grossas, médias e finas e siltes.

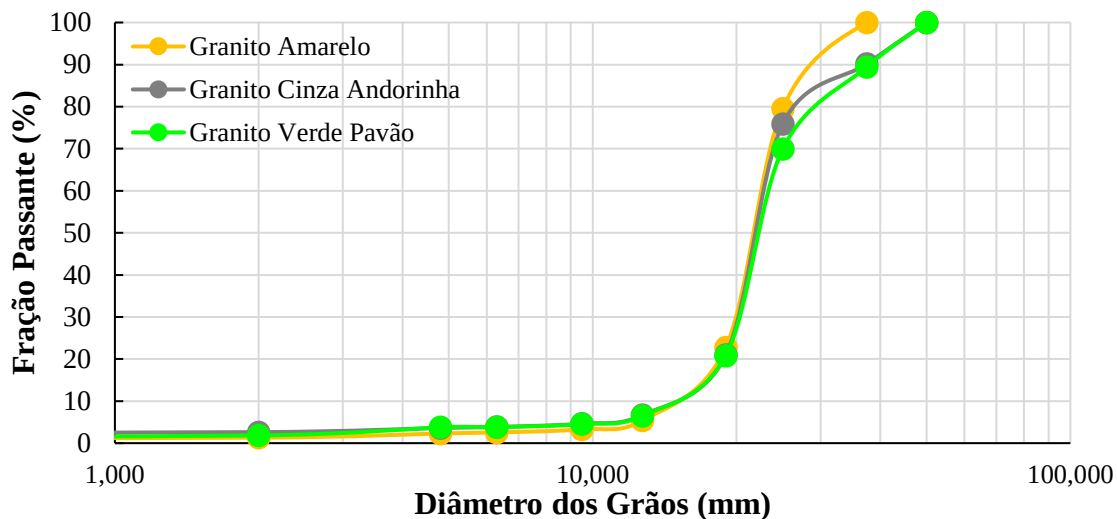


Figura 92 – Curvas granulométricas dos casqueiros de granitos britados, obtidas em função das dimensões do britador de mandíbulas disponível.

Tabela 10 – Percentuais encontrados nas curvas granulométricas dos casqueiros de granitos britados.

	GA	GCA	GVP
Argila ($d \leq 0,002$ mm)			
Silte ($0,002 < d \leq 0,060$ mm)			
Areia Fina ($0,060 < d \leq 0,200$ mm)	1,3%	2,6%	1,9%
Areia Média ($0,200 < d \leq 0,600$ mm)			
Areia Grossa ($0,600 < d \leq 2,000$ mm)			

Tabela 10 (cont.) - Percentuais encontrados nas curvas granulométricas dos casqueiros de granitos britados.

	GA	GCA	GVP
Pedregulho Fino (2,000 < d ≤ 6,000 mm)	1,2%	1,2%	2,0%
Pedregulho Médio (6,000 < d ≤ 20,000 mm)	29,7%	26,3%	25,2%
Pedregulho Grosso (20,000 < d ≤ 60,000 mm)	67,8%	69,8%	71,0%
Limite de Liquidez (LL)	Não Líquido	Não Líquido	Não Líquido
Limite de Plasticidade (LP)	Não Plástico	Não Plástico	Não Plástico
Índice de Plasticidade (IP)	-	-	-
Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)	GP	GP	GP

Nota: Os ensaios para determinação da massa específica real dos casqueiros de granitos não foram realizados, devido a dificuldades operacionais relacionadas aos próprios materiais.

As granulometrias requeridas para a utilização dos casqueiros de granito amarelo, granito cinza andorinha e granito verde pavão como Lastro Ferroviário (NBR 5564 da ABNT (2011)) e Macadame Hidráulico (DNER-ES 316, 1997) estão apresentados na Tabela 11, e como Agregado Graúdo para Concreto (NBR NM 248 da ABNT (2003)) e Base Rodoviária (DNER ME 080, 1994 e DNIT, 2006), estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 11 – Faixas Granulométricas requeridas para o uso de britas como Lastro Ferroviário (NBR 5564 da ABNT (2011)) e Macadame Hidráulico (DNER ES 316, 1997).

Diâm. (mm)	Porcentagem Passante em Massa (%)				
	Lastro Ferroviário ^a		Macadame Hidráulico ^b		
	A	B	A	B	C
101,6	-	-	100,0	-	-
88,9	-	-	90,0-100,0	-	-
76,2	-	100,0	-	100,0	-
63,5	100,0	90,0-100,0	25,0-60,0	90,0-100,0	100,0
50,8	90,0-100,0	-	-	35,0-70,0	90,0-100,0
38	35,0-70,0	25,0-60,0	0,0-15,0	0,0-15,0	35,0-70,0
31,5	0,0-15,0	-	-	-	0,0-15,0
25,4	-	0,0-10,0	0,0-5,0	0,0-5,0	-
19	0,0-5,0	0,0-5,0	-	-	0,0-5,0
12	-	-	-	-	-
9,51	-	-	-	-	-
4,76	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
0,42	-	-	-	-	-
0,074	-	-	-	-	-

Notas: ^a Padrão A e Padrão B referem-se, respectivamente, a lastros para aplicação em linhas principais e para pátios.

^b Padrões A, B e C referem-se aos limites respectivos às granulometrias dos lastros em função das intensidades dos usos das estradas, decrescendo do padrão A até o padrão C.

Tabela 12 – Faixas Granulométricas requeridas para o uso de britas como Agregado Graúdo para Concreto (NBR NM 248 da ABNT (2003)) e Base Rodoviária (DNER ME 080, 1994 e DNIT, 2006).

	Porcentagem Passante em Massa (%)										
	Agregado Graúdo para Concreto					Base de Rodoviária ^a					
	Zona granulométrica d/D ^b				4,75/12,5	Classe I				Classe II	
	4,75/12,5	9,5/25	25/50	37,5/75		A	B	C	D	E	F
101,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
88,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
76, 2	-	-	-	-	95-100	-	-	-	-		
63,5	-	-	-	-	70-95	-	-	-	-		
50,8	-	-	-	95-100	0-25	100 (±7)	100 (±7)	-	-		
38	-	-	-	70-95	0-10	-	-	-	-		
31,5	-	-	95-100	0-25	0-5	-	-	-	-		
25,4	-	95-100	75-95	0-13	-	-	75-90 (±7)	100 (±7)	100 (±7)	100 (±7)	100 (±7)
19	-	85-98	05--35	0-5	-	-	-	-	-		

Tabela 12 (cont.) - Faixas Granulométricas requeridas para o uso de britas como Agregado Graúdo para Concreto (NBR NM 248 da ABNT (2003)) e Base Rodoviária (DNER ME 080, 1994 e DNIT, 2006).

	Porcentagem Passante em Massa (%)										
	Agregado Graúdo para Concreto					Base de Rodoviária ^a					
	Zona granulométrica d/D ^b					Classe I			Classe II		
	4,75/12,5	9,5/25	25/50	37,5/75	4,75/12,5	A	B	C	D	E	F
12	95-100	35-60	0-8	-	-	-	-	-	-		
9,51	-	-	-	-	-	30-65 (±7)	40-75 (±7)	50-85 (±7)	60-100 (±7)		
4,76	-	-	-	-	-	25-55 (±5)	30-60(±5)	35-65(±5)	50-85(±5)	55-100(±5)	10-100(±5)
2	-	-	-	-	-	15-40 (±5)	20-45(±5)	25-50(±5)	40-70(±5)	40-100(±5)	55-100(±5)
0,42	-	-	-	-	-	8-20 (±2)	15-30 (±2)	15-30 (±2)	25-45 (±2)	20-50 (±2)	30-70 (±2)
0,074	-	-	-	-	-	2-8 (±2)	5-15 (±2)	5-15 (±2)	10-25 (±2)	6-20 (±2)	8-25 (±2)

Notas: ^a Padrões A, B, C, D e E referem-se aos limites respectivos às granulometrias dos lastros em função das intensidades dos usos das estradas, decrescendo do padrão A até o padrão C.

^b Zona granulométrica d/D: correspondente à menor (d) e à maior (D) dimensões do agregado graúdo.

Pode-se observar, com os valores das faixas granulométricas obtidas para os casqueiros dos três tipos de granitos britados e ensaiados e comparando-os com os limites estabelecidos nas Tabela 11 e Tabela 12 – Faixas Gr, que somente o granito amarelo atende as características para o uso como agregado graúdo para concreto na faixa de 25/50.

Porém, é preciso ressaltar que diferentes curvas granulométricas podem ser obtidas, em função dos usos propostos desejados, bastando para isso submeter os casqueiros de granitos a diferentes processos de britagem. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho em relação às granulometrias dos casqueiros dos três tipos de granitos pesquisados não são valores limitantes para os usos propostos, sendo necessário somente a realização de novos processos de britagem para o atendimento das finalidades desejadas.

Os estudos realizados por CHEN et al. (2014), indicaram que misturas de cascalhos de granitos com areia siltosa nas granulometrias indicadas na Figura 93, utilizadas em subleitos de lastros ferroviários, com concentrações nas faixas de 40% de areia argilosa e 60% de cascalho de granitos ou 30% de areia argilosa e 70% de cascalho de granitos, são recomendadas como ótimas concentrações, resultando em boa permeabilidade e alto módulo de resistência.

Ainda em relação à possibilidade de se utilizar diferentes distribuições granulométricas para os casqueiros de granitos em função dos usos a serem propostos, OSTROWSKI et al. (2020) realizaram estudos com casqueiros de granitos utilizados como agregados graúdos em concreto auto adensável de alto desempenho. Iniciaram obtendo amostras cúbicas em uma jazida, das quais extraíram amostras com diâmetros de 20 a 150 mm, que foram então submetidas a um britador de mandíbulas para fragmentação, cuja folga das mandíbulas era de 16 mm. Obtiveram um agregado graúdo com fração de diâmetro variando de 0 a 16 mm, o qual foi submetido a peneiras vibratórias, para selecionar partículas com diâmetros entre 4 e 8 mm, necessárias para a preparação das misturas de concretos a serem pesquisadas. Todas as misturas continham as mesmas quantidades de cada um dos componentes e a única diferença na composição da mistura era a quantidade de agregados graúdos regulares e irregulares. A linha azul da Figura 94 mostra a distribuição do tamanho de partícula do agregado grosso usado na pesquisa.

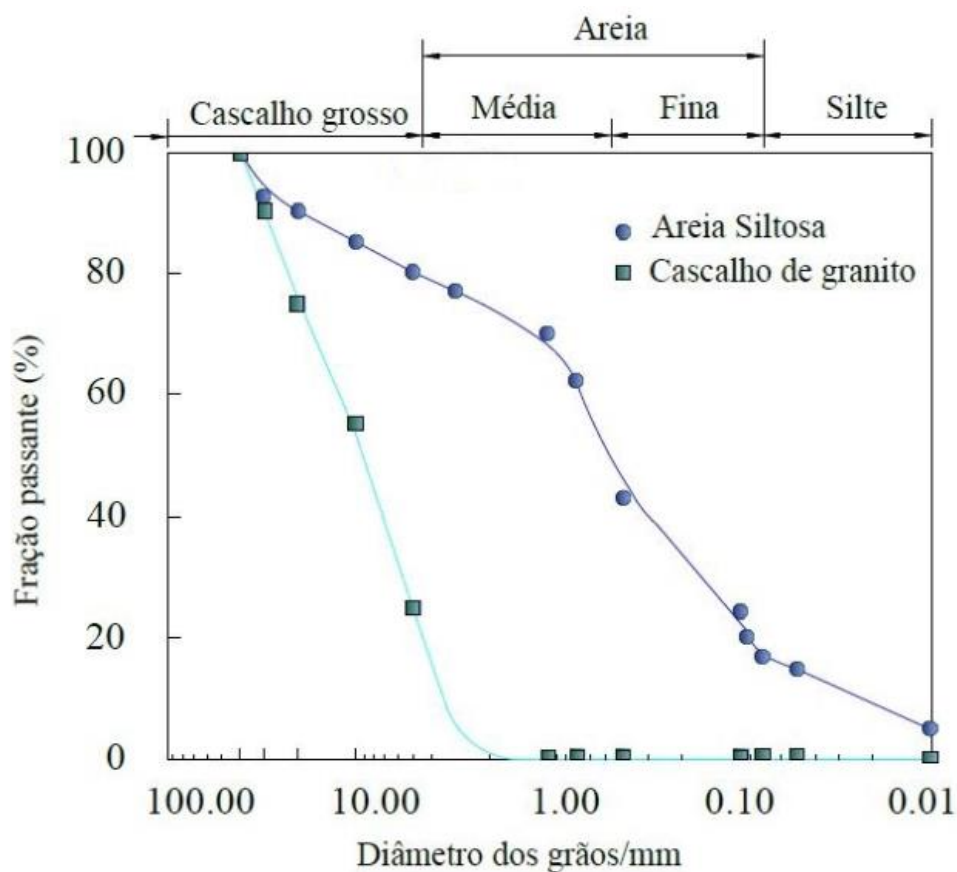


Figura 93 – Distribuição granulométrica da areia siltosa e do cascalho de granito, utilizados em misturas melhoradas para subleito de lastros ferroviários. Fonte: CHEN et al. (2014).

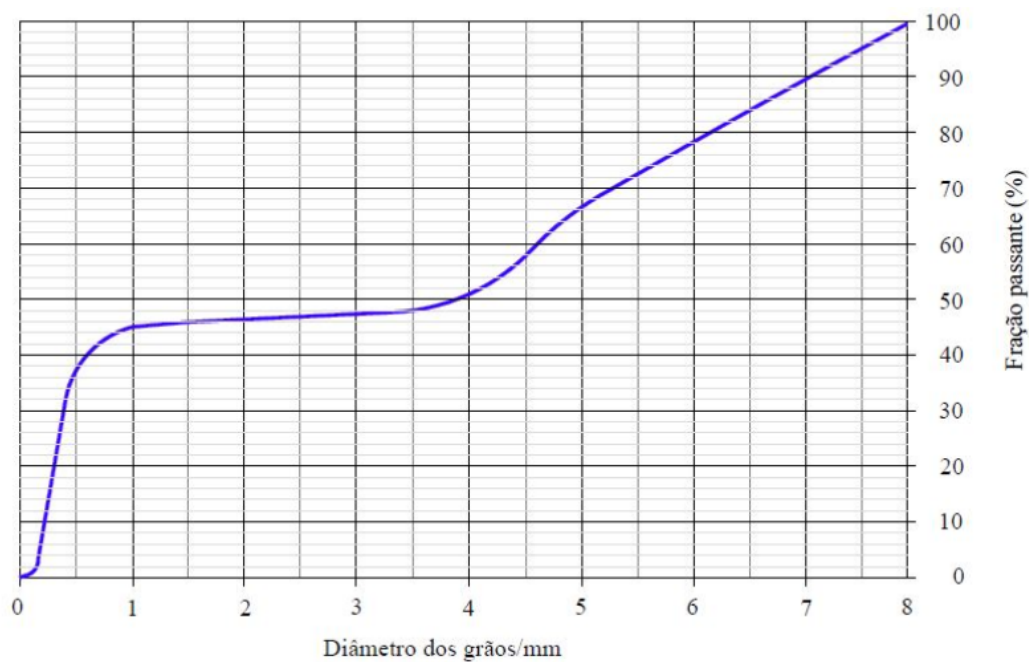


Figura 94 – Distribuição dos tamanhos das partículas do agregado graúdo proveniente de casqueiros de granitos, utilizado em concreto auto adensável de alto desempenho. Fonte: OSTROWSKI et al. (2020).

Em relação aos resultados obtidos nos ensaios de laboratório necessários à verificação da potencialidade do uso dos casqueiros de granitos como Lastro Ferroviário (NBR 5564 da ABNT (2011)), Macadame Hidráulico (DNER-ES 316 (1997)), Agregado Graúdo para Concreto (NBR 7211 da ABNT (2009)) e Base Rodoviária (DNER-ES 141 (2010)), estes estão expostos na Tabela 13, a qual também apresenta os valores limitantes nas normativas técnicas pertinentes aos diferentes usos propostos.

Em relação ao ensaio de forma dos grãos, observa-se nas três qualidades de granitos ensaiados que possuem mais de 15% dos seus grãos no formato não cúbico, inviabilizando o uso destes materiais como lastro ferroviário (LF). Quanto ao índice de forma, os valores obtidos estão dentro do limite exigido para o uso destes materiais como agregado graúdo para concreto (AGC) e como base rodoviária (BR). Quando se analisa a porcentagem de forma lamelar dos grãos, os valores estão acima dos 10% exigidos em norma, inviabilizando o uso destes resíduos como base rodoviária (BR). Entretanto, deve-se observar que a granulometria exigida para qualificação do material está vinculada ao tipo e porte de britador utilizado para o processo de britagem, sendo possível obter a granulometria estabelecida por norma para a finalidade desejada, desde que utilizados britadores com dimensões adequadas.

Tabela 13 – Resultados dos ensaios de laboratório realizados e valores limitantes exigidos pelas normativas técnicas, para os diferentes usos propostos para os casqueiros de granitos pesquisados.

Ensaio	Casqueiros de granitos pesquisados ^a			Limites por Normativas Técnicas ^b			
	GA	GCA	GVP	LF	AGC	MH	BR
Forma dos Grãos (% não cúbica)	48,0%	42,0%	52,0%	≤ 15,0%	-	-	-
Forma dos Grãos (Índice de Forma Médio (%))	0,6%	0,6%	0,6%	-	≤ 3,0%	-	≥ 0,5%
Forma dos Grãos (% Lamelar)	27%	30%	24%	-	-	-	≤ 10,0%
Massa Específica Aparente (kg/m³)	2580	2540	2550	≥ 2500	-	-	-

Tabela 13 (cont.) – Resultados dos ensaios de laboratório realizados e valores limitantes exigidos pelas normativas técnicas, para os diferentes usos propostos para os casqueiros de granitos pesquisados.

Ensaio	Casqueiros de granitos pesquisados ^a			Limites por Normativas Técnicas ^b			
	GA	GCA	GVP	LF	AGC	MH	BR
Porosidade Aparente (%)	1,89%	1,82%	1,46%	≤ 1,5%	-	-	-
Absorção de Água (%)	0,74%	0,72%	0,57%	≤ 0,8%	≤ 1,0%	-	-
Teor de Material Pulverulento (%)	0,17%	0,10%	0,08%	≤ 1,0%	≤ 1,0% ^c	-	-
Torrões de Argila (%)	0,0%	0,0%	0,0%	≤ 0,5%	≤ 1,0%	-	-
Abrasão Los Angeles (%)	55,0%	50,0%	48,0%	≤ 30,0%	≤ 50,0%	≤ 50,0%	≤ 50,0%
Resistência à intempérie (%) (40 ciclos)	7,67%	11,56%	0,61%	≤ 10,0% ^d	-	≤ 20,0% ^e	≤ 20,0% ^e
Densidade aparente seca (kg/m ³)	1250	1250	1250	≤ 1250			

Notas: ^a GA – Granito Amarelo, GCA – Granito Cinza Andorinha e GVP – Granito Verde Pavão;

^b LF – Lastro Ferroviário, AGC – Agregado Graúdo para Concreto, MH – Macadame Hidráulico e BR – Base Rodoviária;

^c Para agregados produzidos a partir de rochas com absorção de água inferior a 1%, determinados conforme a norma NBR NM 53 da ABNT (2003), o teor de material pulverulento pode ser alterado de 1% para 2%;

^d 40 ciclos;

^e 5 ciclos;

^f Os ensaios especiais e de durabilidade, especificados na norma NBR 7211 da ABNT (2009), não foram realizados;

^g Os ensaios de Limite de Massa Unitária Solta e de Teor de Fragmentos, especificados nas normas NBR NM 45 da ABNT (2006) e NBR 5564 da ABNT (2011) respectivamente, para o uso como LF não foram realizados.

Os resultados obtidos nos ensaios de massa específica aparente, absorção de água e densidade aparente seca estão em conformidade com os valores determinados pela norma NBR 5564 da ABNT (2011) para o uso como lastro ferroviário (LF). Já no ensaio de porosidade aparente, obrigatório para a caracterização do lastro ferroviário (LF), somente o resultado do granito verde pavão (GVP) foi consonante com o valor limitante da norma técnica para esse uso.

Ainda em relação à densidade aparente seca, como não são estabelecidos limites pelas normativas técnicas pertinentes para os usos como agregado graúdo para concreto (AGC), macadame hidráulico (MH) e base rodoviária (BR), pode-se afirmar que todos os três tipos de casqueiros de granitos ensaiados são aptos à utilização para esses fins.

Para os usos como lastro ferroviário (LF) e agregado graúdo para concreto (AGC), os resultados do teor de material pulverulento para as três qualidades de granitos ensaiados estão dentro dos limites estabelecidos pela norma NBR NM 46 da ABNT (2003).

Em relação ao ensaio de Abrasão Los Angeles, verificou-se que os valores encontrados para os três tipos de granitos ensaiados não atendem ao limite máximo estabelecido para o uso como lastro ferroviário (LF). Porém, os granitos cinza andorinha (GCA) e verde pavão (GVP) atendem para os usos como agregado graúdo para concreto (AGC), macadame hidráulico (MH) e base rodoviária (BR).

No ensaio de resistência à intempérie, solicitado nas normativas relacionadas ao lastro ferroviário (LF), macadame hidráulico (MH) e base rodoviária (BR), resultaram em valores de 7,67%, 11,56% e 0,61%, para o granito amarelo (GA), granito cinza andorinha (GCA) e granito verde pavão (GVP), respectivamente. Estes valores obtidos inviabilizam somente o uso do granito cinza andorinha (GCA) para lastro ferroviário (LF). Já para os usos como macadame hidráulico (MH) e base rodoviária (BR), para os quais são exigidos a execução de no mínimo 5 ciclos, todos os granitos apresentaram resultados inferiores, mas com a realização de 40 ciclos, não podendo-se afirmar, portanto, se os três tipos de granitos pesquisados são passíveis de utilização para esses fins.

Martins et al. (2014) obteve resultados de ensaios para diferentes tipos de rochas pesquisadas para o uso como agregado graúdo (AG), tendo encontrado para o granito os valores de 1,077 ($\pm 0,600$), 24,7 ($\pm 3,9$) e 37,7 ($\pm 11,8$) para os parâmetros Absorção de Água (%), Abrasão Los Angeles (%) e Índice de Forma dos Grãos (%), respectivamente. Comparando-os com os resultados obtidos no presente trabalho, verifica-se que para a Absorção de Água o resultado de Martins et al. (2014) foi maior e também acima do limite máximo estabelecido na normativa técnica para essa finalidade. Em relação ao resultado do desgaste à Abrasão Los Angeles, em torno de 24,7%, é inferior aos valores encontrados para os granitos amarelo (GA), cinza andorinha (GCA) e verde pavão (GVP) na presente pesquisa, acontecendo o inverso em relação a valor do Índice de Forma dos Grãos, obtido em torno de 37,7%.

Binici et al. (2008) e Pereira et al. (2009), pesquisando o parâmetro absorção de água para diferentes tipos de rochas, obtiveram para o granito os valores de 1,5% e 0,3%, respectivamente, o que demonstra que há uma variação considerável nos valores encontrados, quando comparados aos resultados obtidos por outros pesquisadores.

Segundo Sardou Filho et al. (2013), nos 56 resultados encontrados para os granitos amarelo, cinza e verde explotados no estado do Espírito Santo, pesquisados para o índice absorção de água, apresentaram valores abaixo de 1%, consoantes com a presente pesquisa. Para a porosidade aparente, todos os resultados encontrados apresentaram valores abaixo de 1,5%, diferente daqueles da presente pesquisa, nos quais o granito amarelo (GA) e o cinza andorinha (GCA) apresentaram resultados superiores a esse valor.

Portanto, constata-se, com o presente estudo, a possível viabilidade do uso dos casqueiros provenientes dos granitos cinza andorinha (GCA) e verde pavão (GVP), na incorporação como agregado graúdo para concreto (AGC). No entanto, faz-se necessário a execução de outros ensaios para a determinação definitiva de sua viabilidade, de acordo com as especificações indispensáveis para o seu uso como concreto aparente, concreto sujeito a desgaste superficial e outros. Sugere-se a realização dos ensaios de: materiais carbonatados (ASTM C 123 (2014)), reatividade álcali-agregado (ASTM C 1260 (2014)), teor de cloretos e sulfatos

solúveis da norma NBR 9917 da ABNT (2009) e demais ensaios especiais da norma NBR 7211 da ABNT (2009).

Nota-se que os resultados estabelecidos para o uso como macadame hidráulico (MH) foram alcançados nos ensaios com as amostras dos granitos cinza andorinha (GCA) e verde pavão (GVP), considerando-se os resultados obtidos para o ensaio de resistência à intempérie com 40 ciclos. Isto posto, estas qualidades de granito estudadas possuem potencial para serem incorporadas como macadame hidráulico.

4.2.1.1. Parâmetros de engenharia: resistência à compressão simples e à carga puntiforme

Os resultados para os parâmetros de resistência à compressão simples para os três tipos de granitos pesquisados, foram obtidos por meio dos ensaios realizados, segundo a norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011), no laboratório de propriedade da empresa BRASCONTEC ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA, situada no município de Serra, ES.

Os 15 corpos de prova extraídos empregados no programa experimental, sendo 5 para cada um dos três tipos de granitos pesquisados, resultaram com diâmetros variando entre 74,7 e 75,3 mm e relação altura x diâmetro de 1:2,3 a 1:2,6. As dimensões dos corpos de prova são apresentadas na Tabela 14, assim como os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples com as médias aritméticas, desvios padrão e coeficiente de variação dos valores obtidos para as tensões de ruptura, conforme preconizado na citada norma, e ainda apresentados os tipos de rupturas encontrados.

A Figura 95 apresenta os corpos de prova resultantes dos ensaios de resistência à compressão simples, para os três tipos de granitos estudados.

Tabela 14 – Corpos de prova dos casqueiros de granitos utilizados para os ensaios de resistência à compressão simples. Fonte: Autor

Grupo ^a	Corpo de Prova	Diâmetro D (mm)	Altura H (mm)	Relação H/D	Peso Específico (kN/m ³)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tipo de Ruptura ^c
GA	A1	75,2	183,6	2,4*	26,13	103,3	Colunar
	A2	75,1	183,4	2,4*	26,31	125,5	Cônica Bipartida
	A3	74,8	196,3	2,6	25,63	92,6	Cônica Cisalhada
	A4	75,3	171,5	2,3*	25,59	96,1	Coluna
	A5	74,8	180,5	2,4*	25,70	81,6	Cônica Cisalhada
						M. A. ^b = 99,8 MPa	
						D. P. ^b = 16,4	
						C. V. ^b = 16,4%	
GCA	C1	75,3	189,7	2,5	26,50	137,3	Cônica Bipartida
	C2	75,1	192,3	2,6	26,64	99,3	Colunar
	C3	74,8	174,8	2,3*	26,47	85,8	Cônica Cisalhada
	C4	74,9	178,7	2,4*	26,15	73,0	Colunar
	C5	74,8	176,5	2,4*	26,29	112,5	Colunar
						M. A. ^b = 101,6 MPa	
						D. P. ^b = 24,8	
						C. V. ^b = 24,4%	

Tabela 14 (cont.) - Corpos de prova dos casqueiros de granitos utilizados para os ensaios de resistência à compressão simples.

Grupo ^a	Corpo de Prova	Diâmetro D (mm)	Altura H (mm)	Relação H/D	Peso Específico (kN/m ³)	Tensão de Ruptura (MPa)	Tipo de Ruptura ^c
GVP	V1	75,0	196,2	2,6	27,40	127,2	Cônica
	V2	75,3	193,2	2,6	27,18	111,5	Cônica Bipartida
	V3	74,9	194,5	2,6	27,48	116,8	Cisalhada
	V4	74,7	189,5	2,5	27,10	70,6	Cisalhada
	V5	74,7	195,6	2,6	27,23	113,4	Cônica Cisalhada
						M. A. ^b = 107,9 MPa	
						D. P. ^b = 21,7	
						C. V. ^b = 20,1%	

Notas: ^a GA – Granito Amarelo, GCA – Granito Cinza Andorinha e GVP – Granito Verde Pavão.

^b M. A. – Média Aritmética; D. P. – Desvio Padrão e C.V. – Coeficiente de Variação (%).

^c Tipos de ruptura:

* Relação altura/diâmetro inferiores à mínima recomendada pela norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011) de 1/2,5, devido às dificuldades encontradas na obtenção das amostras de casqueiros de granitos que possuísem espessuras de no mínimo 189 mm.



Cônica



Cônica Bipartida



Cônica Cisalhada



Cisalhada



Colunar

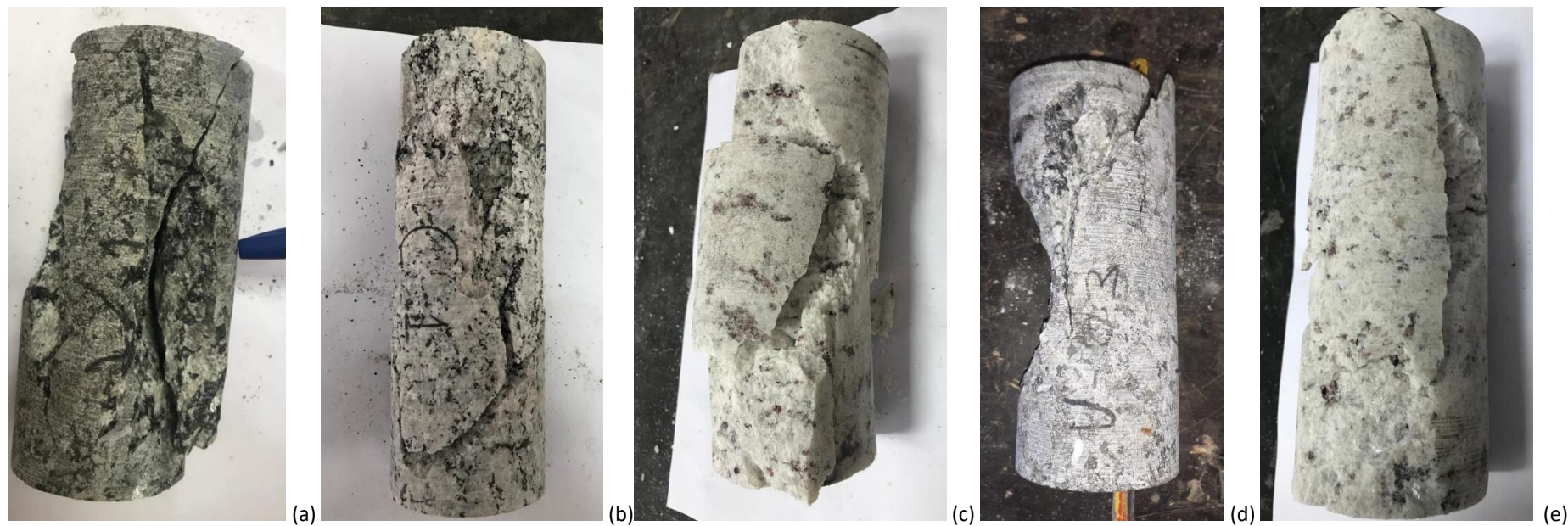


Figura 95 – (a) Corpo de prova do granito verde pavão (V1) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo cônica); (b) Corpo de prova do granito cinza andorinha (C1) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo cônica bipartida); (c) Corpo de prova do granito amarelo (A3) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo cônica cisalhada); (d) Corpo de prova do granito verde pavão (V3) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo cisalhada); (e) Corpo de prova do granito amarelo (A1) após o rompimento no ensaio de compressão simples (ruptura tipo colunar).

Segundo a norma NBR 5564 da ABNT (2011) – Anexo D, a resistência à compressão simples mínima para o lastro ferroviário é de 100 MPa. Pode-se observar, portanto, com os resultados obtidos nos ensaios realizados que as médias aritméticas das tensões de ruptura para os três granitos estudados atenderam ao valor mínimo preconizado por essa norma para o uso como lastro ferroviário. Vale ressaltar que as amostras dos Granitos Amarelo e Cinza Andorinha atenderam ao valor mínimo preconizado para a resistência à compressão simples, porém suas espessuras resultaram na relação altura x diâmetro entre 1/2,3 e 1/2,4, inferiores ao valor mínimo preconizado para essa relação de 1/2,5, tendo em vista às dificuldades encontradas na obtenção de amostras com espessuras mínimas de 189 mm, conforme citado em 3.2.1.2.

Sardou Filho et al. (2013) apresentam resultados obtidos para a resistência à compressão simples de 37 diferentes nomenclaturas comerciais adotadas para granitos amarelos explotados ao longo do estado do ES, dos quais 24 apresentaram valores superiores a 100 MPa. Para os granitos cinza andorinha e verde pavão, dentre as 09 diferentes nomenclaturas comerciais adotadas para granitos cinzas e também de outras 09 para granitos verdes pesquisados, todas apresentaram resultados acima do limite mínimo estabelecido para a resistência à compressão simples.

São apresentados, na tabela do Anexo 4, os resultados dos ensaios de resistência à compressão à carga puntiforme, realizados no Laboratório de Mecânica das Rochas do Grupo de Tecnologia e Engenharia de Petróleo (GTEP) da PUC/Rio, para os três tipos de casqueiros de granitos estudados, de acordo com a norma ISRM (1985).

Segundo essa norma, para diferentes valores da força aplicada (P), obtidos no momento da ruptura dos corpos de prova, são obtidos os correspondentes valores dos índices de resistência à compressão à carga puntiforme, corrigidos para um corpo de prova de espessura 50 mm ($I_{s(50)}$). Ainda conforme essa norma, desprezando-se os dois maiores e os dois menores valores extremos obtidos para a força P , para cada grupo de granitos, pode-se obter os valores médios do $I_{s(50)}$.

Comparando-se os valores médios obtidos para as tensões de ruptura dos ensaios realizados de resistência à compressão simples, segundo a norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011), apresentados na Tabela 14, com os valores médios obtidos do $I_{s(50)}$ nos ensaios realizados de resistência à carga puntiforme, segundo a norma ISRM (1985), para os três grupos de granitos pesquisados, pode-se obter a relação desses valores com a resistência à compressão à carga puntiforme (C_o), conforme mostra a Tabela 15.

Tabela 15 – Resultados da relação entre C_o e os valores médios obtidos para os ensaios de resistência à compressão simples e à carga puntiforme, realizados para os casqueiros de granitos estudados.

	Tensão de ruptura (MPa)	($I_{s(50)}$) (MPa)	Relação da C_o = (Tensão Rup./ $I_{s(50)}$)
Granito Amarelo	99,8	3,27	30
Granito Cinza Andorinha	101,6	4,66	22
Granito Verde Pavão	107,9	3,44	31

Notas: Tensão de ruptura: valores médios obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples, segundo a norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011);

$I_{s(50)}$ = valores médios obtidos para o índice de resistência à compressão à carga puntiforme, corrigido para um corpo de prova de 50 mm de espessura, segundo a norma ISRM (1985);

Relação da C_o , resistência à compressão à carga puntiforme, com a resistência à compressão simples.

Comparando-se os valores obtidos para a relação das resistências à compressão simples, segundo a norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011), e à carga puntiforme (C_o), segundo a (ISRM (1985), com os valores recomendados por essa norma de 20 a 25 vezes para rochas isotrópicas, observou-se o valor de 22 vezes para o granito cinza andorinha. Para os granitos amarelo e verde pavão, o fator de proporcionalidade resultou em cerca 30 e 31 vezes, respectivamente, o que, segundo essa referência, pode acontecer, quando as amostras das rochas apresentam características anisotrópicas.

A Figura 96, a Figura 97 e a Figura 98 apresentam os corpos de provas resultantes dos ensaios de resistência à compressão à carga puntiforme, para os três tipos de granitos estudados.



Figura 96 – Corpos de provas do granito amarelo após a ruptura no ensaio de resistência à compressão à carga puntiforme.



Figura 97 – Corpos de provas do granito cinza andorinha após a ruptura no ensaio de resistência à compressão à carga puntiforme.



Figura 98 – Corpos de provas do granito verde pavão após a ruptura no ensaio de resistência à compressão à carga puntiforme.

4.2.1.2. Caracterização mineralógica

Para a verificação da pureza e cristalinidade dos minerais existentes nos três tipos de casqueiros de granitos pesquisados, foram realizados ensaios de difração de raios-X, nos quais feixes de ondas de raios-X incidem sobre os átomos de um cristal, os quais, possuindo espaçamento uniforme, causam um padrão de interferência nessas ondas (Gobbo, 2003).

Após a detecção dos ângulos de incidência (Θ) e das intensidades relativas (I/I_0) dos feixes difratados, é possível se determinar os minerais presentes em um dado material a partir dos resultados do difratograma obtido, comparando-os com valores de ângulos de incidência catalogados em bancos de dados (Napolitano et al., 2007).

As informações geradas nas difratometrias resultantes dos ensaios de difração de raios-X realizados Laboratório de Raios-X do Departamento de Engenharia Química e de Materiais (DEQM) da PUC/Rio, foram tratadas por meio do programa Match! 3.10® (Phase Identification from Powder Diffraction), utilizando o banco de dados Powder Diffraction File (PDF), produzido pelo International Centre for Diffraction Data (ICDD), para comparação com difratogramas padrões.

Os gráficos obtidos nos ensaios de difração de raios-X realizados nas amostras dos três tipos de casqueiros de granitos pesquisados sob a forma de rocha moída, comparando-os com o banco de dados citado, são apresentados na Figura 99, na Figura 100 e na Figura 101.

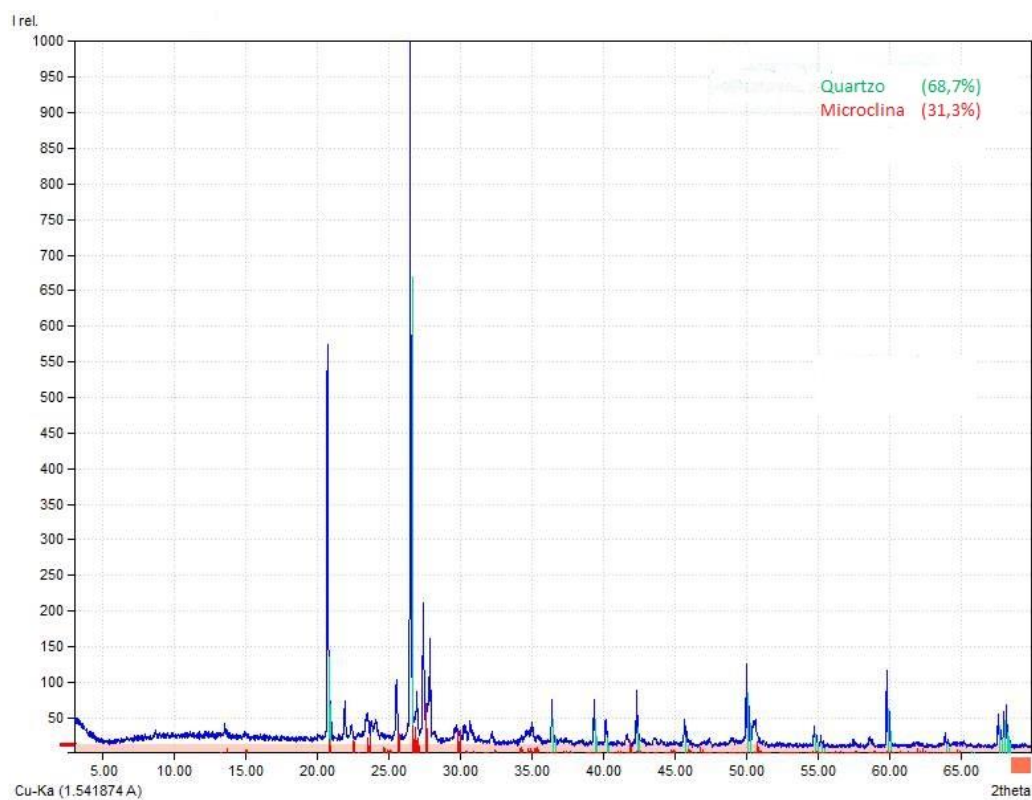


Figura 99 – Gráfico obtido no ensaio de difração de raios-X para o granito amarelo.

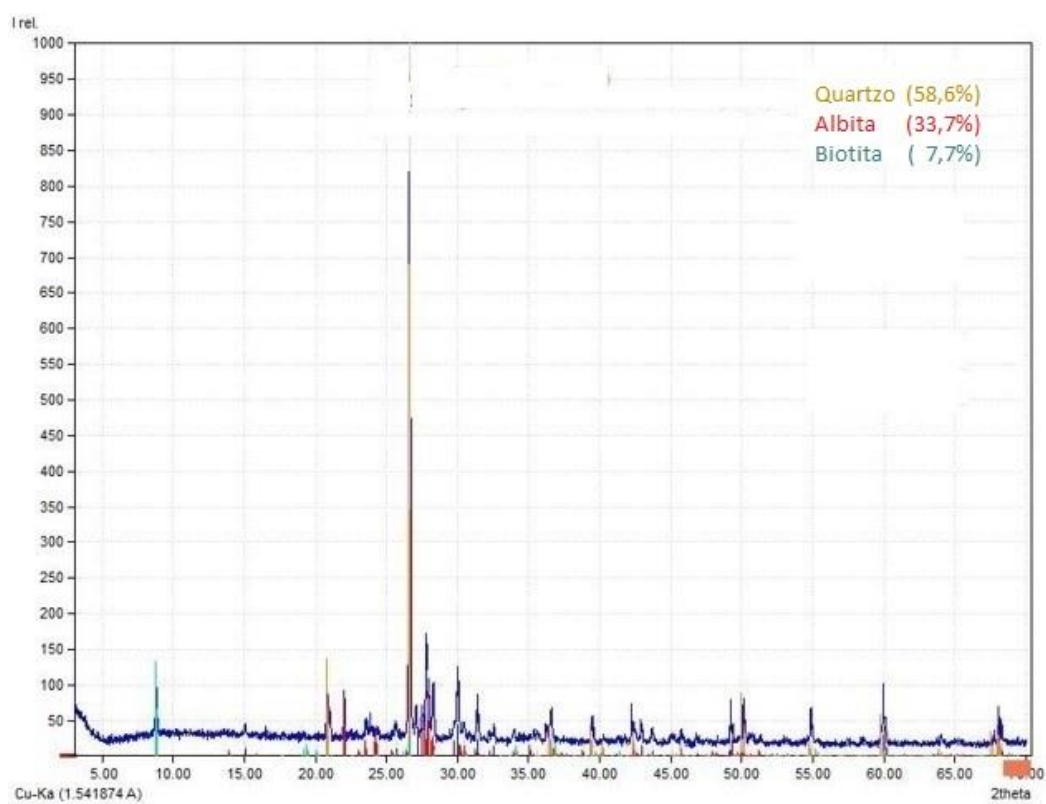


Figura 100 – Gráfico obtido no ensaio de difração de raios-X para o granito cinza andorinha.

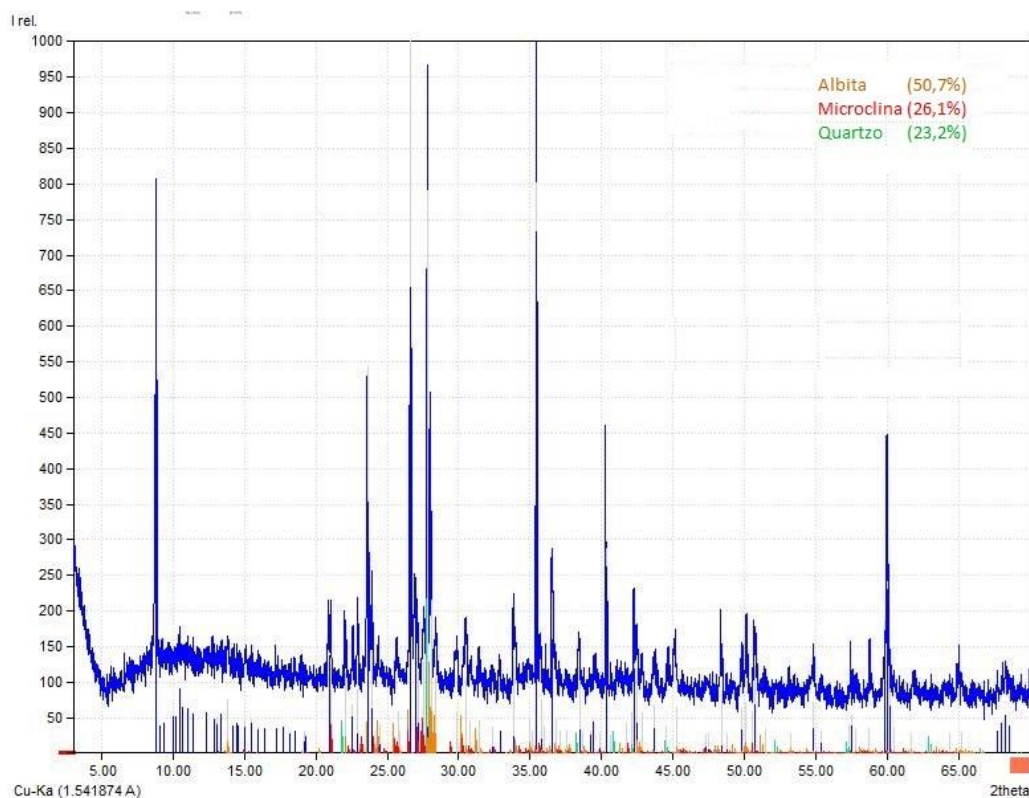


Figura 101 – Gráfico obtido no ensaio de difração de raios-X para o granito verde pavão.

Sardou Filho et al. (2013) discorrem sobre a mineralogia dos granitos amarelo, cinza andorinha e verde pavão. Os minerais encontrados e suas respectivas porcentagens são apresentadas nas Tabela 16, Tabela 17 e Tabela 18 comparados com os resultados do presente trabalho.

Tabela 16 – Porcentagem dos minerais constituintes no granito amarelo.

	Sardou Filho et al. (2013)	Resultados da presente pesquisa
Microclina	45%	31,3%
Quartzo	30%	68,7%
Plagioclásio	16%	-
Biotita	5%	-
Acessórios	4%	-

Tabela 17 – Porcentagem dos minerais constituintes no granito cinza andorinha.

	Sardou Filho et al. (2013)	Resultados da presente pesquisa
Microclina	30%	33,7%
Quartzo	20%	58,6%
Plagioclásio	30%	-
Biotita	16%	7,7%
Titanita	4%	-

Tabela 18 – Porcentagem dos minerais constituintes no granito verde pavão.

	Sardou Filho et al. (2013)	Resultados da presente pesquisa
Microclina	40-45%	26,1%
Quartzo	20%	23,2%
Plagioclásio (Albita)	30%	50,7%
Granada	5%	-
Acessórios	<5%	-

Segundo os resultados obtidos por Freitas (2008), os difratogramas das amostras de granito verde pavão e cinza andorinha detectaram picos de intensidade em planos representativos de minerais como quartzo, microclina e albita. Os resultados obtidos por Heidari et al. (2013) revelaram que granitos de diferentes colorações estudados pelos autores são compostos por quartzo (30%), feldspato alcalinos (30%), plagioclásio (20%), biotita (15%) e anfibólio (5%).

Pode-se observar que os resultados do presente trabalho, assim como de Sardou Filho et al. (2013), Freitas (2008) e Heidari et al. (2013), apresentaram um grupo comum de minerais representativos em relação aos três tipos de granito analisados. Entretanto, verifica-se que as porcentagens dos minerais apresentados neste trabalho e por Heidari et al. (2013) e Sardou Filho et al. (2013) são distintos. Estas diferenças percentuais entre os trabalhos supracitados devem-se, sobretudo, ao número de amostras ensaiadas, permitindo assim maior refinamento da análise, no caso de números maiores de ensaios realizados.

Vale salientar também, segundo Gobbo (2003), que o método de análises das amostras sob a forma de rocha moída, assim como as realizadas neste trabalho, tem o inconveniente de sobrepor as reflexões dos componentes, modificando as intensidades dos picos e dificultando a análise de amostras com número excessivo de compostos cristalinos.

4.2.1.3. Caracterização química e classificação quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde do homem

Os resultados das caracterizações químicas realizadas nos casqueiros de granitos triturados na forma de rocha moída, comparadas com os valores orientadores estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004) quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, encontram-se apresentados nos laudos laboratoriais do Anexo 5 deste trabalho.

Esses resultados classificaram os casqueiros dos granitos amarelo e cinza andorinha como da Classe II A - Não Perigoso e Não Inertes, ressaltando que somente o parâmetro Alumínio Total não foi atendido no Anexo G da citada norma. Para o casqueiro do granito verde pavão, a classificação resultou como da Classe II B – Não Perigoso e Inerte.

Braga et al. (2010) caracterizaram 06 amostras de casqueiros de rochas ornamentais de diferentes cores, descartados por indústrias de beneficiamento situadas no município de Cachoeiro de Itapemirim, sob forma de mistura de rocha moída e água deionizada, por meio da determinação do pH e da realização das análises químicas dos extratos lixiviados e solubilizados, segundo as recomendações das normas APH (2005) e NBR's 10004, 10005 e 10006 da ABNT (2004). Para o extrato lixiviado, foram determinados os parâmetros As, Ba, Cd, Pb, Cr, F-, Hg, Ag e Se, e no extrato solubilizado, os parâmetros Al, As, Ba, Cd, Pb, CN-, Cl-, Cu, Cr, fenóis, Fe, F-, Mn, Hg, NO3-, Ag, Se, Na, SO4-2, surfactantes e Zn. Os resultados foram comparados com os limites máximos permitidos da norma NBR 10004 da ABNT (2004) e obtida as classificações para cada tipo de casqueiros, conforme apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 – Caracterização e classificação dos casqueiros de mármore e granitos em função da cor da rocha pesquisado por Braga et al. (2010). Fonte: Braga et al. (2010).

Parâmetros	NBR 10004 (mg.L ⁻¹)	Mármore Branco (mg.L ⁻¹)	Granito Branco (mg.L ⁻¹)	Granito Cinza (mg.L ⁻¹)	Granito Amarelo (mg.L ⁻¹)	Granito Preto (mg.L ⁻¹)	Granito Verde (mg.L ⁻¹)
pH	2,0 <pH< 12,5	8,6	8,3	8,2	8,2	8,1	8,3
Corrosividade	Não corrosivo	Não corrosivo	Não corrosivo	Não corrosivo	Não corrosivo	Não corrosivo	Não corrosivo
Toxicidade	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II	Classe II
Parâmetros Solubilizados superiores aos LMP	LMP Anexo G NBR 10004 (mg.L ⁻¹)	Mármore Branco (mg.L ⁻¹)	Granito Branco (mg.L ⁻¹)	Granito Cinza (mg.L ⁻¹)	Granito Amarelo (mg.L ⁻¹)	Granito Preto (mg.L ⁻¹)	Granito Verde (mg.L ⁻¹)
Al	0,200	<0,060	<0,060	0,140	0,270	0,120	0,180
Fe	0,300	<0,100	<0,100	<0,100	0,120	0,360	0,540
Inerticidade	Classe IIB	Classe IIB	Classe IIB	Classe IIB	Classe IIA	Classe IIA	Classe IIA

Os resultados apresentados na Tabela 19 obtidos por Braga et al. (2010) demonstram que todas as amostras analisadas foram caracterizadas como resíduos não-corrosivos, posto que o pH resultou entre 8,1 e 8,6, e não-tóxicos, por apresentarem concentrações de As, Cr, Pb, Hg, Ag e Se abaixo do Limite Máximo Permitido, apresentando no extrato lixiviado traços de Cd, Ba e Fe em concentrações inferiores aos Limites Máximos Permitidos do Anexo F da norma NBR 10004 da ABNT (2004). Em relação ao extrato solubilizado, 50% das amostras pesquisadas resultaram em Classe II-A - Não Perigosos e Não Inertes para os parâmetros Al e Fe.

Braga et al. (2010) ressaltam que as amostras de rochas da cor clara, mármore branco, granito branco e granito cinza, foram classificadas com Classe II B - Inertes, enquanto as amostras dos granitos da cor amarela e das cores mais escuras, preto e verde, foram classificadas como resíduos Classe II A - Não Inertes, constatando a influência dos elementos componentes da rocha na definição das

classes das laminas do beneficiamento de rochas ornamentais, desmitificando a crença de que todas as laminas são classificadas como resíduos da Classe II B - Inertes.

No que se refere a influência dos elementos componentes da rocha no resultados da classificação dos resíduos de rochas ornamentais, os resultados do presente trabalho divergem das considerações de Braga et al. (2010), obtendo-se para o granito cinza a classificação como Classe II A – Não Inertes e para o granito verde pavão como Classe II B - Inerte, mas corroboram a afirmativa de desmistificar a crença de que todas as laminas do beneficiamento de rochas ornamentais sejam classificadas como resíduos da Classe II B - Inertes.

5. Apresentação e Discussão dos Resultados para os Resíduos Gerados na Etapa do Beneficiamento

Nesse capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos referentes à quantificação dos resíduos de rochas ornamentais do tipo granito (casqueiros e lama do beneficiamento) gerados na etapa do beneficiamento e às suas caracterizações físicas, químicas e mineralógicas e as propriedades de engenharia, condutividade hidráulica e resistência, e ainda as classificações quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem, perante a norma NBR 10004 da ABNT (2004), comparando-os com valores preconizados nas normativas técnicas pertinentes relacionadas aos diferentes usos propostos para esses resíduos.

Serão ainda apresentados os valores da condutividade hidráulica e as caracterizações mineralógica, química e classificação quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem, perante a norma NBR 10004 da ABNT (2004) do solo utilizado para a implantação da barreira mineral de fundo da célula do aterro de rejeitos de rochas ornamentais, na qual foram coletadas as amostras da lama do beneficiamento pesquisada.

5.1. Quantificação dos resíduos gerados na etapa do beneficiamento de granitos

Por meio de visitas técnicas, realizadas em indústrias de beneficiamento de mármore e granitos ao longo do estado do Espírito Santo, foram obtidas as informações técnicas e operacionais desse setor produtivo de rochas ornamentais, que serviram de base para o desenvolvimento dessa etapa do presente trabalho.

5.1.1. Beneficiamento primário dos blocos dimensionados de granitos

Em relação aos resíduos da etapa do beneficiamento primário dos blocos de granitos, que corresponde ao desdobramento dos blocos dimensionados, utilizando-se as Equações 1, 2, 3 e 4, podem-se obter os percentuais de geração.

Para a regularização das bordas laterais dos blocos, quando são gerados os casqueiros de granitos, há uma perda de 6,67% relativo ao volume do bloco dimensionado, obtida utilizando-se a Equação 1.

Em relação ao desdobramento dos blocos, quando há a geração de resíduos na forma de rocha moída, obtém-se com as Equações 2, 3 e 4 a perda de mais 31,67% do volume inicial do bloco, que farão parte do volume gerado da lama do beneficiamento gerada, ressaltando que, para o cálculo do volume total dessa lama, deverá ainda ser acrescido o seu teor de umidade final, resultante do processo de tratamento de efluentes industriais e de desaguamento aos quais será submetida.

Dessa forma, a matéria-prima resultante a ser submetida à etapa seguinte, referente ao polimento das chapas desdobradas, é de 61,67% do bloco de granito inicialmente submetido à etapa de beneficiamento primário, resultando em uma perda de 38,33% de matéria-prima.

De acordo com Moura et al. (2002), o volume de resíduos gerados pelo beneficiamento de rochas ornamentais, incluindo mármore e granitos, é bastante significativo (i.e., cerca de 25% a 30% do bloco é transformado em resíduos na forma de pó de rocha).

Reis e Alvarez (2007), pesquisando sobre a geração de rejeitos na etapa do desdobramento dos blocos de rochas ornamentais em três indústrias de beneficiamento, sendo que a empresa 1 utilizava teares de multifios diamantados e as empresas 2 e 3 utilizavam teares convencionais multilâminas, verificaram a geração de 30%, 33% e 33%, respectivamente, resultados esses similares àqueles encontrados neste trabalho.

5.1.2. Beneficiamento final das chapas desdobradas dos blocos de granitos

O beneficiamento final das chapas desdobradas dos blocos de granitos corresponde às etapas do polimento e de regularização, com os cortes laterais das bordas irregulares dessas chapas, realizadas nas indústrias de beneficiamento, para então serem encaminhadas à comercialização.

Aplicando os dados da Tabela 5 e a espessura das chapas perdida na forma de rocha moída, quando submetidas ao polimento, de 0,0007 m, de acordo com Buzzi et al. (2010), na Equação 5, obtém-se uma perda de 2,22% do volume do bloco de granito inicialmente submetido ao beneficiamento primário (desdobramento). Portanto, acrescentando a perda no beneficiamento primário de 61,67%, restarão 59,44% da matéria-prima do bloco inicial de granito, sendo direcionados à etapa seguinte de regularização com os cortes laterais das bordas irregulares das chapas polidas.

Ainda como parte dessa etapa do beneficiamento final das chapas desdobradas, utilizando-se a Equação 6, verifica-se que 1,72% do bloco inicial de granito é transformado em resíduos na forma de casqueiros dos cortes das laterais irregulares das bordas das chapas polidas.

Assim, ao final da etapa do beneficiamento dos blocos dimensionados de granitos explotados das pedreiras, compreendendo as etapas do beneficiamento primário (desdobramento) e final (polimento e corte das laterais irregulares das chapas polidas), somente 57,72% do volume inicial desses blocos resulta como granito beneficiado efetivamente disponibilizado para a comercialização.

De acordo com os resultados dos cálculos do Capítulo 4 e dos itens 5.1.1 e 5.1.2. acima, o fluxograma da Figura 102 apresenta, de forma separada para as duas diferentes etapas de produção (explotação e beneficiamento), os percentuais dos volumes obtidos no aproveitamento da matéria-prima e da geração dos rejeitos. Para a etapa da explotação, considerou-se o volume total da rocha explotada da jazida como 100%, para a realização dos cálculos dos valores nessa etapa, e, para a etapa do beneficiamento, considerou-se o volume da matéria-prima dos blocos dimensionados como 100%, para a realização dos cálculos dos valores nessa etapa.

Conforme citado no Capítulo 4, a taxa de aproveitamento das jazidas na etapa da explotação dos blocos dimensionados nas três empresas pesquisadas, de acordo com o fluxograma da Figura 102, variou de 11,09% a 32,86% e a geração dos casqueiros de rochas, considerados rejeitos por essas empresas, variou de 88,91% a 67,14%.

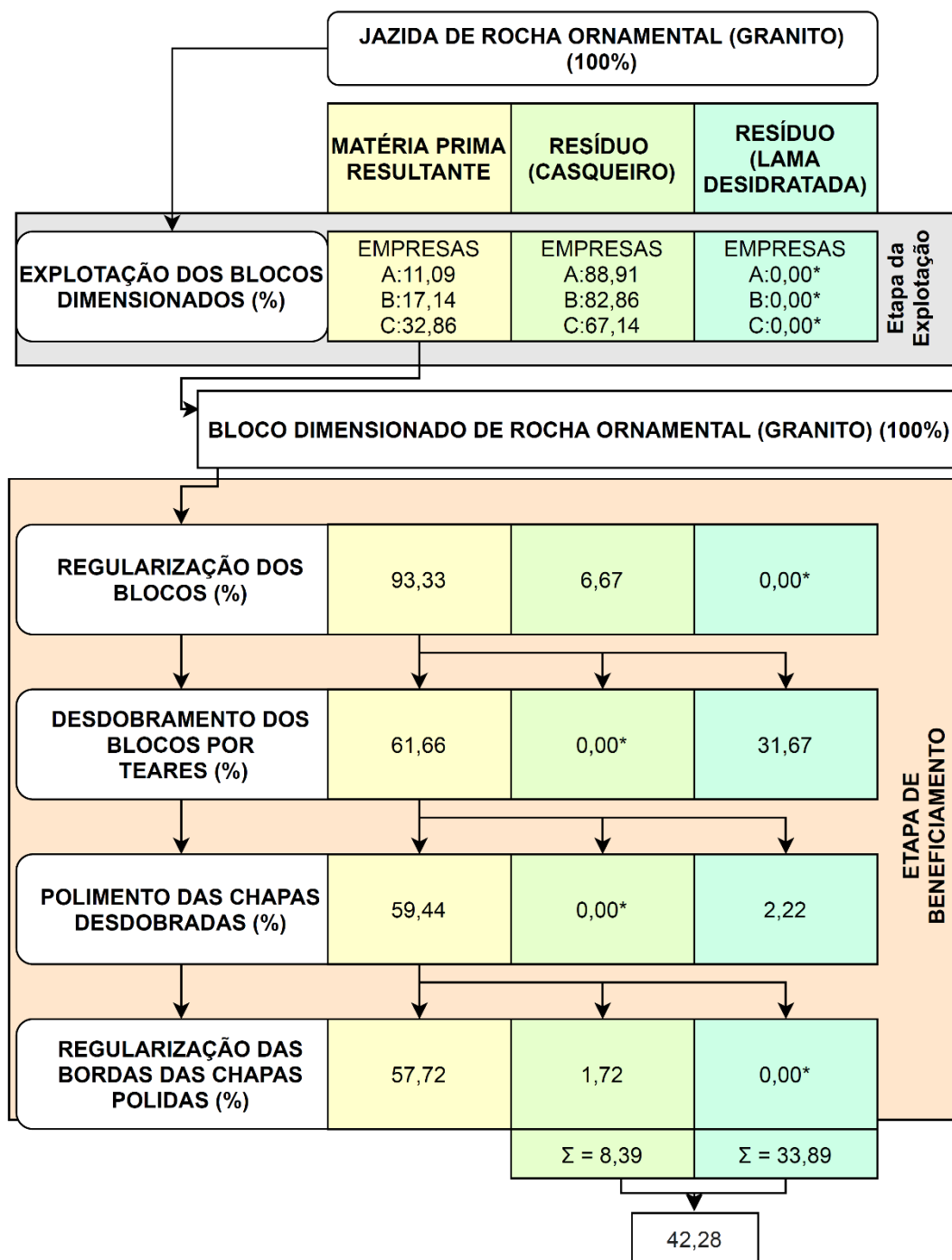


Figura 102 – Fluxograma dos percentuais de aproveitamento da matéria-prima e da geração de resíduos, separados nas duas diferentes etapas do processo produtivo de granito.

Em relação ao beneficiamento, considerando o volume inicial de 100% dos blocos dimensionados de granito direcionados para essa etapa, à taxa de aproveitamento dessa matéria-prima resulta em 57,72% desse valor, correspondendo ao volume de granito beneficiado efetivamente disponibilizado para a comercialização. Ainda, observa-se com o Fluxograma da Figura 102 que, na etapa do beneficiamento dos blocos dimensionados de granitos, são gerados 42,28% de resíduos em relação ao volume de matéria-prima beneficiada, correspondendo a 8,39% na forma de casqueiros de granitos e 33,89% na forma de rocha moída, que farão parte da lama do beneficiamento descartada.

O fluxograma da Figura 103 apresenta os percentuais acumulados de aproveitamento da matéria-prima existente inicialmente na jazida, ao longo das duas diferentes etapas de produção de granito (exploração e beneficiamento), assim como os valores encontrados para os percentuais dos dois tipos de resíduos gerados (casqueiros de granitos e lama do beneficiamento).

Com o fluxograma da Figura 103, pode-se observar que somente cerca de 6,45 a 27,13% do volume total explotado da matéria-prima existente inicialmente na jazida de granito são efetivamente disponibilizados como produto final para a comercialização e que são gerados cumulativamente, da jazida até a obtenção do produto final, de 89,84% a 56,95% dos resíduos casqueiros de granitos e de 3,76% a 15,93% dos resíduos lama do beneficiamento, totalizando de 93,60% a 72,87% de resíduos gerados em relação à matéria-prima inicialmente explotada na jazida.

Observa-se ainda no fluxograma da Figura 103, elaborado com os dados das empresas pesquisadas, que a geração de casqueiros de granitos possui os maiores valores na etapa da exploração, variando de 88,91% a 67,14% do valor da matéria-prima existente inicialmente na jazida de granito, seguidos pelo desdobramento dos blocos dimensionados, de 0,75% a 3,13%, e pela regularização das bordas das chapas polidas, de 0,19% a 0,81%. Em relação à geração dos resíduos referentes à rocha moída presente na lama do beneficiamento descartada, verifica-se que resulta no valor total compreendido entre 3,76% e 15,93% da matéria-prima existente inicialmente na jazida de granito, sendo os percentuais maiores gerados no desdobramento dos blocos, de 3,51% e 14,88%, seguidos pelo polimento das chapas desdobradas, de 0,25% a 1,04%.

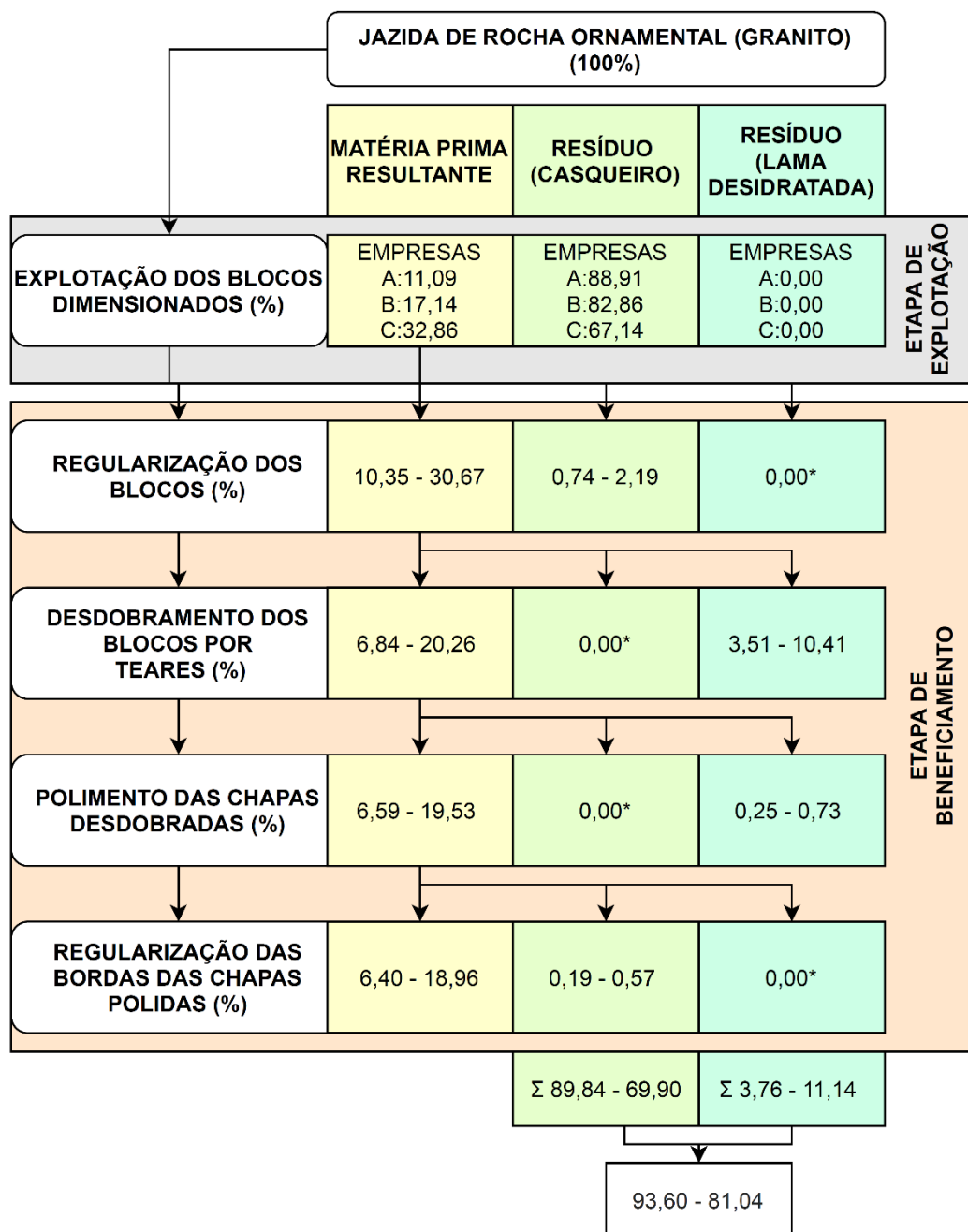


Figura 103 – Fluxograma dos percentuais acumulados a partir da jazida de granito de aproveitamento da matéria-prima e da geração de resíduos, ao longo das duas diferentes etapas do processo produtivo.

Importante ressaltar que no caso das exportações brasileiras, 77,5% correspondem à participação das rochas já processadas no faturamento e o restante, 22,5% correspondem às rochas não processadas (ABIROCHAS, 2019), apresentando ainda uma tendência de mercado natural, na qual os importadores buscam diminuir seus custos de logística, transportando menor quantidade em peso, e também evitar os passivos ambientais decorrentes dos resíduos gerados nas etapas do beneficiamento das rochas, que permanecerão assim nos países exportadores das chapas já polidas.

Ressalta-se que em relação aos volumes de resíduos de granitos (casqueiros) gerados na etapa de produção de peças, utilizando as chapas polidas, realizada por empresas que comercializam diretamente com o consumidor final, as quais cortam essas chapas dimensionando-as em peças de acordo com a aplicação final, tais como, pisos, pias, soleiras, bancadas, jazigos, revestimentos de fachadas, obras de arte e outros, suas quantificações não foram objeto das pesquisas realizadas neste trabalho.

5.2. Caracterização dos resíduos de granitos - Resultados de Laboratório

5.2.1. Casqueiros de granitos da etapa do beneficiamento

Para esse subitem, tendo em vista que os casqueiros gerados na etapa do beneficiamento dos granitos são as mesmas rochas daqueles gerados na etapa da exploração dos blocos dimensionados, os resultados encontrados no Capítulo 4 são válidos para os casqueiros gerados na etapa do beneficiamento.

5.2.2. Lama do beneficiamento de granitos para uso como barreira mineral de aterros industriais e sanitários

Os seguintes ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LAMES) da Universidade Federal do Espírito Santo/UFES, com objetivo de se verificar a viabilidade do uso da lama desaguada gerada no processo de beneficiamento de granitos como barreira mineral, impermeabilizando camadas de fundo e superiores de aterros de rejeitos industriais e sanitários, utilizando-se a

metodologia tradicional proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), complementada por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993).

O resíduo estudado se refere a uma única amostra composta de lama desaguada do beneficiamento de granitos, coletada em aterro industrial licenciado especificamente para a disposição final de rejeitos de rochas ornamentais, e é proveniente da etapa de desdobramento de blocos por meio de teares multifios diamantados.

5.2.2.1. Caracterização física: Análise Granulométrica, Limites de Consistência e Massa Específica Real

A Figura 104 apresenta a curva da distribuição granulométrica da amostra da lama do beneficiamento de granitos coletada e a Tabela 20 os percentuais obtidos, segundo os procedimentos preconizados na norma NBR 7181 da ABNT (1984).

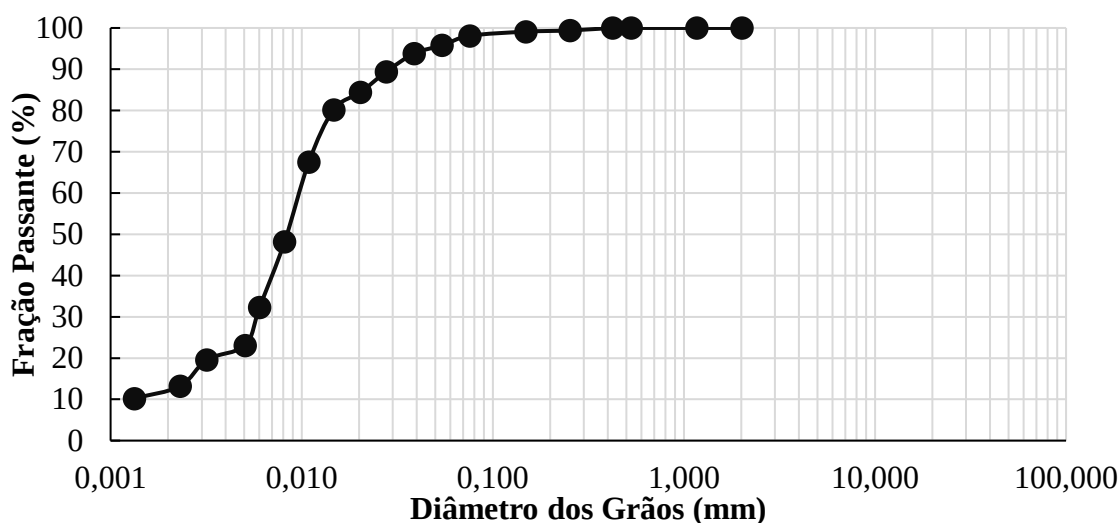


Figura 104 – Curva granulométrica da amostra de lama do beneficiamento de granitos pesquisada.

Pode-se observar da análise granulométrica da lama do beneficiamento de granitos pesquisada que a fração fina é a de maior percentual, com cerca de 83% de silte e 13% de argila. Estes valores encontrados estão de acordo com aqueles citados por Benson e Daniel (1994), para que a condutividade hidráulica seja suficientemente baixa para o uso do material como barreira mineral.

Tabela 20 – Percentuais obtidos na distribuição granulométrica da lama do beneficiamento de granitos pesquisada.

	Lama do Beneficiamento
Argila ($d \leq 0,002$ mm)	13,0%
Silte ($0,002 < d \leq 0,060$ mm)	83,0%
Areia Fina ($0,060 < d \leq 0,200$ mm)	3,3%
Areia Média ($0,200 < d \leq 0,600$ mm)	0,7%
Areia Grossa ($0,600 < d \leq 2,000$ mm)	0,1%
Pedregulho Fino ($2,000 < d \leq 6,000$ mm)	0,0%
Pedregulho Médio ($6,000 < d \leq 20,000$ mm)	0,0%
Pedregulho Grosso ($20,000 < d \leq 60,000$ mm)	0,0%
Limite de Liquidez (LL)	Não Líquido
Limite de Plasticidade (LP)	Não Plástico
Índice de Plasticidade (IP)	-
Massa Específica Real (Mg/m^3)	2,64
Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)	ML

Em relação aos ensaios para a obtenção dos limites de consistência da lama do beneficiamento de granitos pesquisada, proveniente do desdobramento de blocos por meio de teares de fios diamantados, realizados de acordo com as normas NBR 6459 e NBR 7180 da ABNT (2016), não foi possível se obter os limites de plasticidade e de liquidez da amostra, constatando-se que o material é não plástico, sendo os mesmos resultados encontrados por Dino et al. (2103) nos três diferentes

tipos de lamas do beneficiamento de rochas ornamentais pesquisadas (lama de teares multifios diamantados, de teares multilâminas convencionais e uma mistura dessas duas lamas), caracterizadas como fração de areia e não plásticos.

Baseado no Sistema Unificado de Classificação de Solos (ASTM D2487, 2017), a amostra da lama do beneficiamento pesquisada foi classificada como ML, silte arenoso inorgânico e de baixa plasticidade, também de acordo com os resultados encontrados por Dino et al. (2013), para os três diferentes tipos de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais pesquisadas.

De acordo com os resultados da presente pesquisa e naqueles obtidos por Dino et al. (2013), vale ressaltar que, em relação ao uso de polímeros orgânicos aniônicos e não aniônicos no processo de tratamento dos efluentes líquidos industriais gerados no desdobramento dos blocos, cujas concentrações das suas soluções em água são de cerca 0,1% (Tasaico, 2007), não influenciaram na plasticidade das lamas pesquisadas, resultando em materiais não plásticos, provavelmente devido às baixas concentrações utilizadas.

5.2.2.2. Parâmetros de engenharia: condutividade hidráulica e resistência ao cisalhamento direto

Os ensaios de compactação realizados em corpos de prova da amostra de lama do beneficiamento de granitos coletada fazem parte dos estudos referentes à metodologia utilizada, proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989) e complementada por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993), para verificação da viabilidade do uso desse material como barreira mineral, impermeabilizando camadas de fundo e superiores de aterros de rejeitos industriais e sanitários.

Os resultados encontrados indicaram as umidades ótimas para cada uma das curvas de compactação realizadas com diferentes energias e auxiliaram na obtenção da primeira zona admissível para a utilização do material como barreira mineral, definida com base nas energias de compactação, umidade e condutividade hidráulica.

O gráfico da Figura 105 apresenta os resultados dos ensaios de compactação dos 15 corpos de prova ensaiados da amostra de lama do beneficiamento de granitos pesquisada, sendo 5 para cada energia, Proctor Normal, Intermediário e Modificado, de acordo com a norma NBR 7182 da ABNT (1986), e ainda a curva de saturação de 100,0%.

Os resultados encontrados por Dino et al. (2013) para os ensaios de compactação com energia Proctor Modificado indicaram umidade ótima de 15% para a lama de beneficiamento de teares multifios diamantados e 14% para a lama de teares multilâminas convencionais e, para uma mistura dessas lamas, valores esses abaixo daqueles encontrados neste trabalho (mínimo de 23,5%).

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de compactação, foram moldados novos 15 (quinze) corpos de prova da lama de beneficiamento de granitos pesquisada para a realização dos ensaios de condutividade hidráulica, necessários à identificação da primeira zona admissível, para a utilização do material como barreira mineral de aterros industriais e sanitários.

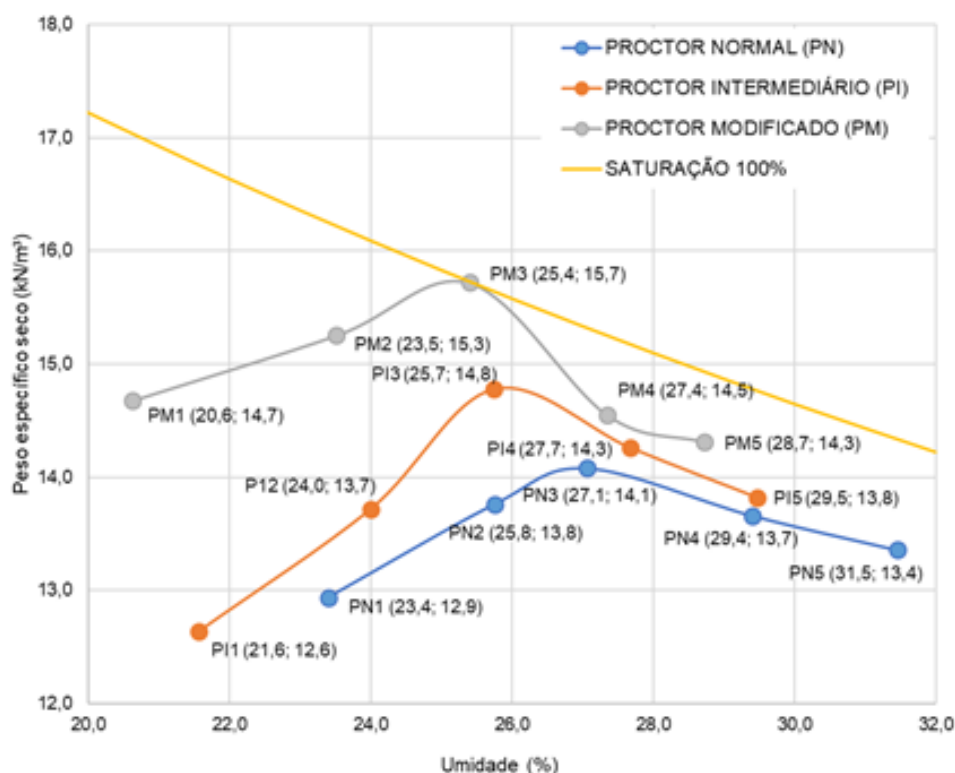


Figura 105 – Curvas de compactação dos corpos de prova da amostra da lama do beneficiamento de granitos nas energias Proctor Normal, Intermediário e Modificado.

A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de condutividade hidráulica, realizados de acordo com a norma D 5084 da ASTM (2016), nos 15 corpos de prova da amostra de lama do beneficiamento de granito pesquisada, moldados a partir dos resultados obtidos nos ensaios de compactação, sendo 5 para cada energia, Proctor Normal, Intermediário e Modificado.

Tabela 21 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica para os 15 corpos de prova da lama de beneficiamento de granitos, moldados a partir dos resultados dos ensaios de compactação.

Energia de Compactação	Amostras	Teor de Umidade (%)	Condutividade Hidráulica (m/s)
Proctor Normal	PN1	23,4	1E-07
	PN2	26,2	6E-08
	PN3	27,1	3E-08
	PN4	29,4	3E-08
	PN5	31,5	2E-08
Proctor Intermediário	PI1	21,6	3-E08
	PI2	23,5	6E-08
	PI3	25,8	5E-08
	PI4	27,7	2E-08
	PI5	29,5	3E-08
Proctor Modificado	PM1	18,6	3E-08
	PM2	20,5	3E-08
	PM3	22,4	4E-08
	PM4	24,4	9E-09
	PM5	25,7	2E-08

Notas: PN – Energia Proctor Normal;

PI – Energia Proctor Intermediário;

PM – Energia Proctor Modificado.

Na Figura 106, estão plotados os resultados obtidos para as condutividades hidráulicas em função de seus respectivos teores de umidade, com detalhe para o valor mínimo de 1×10^{-8} m/s, adotado neste trabalho por ser inferior àquele especificado na norma NBR 13.896 da ABNT (1997) para a camada de fundo de aterros de rejeitos da Classe II, cujo valor é de 5×10^{-7} m/s.

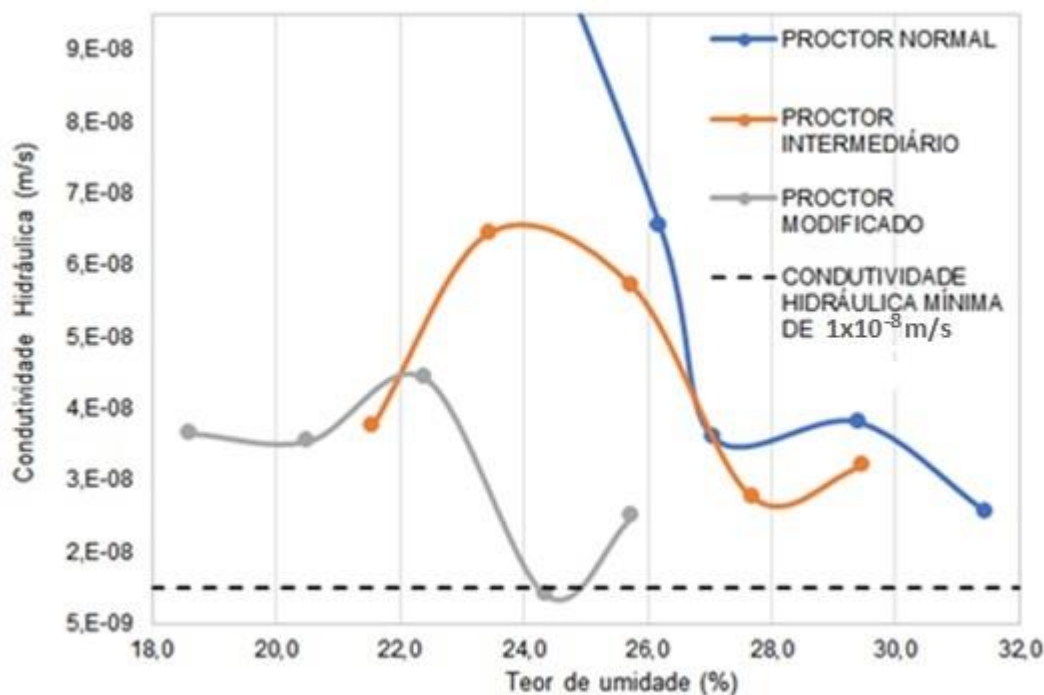


Figura 106 – Resultados dos ensaios de condutividade hidráulica dos corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.

Foi possível observar que apenas o corpo de prova PM4 atendeu ao requisito para o uso do material como barreira mineral, em relação ao valor mínimo adotado para condutividade hidráulica.

Observa-se ainda que a redução da condutividade hidráulica ocorreu no ramo úmido de todas as energias de compactação utilizadas na lama de beneficiamento de granitos pesquisada, em conformidade com a influência do aumento do teor de umidade na condutividade hidráulica citada por Lambe (1958) e Mitchell et al. (1965), o qual auxilia na diminuição do índice de vazios de um solo, devido à mudança da estrutura do material de floculada para dispersa, dificultando assim a percolação do fluido pelo material e reduzindo a condutividade hidráulica.

Os resultados obtidos para os corpos de prova da amostra da lama do beneficiamento pesquisada, compactados com a energia Proctor Modificado, são similares àqueles obtidos por Dino et al. (2013).

Em ensaios realizados para a determinação da condutividade hidráulica pelo método da carga hidráulica variável em amostras compactadas com essa mesma energia de compactação, Proctor modificado, resultaram valores de $2,9 \times 10^{-8}$ m/s, para lamas de teares multifios diamantados, $2,3 \times 10^{-8}$ m/s, para lamas de teares multilâminas convencionais, e $9,2 \times 10^{-9}$ m/s para uma mistura dessas duas lamas.

Em relação ao acréscimo de pequenas quantidades de bentonita nas lamas de beneficiamento estudadas por Dino et al. (2013), os resultados indicaram que a condutividade hidráulica diminuiu até duas ordens de grandeza. Em relação à umidade ótima com a energia de compactação Proctor Modificado, os resultados indicaram um aumento de cerca de 3% para cada uma das lamas estudadas.

Em relação aos ensaios de compressão simples nos corpos de prova da lama do beneficiamento de granitos, necessários à identificação da zona admissível final ou modificada, conforme a metodologia proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), complementada por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993), foram realizados em novos 15 (quinze) corpos de prova, moldados a partir dos resultados dos ensaios de compactação para as diferentes energias citadas.

Na Tabela 22 são apresentados os resultados das resistências à compressão simples, obtidos de acordo com a norma NBR 12770 da ABNT (1992), dos 15 corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.

Na Figura 107 estão plotados os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão simples, de acordo com a norma NBR 12770 da ABNT (1992), para os corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade, com detalhe para o valor mínimo adotado neste trabalho de 200 KPa, conforme recomendado por Daniel e Wu (1993).

Pode-se observar que os corpos de prova PN3, PN4, PN5, PI4 e PI5 não obtiveram a resistência à compressão simples mínima, considerada de 200 KPa. Constata-se, através dos resultados, que a resistência a compressão simples é diretamente proporcional à energia de compactação e inversamente proporcional ao teor de umidade.

Tabela 22 – Resultados das resistências à compressão simples dos 15 corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.

Energias de Compactação	Amostras	Teor de Umidade (%)	Resistência à Compressão (KPa)
Proctor Normal	PN1	24,0	230,4
	PN2	25,4	235,5
	PN3	26,9	191,0
	PN4	29,2	149,2
	PN5	31,1	89,6
Proctor Intermediário	PI1	21,6	355,2
	PI2	23,7	324,0
	PI3	25,5	231,7
	PI4	27,5	133,8
	PI5	29,5	101,3
Proctor Modificado	PM1	18,1	554,3
	PM2	20,7	507,0
	PM3	22,4	570,1
	PM4	24,6	276,2
	PM5	25,5	220,4

Notas: PN – Energia Proctor Normal;

PI – Energia Proctor Intermediário;

PM – Energia Proctor Modificado.

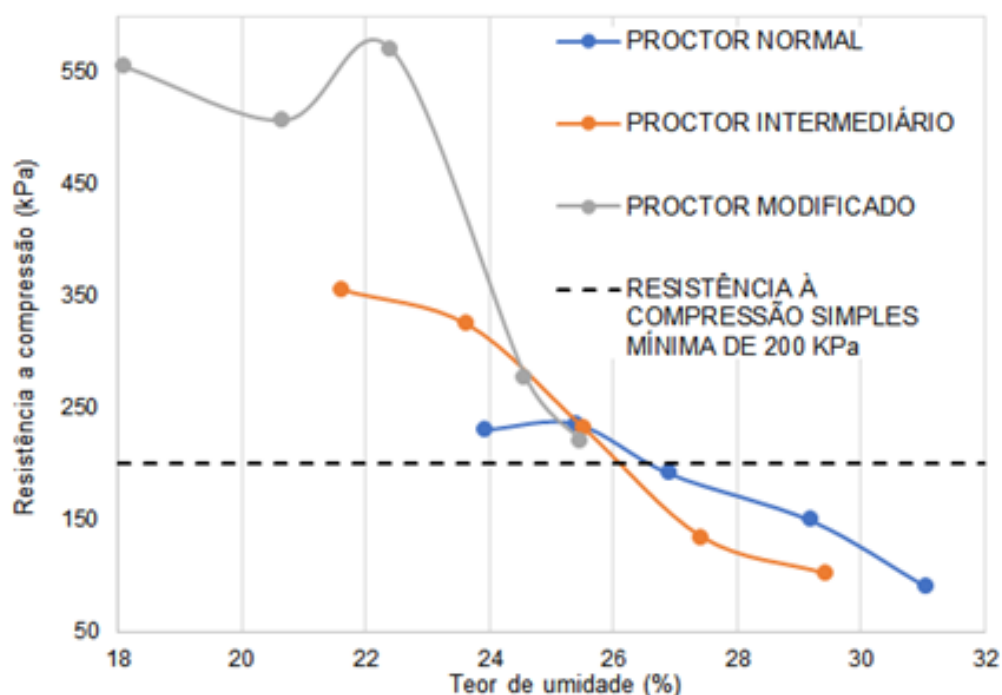


Figura 107 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples dos corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.

5.2.2.3. Ensaios de contração volumétrica

Os ensaios de contração volumétrica são necessários à identificação da zona admissível final ou modificada, para a verificação da viabilidade do uso da lama do beneficiamento de granito como barreira mineral em aterros industriais e sanitário, segundo a metodologia proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), complementada por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993). Para realizá-los, foram moldados novos 15 (quinze) corpos de prova a partir dos resultados dos ensaios de compactação para as diferentes energias citadas

Os resultados obtidos nos ensaios de contração volumétrica realizados nos corpos de prova moldados para a lama do beneficiamento de granitos pesquisada por meio da metodologia adotada por Macambira (2005) e Piedade (2002) estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23 – Resultados dos ensaios de contração volumétrica dos 15 corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.

Energias de Compactação	Amostras	Teor de Umidade (%)	Contração Volumétrica (%)
Proctor Normal	PN1	23,4	0,7
	PN2	25,8	0,4
	PN3	27,1	0,7
	PN4	29,4	0,8
	PN5	31,5	1,5
Proctor Intermediário	PI1	21,6	0,3
	PI2	23,5	0,3
	PI3	25,7	0,6
	PI4	27,7	0,4
	PI5	29,5	1,8
Proctor Modificado	PM1	20,6	0,2
	PM2	23,5	0,3
	PM3	25,4	0,4
	PM4	27,4	0,4
	PM5	28,7	1,3

Notas: PN – Energia Proctor Normal;

PI – Energia Proctor Intermediário;

PM – Energia Proctor Modificado.

Na Figura 108, encontram-se plotados os resultados dos ensaios de contração volumétrica, obtidos por meio da metodologia adotada por Macambira (2005) e Piedade (2002), com detalhe para o valor mínimo adotado neste trabalho de 4%, conforme recomendado por Daniel e Wu (1993).

Pode-se observar que todas as amostras ensaiadas resultaram em contrações volumétricas abaixo de 4%, valor máximo limite adotado por Daniel e Wu (1993) de modo que as trincas não ultrapassem os 10 mm de largura e os 30 mm de profundidade, demonstrando, portanto, ser a lama de beneficiamento de granitos um material com características físicas apropriadas para o uso como barreiras minerais.

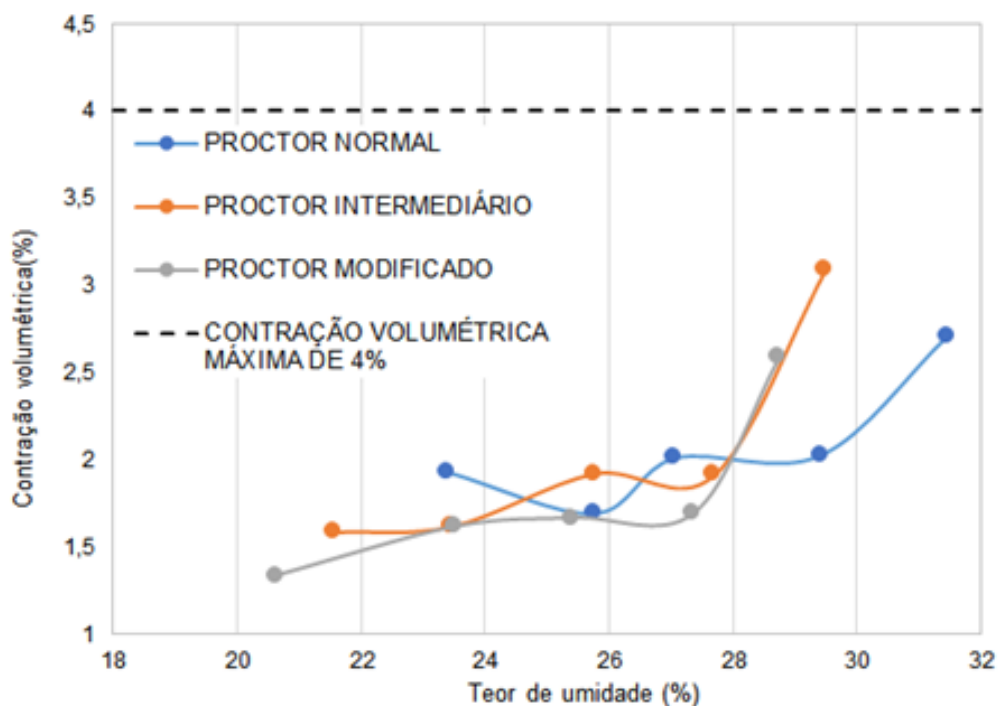


Figura 108 – Resultados dos ensaios de contração volumétrica dos corpos de prova compactados nas três energias em função dos teores de umidade.

Todavia, vale ressaltar que o ensaio utilizado por Daniel e Wu (1993) de acordo com a norma D 427 da ASTM (2004), que defendem este valor limite, não é o mesmo realizado neste trabalho, pois seria necessário o uso de mercúrio, considerado uma substância perigosa quanto à sua destinação final como resíduo.

5.2.2.4. Caracterização mineralógica

Com objetivo de se conhecer a caracterização mineralógica da amostra da lama do beneficiamento de granitos coletada, gerada exclusivamente pelo desdobramento de blocos por meio de teares multifios diamantados, foi realizado Laboratório de Raios-X do Departamento de Engenharia Química e de Materiais (DEQM) da PUC/Rio o ensaio de difração de raios-X, sendo o resíduo seco e homogeneizado na forma de pó de rocha moída.

A Figura 109 apresenta os minerais e seus respectivos percentuais encontrados no ensaio de difração de raios-X para a amostra da lama do beneficiamento de granitos pesquisada, na qual se observa as presenças de quartzo com 55,3% e albita com 44,7%.

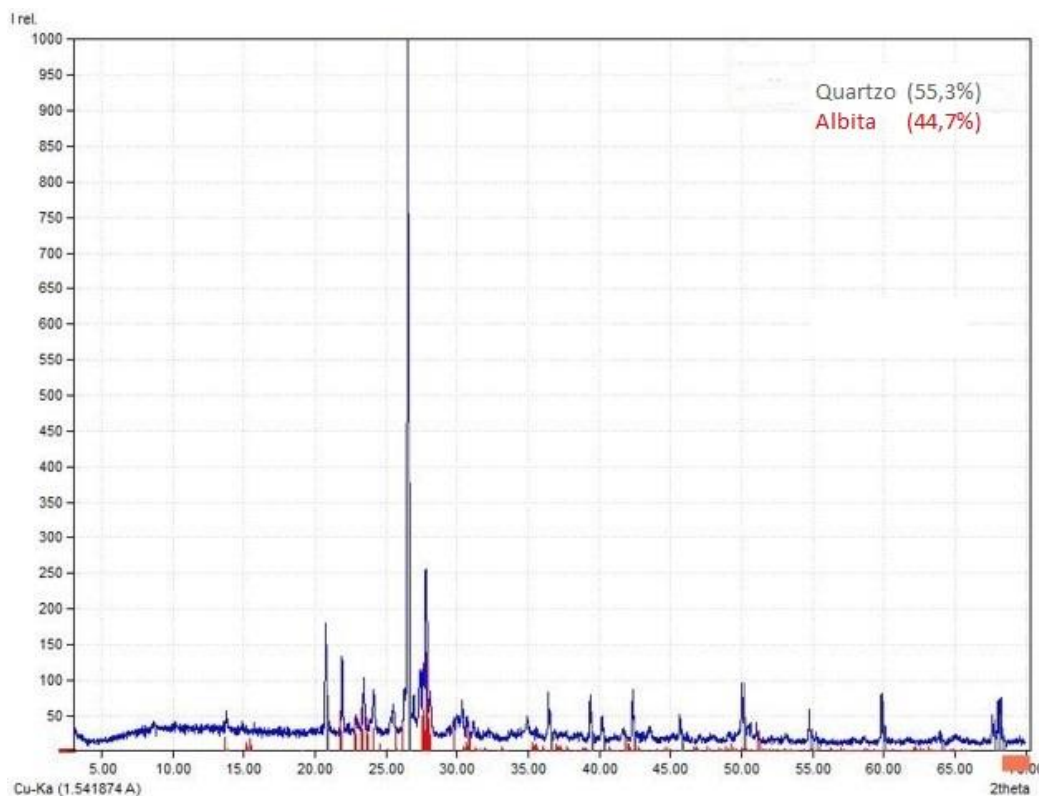


Figura 109 – Difratoograma obtido para a amostra da lama do beneficiamento de granito pesquisada para uso como barreira mineral.

Resultados de ensaios de difração de raios-X para amostras de lama do beneficiamento de rochas ornamentais foram obtidos por Moraes et al. (2018), Oliveira (2016) e Taguchi (2012), são apresentados na Tabela 24, ressaltando-se que não foram descritos pelos pesquisadores na forma de percentuais.

A partir dos resultados obtidos por Moraes et al. (2018), Oliveira (2016) e Taguchi (2012), pode-se inferir que, devido às amostras das lamas de rochas ornamentais pesquisadas serem provenientes do beneficiamento de distintas rochas graníticas, os minerais presentes nestas amostras também serão distintos. Todavia, corroborando com a literatura pertinente, todos os minerais apresentados nos difratogramas dessas amostras são de grupos típicos constituintes de rochas ígneas (quartzo, feldspato e mica).

Tabela 24 – Porcentagem dos minerais constituintes no granito amarelo.

	Moraes (2018)	Oliveira (2016)	Taguchi (2012)
Quartzo	x	x	x
Microclina	x	x	x
Anortita	x	x	
Albita		x	x
Biotita		x	x
Ferrosilita		x	
Labradorita	x		
Andesina	x		
Muscovita	x		
Zeolita	x		

Comparando-se com os resultados obtidos nos ensaios de difração de raios-X realizados para as amostras dos três tipos de casqueiros de granitos ensaiadas neste trabalho, verifica-se que dentre os minerais encontrados nos três tipos de granitos, quartzo, microclina e albita, o quartzo e a microclina foram encontrados nos três tipos de granitos com diferentes percentuais, sendo a albita encontrada somente no granito verde pavão. Na lama do beneficiamento de granitos, foram encontrados somente o quartzo e a albita.

5.2.2.5. Determinação da Zona Admissível Final ou Modificada para o uso da lama do beneficiamento de granitos como barreira mineral

A zona admissível final ou modificada será aquela resultante da interseção das duas zonas admissíveis obtidas com os resultados dos ensaios de condutividade hidráulica, compressão simples e contração volumétrica em função dos resultados dos ensaios de compactação, conforme a complementação proposta por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993) à metodologia inicial proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989).

A zona admissível resultante da metodologia proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), para verificação da viabilidade do uso de um material como barreira mineral, impermeabilizando camadas de fundo e superiores de aterros de rejeitos industriais e sanitários, foi obtida considerando-se o limite mínimo adotado para o valor da condutividade hidráulica de 1×10^{-8} m/s, valor esse abaixo daquele preconizado pela norma NBR 13.896 da ABNT (1997) de 5×10^{-7} m/s.

Com auxílio da Figura 110, referente às curvas dos ensaios de compactação realizados com a lama de beneficiamento de granitos pesquisada para as diferentes energias, Proctor Normal, Intermediário e Modificado, de acordo com a norma NBR 7182 da ABNT (1986), considerando-se o limite mínimo adotado para o valor da condutividade hidráulica de 1×10^{-8} m/s, obteve-se a primeira zona admissível, correspondente ao polígono de cor vermelha na figura, na qual a umidade ótima varia de 24,4 a 25,0% e o peso específico seco de 15,3 a 16,0 kN/m³.

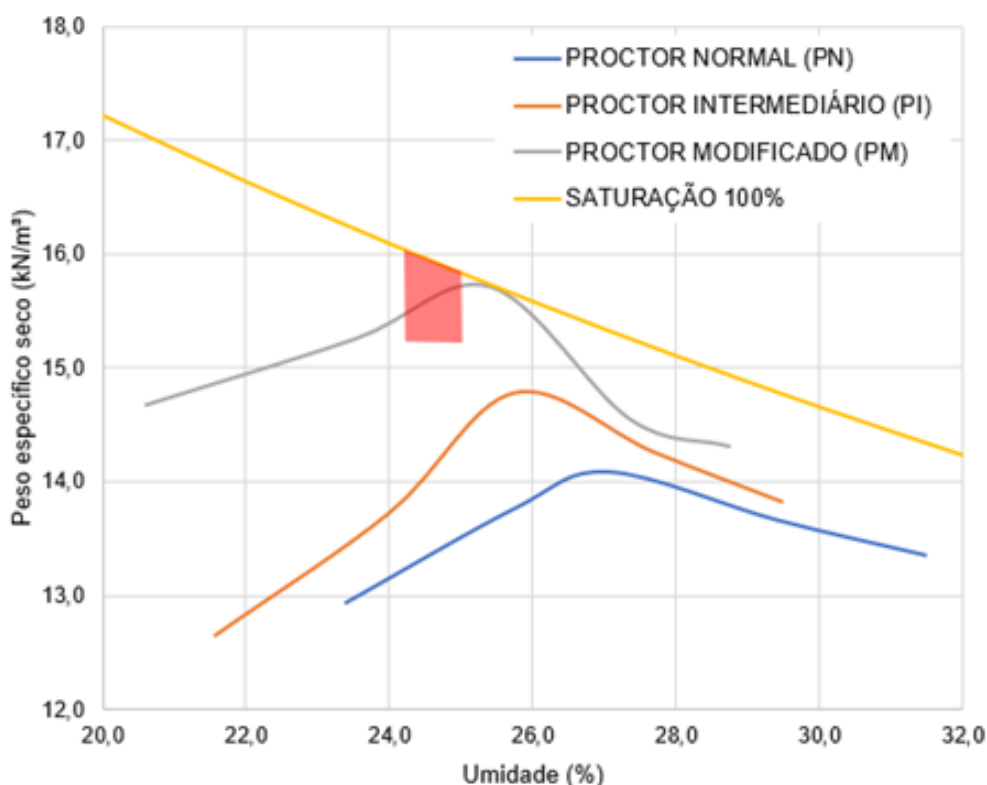


Figura 110 – Curvas de compactação com destaque para a primeira zona admissível (polígono na cor vermelha), para o limite mínimo adotado para a condutividade hidráulica.

Em relação à segunda zona admissível, referente à complementação proposta por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993) à metodologia inicial proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989), esta foi obtida considerando-se o valor mínimo admissível de 200 KPa para a resistência à compressão simples e, para a contração volumétrica, o valor máximo admissível de 4%, conforme recomendados por Daniel e Wu (1993).

A segunda zona admissível é apresentada na Figura 111, a qual resultou no valor mínimo para a umidade ótima de 20% e no valor máximo de 26,50% e, para o peso específico, o valor mínimo de 12,0 kN/m³ e o máximo de 17,0 kN/m³. Ressalta-se que os resultados obtidos nos ensaios de contração volumétrica não contribuíram na delimitação dessa segunda zona admissível, já que todos os valores resultaram abaixo do máximo admissível adotado de 4%.

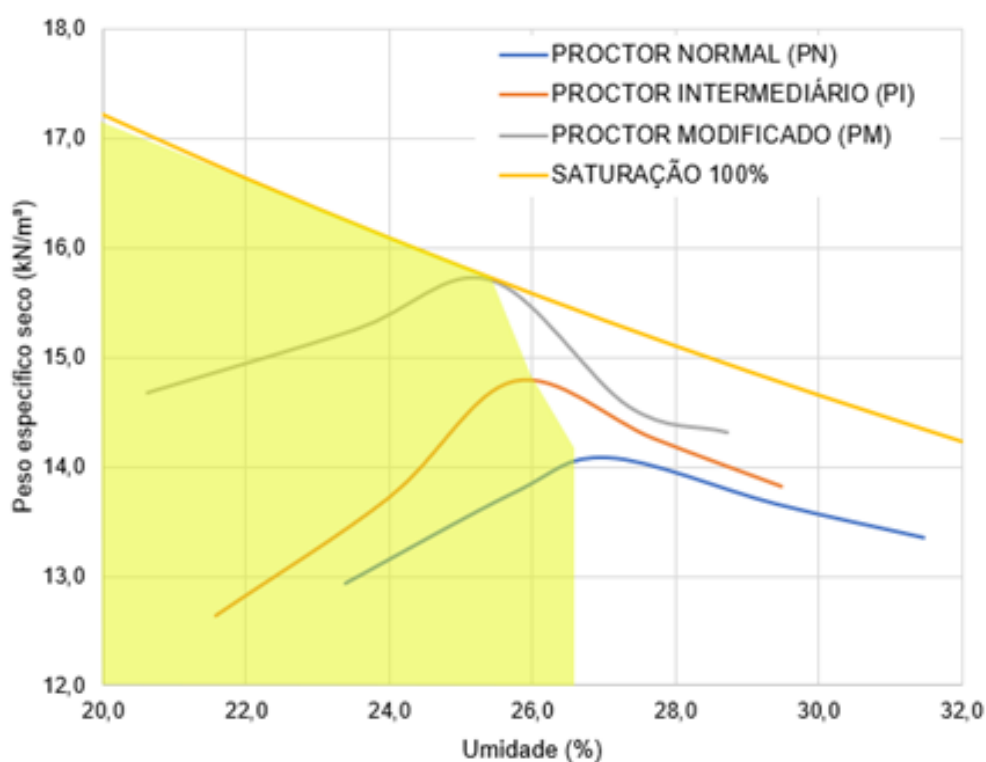


Figura 111 – Curvas de compactação, com destaque para a segunda zona admissível (polígono na cor amarela), para os limites estabelecidos para a resistência à compressão simples e à contração volumétrica.

Desta forma, a zona admissível final ou modificada resulta na intercessão das zonas admissíveis primeira e segunda, apresentadas respectivamente nas Figura 110 e Figura 111, correspondendo na Figura 112 ao polígono de cor laranja.

Os valores limites obtidos para a zona admissível final ou modificada resultaram coincidentes com aqueles obtidos para a zona admissível em relação à condutividade hidráulica, com a umidade ótima variando de 24,4% a 25% e o peso específico seco de 15,3 a 16,0 kN/m³.

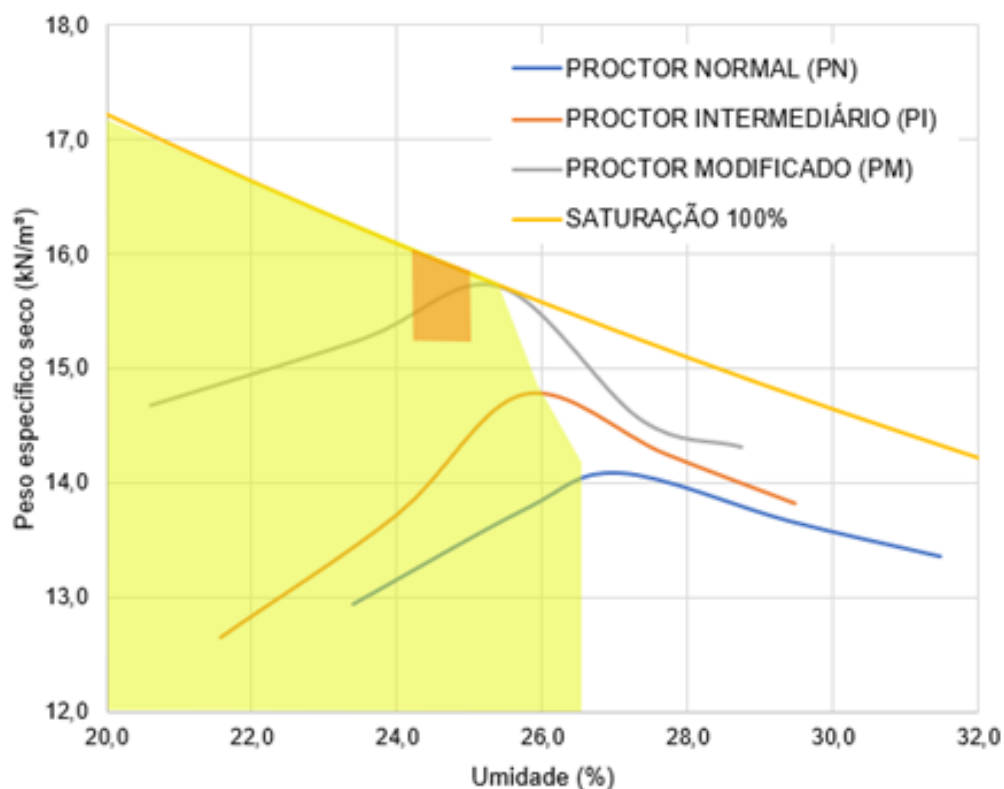


Figura 112 – Curva de compactação com destaque para a zona admissível final ou modificada (polígono na cor laranja).

5.2.2.6. Caracterização química e classificação, quanto aos riscos para o meio ambiente e à saúde do homem

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de lixiviação e solubilização para a lama do beneficiamento de granitos pesquisada (Anexos), foi classificada como Classe II-A, Não Perigoso e Não Inerte, perante a norma NBR 10004 da ABNT (2004), ressaltando que o único parâmetro que a classificou como Não Inerte, foi o alumínio na concentração de 0,733 mg/L, superior ao valor de 0,200 mg/L estabelecido como limite pela norma.

Braga et al. (2010) caracterizou 21 amostras de lamas do beneficiamento de rochas ornamentais geradas por teares multilâminas convencionais e politrizes por indústrias situadas no município de Cachoeiro de Itapemirim, segundo o que preconizam as normas técnicas NBR 10004, 10005 e 10006 da ABNT (2004). Para o extrato lixiviado, foram determinados os parâmetros (As, Ba, Cd, Pb, Cr, F-, Hg, Ag e Se) e no extrato solubilizado, os parâmetros (Al, As, Ba, Cd, Pb, CN-, Cl-, Cu, Cr, fenóis, Fe, F-, Mn, Hg, N03-, Ag, Se, Na, SO4-2, surfactantes e Zn).

Dentre as amostras coletadas, todas foram classificadas com resíduos da Classe II-A Não Perigosos e Não Inertes. Braga et al. (2010) observou que os parâmetros que ultrapassaram os limites máximos permitidos na NBR 10004 da ABNT (2004), para os extratos solubilizados, foram Al, F-, Pb, Hg, Cl-, Fe, Cr, fenóis, SO4, Na e Mn.

5.2.3. Solo utilizado na barreira mineral de fundo da célula de disposição final do aterro de industrial de resíduos monitorado

5.2.3.1. Caracterização mineralógica

O difratograma resultante da análise de difração de raios-X realizada na amostra do solo utilizado na barreira mineral de fundo do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais encontra-se na Figura 113, na qual se podem observar as presenças da caulinita (argilomineral típico de argilas), pertencente ao grupo dos filosilicatos, do quartzo, da tridimita e da cristobalita, esses últimos pertencentes ao grupo dos tectosilicatos.

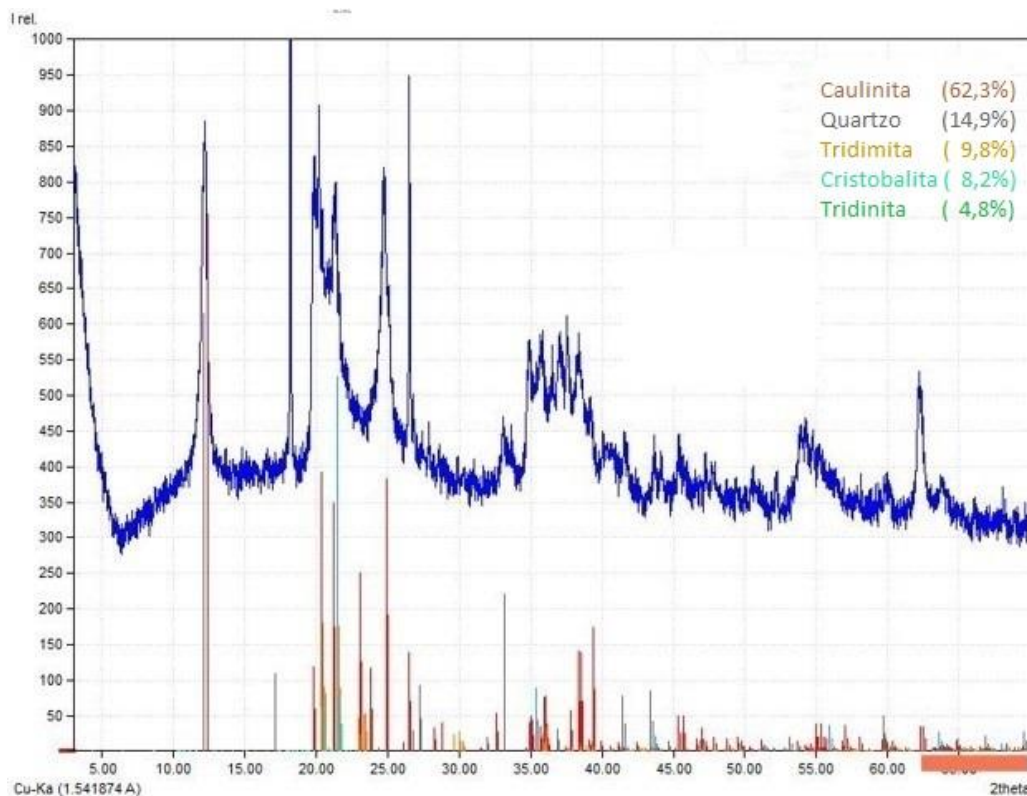


Figura 113 – Difratoograma obtido para a amostra do solo da barreira mineral de fundo da célula de disposição final de rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais.

5.2.3.2. Caracterização química e classificação quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde do homem

Os resultados da caracterização química e da classificação do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais, quanto aos potenciais riscos para o meio ambiente e à saúde humana, na qual foi coletada a amostra da lama do beneficiamento de granitos pesquisada, encontram-se nos laudos laboratoriais apresentados no Anexo 6 desse trabalho.

O resultado da classificação desse solo como um resíduo, perante os valores limites estabelecidos na norma NBR 10004 da ABNT (2004), resultou como da Classe II-B Inerte.

5.2.3.3. Condutividade hidráulica da barreira mineral implantada no fundo da célula do aterro industrial de rejeitos de rochas ornamentais

O valor obtido no ensaio de permeabilidade à carga variável, segundo a norma NBR 14545 da ABNT (2000), para a amostra indeformada de solo coletada da barreira mineral de fundo implantada na célula do aterro de rejeitos de rochas ornamentais, na qual foi obtida a amostra de lama do beneficiamento de granitos pesquisada, resultou em $7,869 \times 10^{-7}$ m/s, conforme laudo do Laboratório MS SOLOS EIRELI, situado no município de Vitória, ES, constante no Anexo 7 deste trabalho.

Ressalta-se que o limite mínimo preconizado para o coeficiente de permeabilidade para o subsolo de um aterro para a disposição final de rejeitos classificados como da Classe II Não Inertes, perante a norma NBR 1004 da ABNT (2004), é estabelecido pela norma NBR 13896 da ABNT (2007) que, obrigatoriamente, em qualquer caso, seja inferior a 5×10^{-7} m/s. Em nota, a citada norma preconiza que um subsolo com coeficiente de permeabilidade superior a 5×10^{-7} m/s poderá vir a ser aceito pelo órgão ambiental competente, a seu critério, dependendo do tipo de rejeito a ser disposto e das demais condições hidrogeológicas do local do aterro, desde que esse valor não exceda 1×10^{-4} m/s.

O resultado encontrado para a condutividade hidráulica da barreira mineral em questão de $7,869 \times 10^{-7}$ m/s ultrapassou o limite mínimo estabelecido pela NBR 13896 da ABNT (2007) de 5×10^{-7} m/s em cerca 1,57 vezes a maior, não atendendo, portanto, a essa condição, mas situou-se abaixo do valor também preconizado por essa norma de 1×10^{-4} m/s, para locais nos quais as condições hidrogeológicas sejam favoráveis.

6. Sistema de Gestão Ambiental proposto para os Resíduos de Rochas Ornamentais sob a ótica dos conceitos de Processos de Produção Ecoeficientes

O sistema de gestão ambiental proposto apresenta indicações de potenciais usos que podem ser dados aos resíduos de rochas ornamentais do tipo granito, denominados casqueiros e lama do beneficiamento, atendendo aos conceitos de processos de produção ecoeficientes, que buscam a máxima utilização dos recursos naturais e a mínima geração de resíduos.

Além de indicar potenciais usos para os casqueiros e a lama do beneficiamento de granitos e como caracterizá-los, é proposta a criação de um novo degrau na “escada de conceitos” proposta por Hamner (1996), apresentada na Figura 114. Nessa escada, são relacionadas terminologias normalmente utilizadas em sistemas de gestão ambiental em busca do desenvolvimento ambiental, tais como, Ecologia Industrial (EI), Produção mais Limpa (P+L), Controle da Poluição (CP) e outras, na qual os termos situados mais embaixo são subconjuntos dos termos mais altos e representam os requisitos mínimos necessários para se implementar os conceitos dos degraus situados acima.

Com o sistema de gestão ambiental proposto, verifica-se que o degrau dessa escada de conceitos, denominado “Reciclagem”, é alcançado quando são estabelecidas formas para as quantificações e caracterizações dos resíduos de rochas ornamentais (casqueiros e lama do beneficiamento) para diferentes potenciais usos em outros processos produtivos. Porém, ao propor uma disposição final adequada para os resíduos que não possuam viabilidade econômica comprovada para outros usos, passando a ser definidos então como rejeitos, para a recuperação ambiental de cavas de mineração de rochas extintas ou exauridas, que possuam, por sua vez, os controles geotécnicos e ambientais propostos nesse sistema de gestão ambiental, verifica-se que é atingido um nível nessa escada que se situa acima dos dois degraus inferiores, denominados “Disposição Final de Rejeitos” e “Controle da Poluição”, e abaixo do degrau “Reciclagem”.

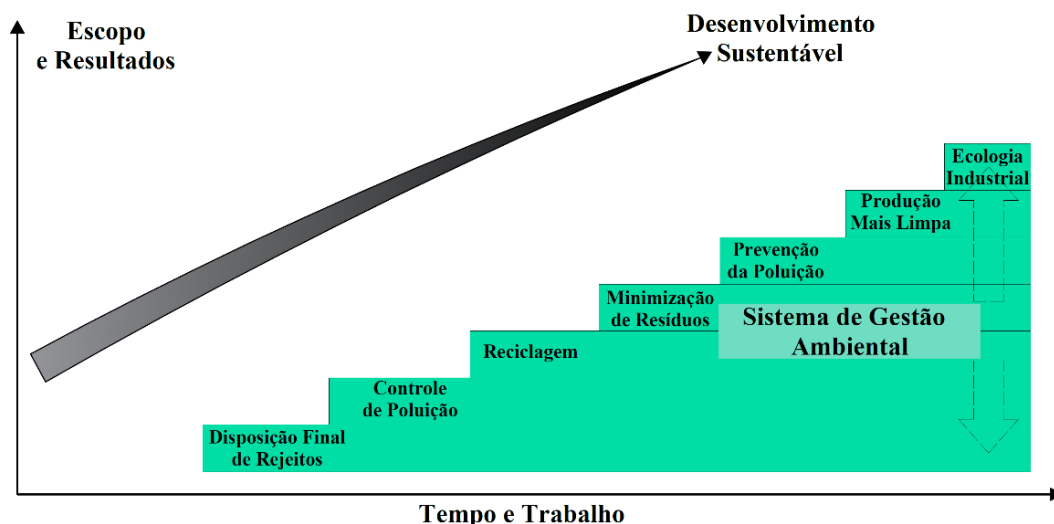


Figura 114 – Escada de conceitos utilizados em sistemas de gestão ambiental proposta por Hamner (1996). Fonte: Adaptado de Hammer (1996).

A utilização de cavas de mineração de rochas extintas ou exauridas para a destinação final de rejeitos de rochas ornamentais, quando implantados os controles ambientais solicitados pelos órgãos públicos ambientais licenciadores, resultará no aproveitamento de áreas degradadas e em uma finalidade nobre para esses rejeitos, atendendo então os conceitos de processos produtivos ecoeficientes e legislações ambientais relacionadas à destinação final de resíduos industriais.

Propõe-se, então, com o presente sistema de gestão ambiental, a inserção de um novo degrau na escada de conceitos proposta por Hamner (1996) a ser denominado “Restauração Ecológica”, situando-se entre os degraus “Controle da Poluição” e “Reciclagem”, conforme mostra a Figura 115.

Conforme citado por Clewell et. al. (2014), a restauração ecológica é um entre muitos elementos que devem ser considerados dentro de um empreendimento público ou privado mais amplo, tais como grandes projetos de desenvolvimento urbano, e citam, ainda, que gestores destes projetos precisam estar conscientes das complexidades e custos envolvidos no planejamento e na implementação de restaurações ecológicas. Assim, grandes economias podem ser feitas através da cuidadosa coordenação das atividades da restauração com outros aspectos destes projetos, reconhecendo ser este um importante componente integrante, e contribuindo significativamente para que o bem público seja atendido.

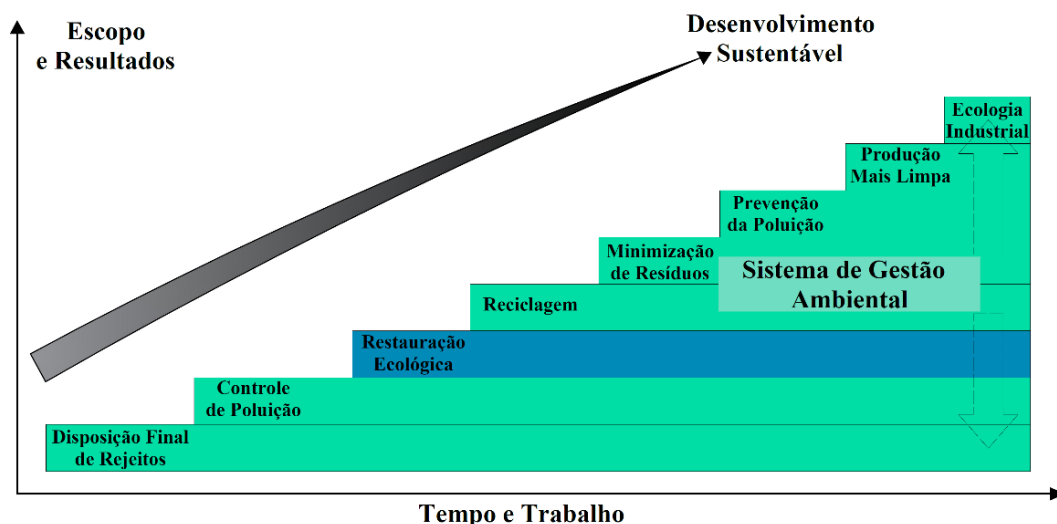


Figura 115 – Escada de conceitos proposta por Hamner (1996), adaptada ao sistema de gestão ambiental proposto. Fonte: Adaptado de Hammer (1996).

6.1. Etapas para a implantação do sistema de gestão ambiental proposto

Para a efetiva implantação em indústrias de rochas ornamentais do sistema de gestão ambiental proposto, propõem-se as duas etapas seguintes. A primeira etapa, denominada Etapa 1, refere-se à identificação de resíduos de rochas ornamentais (casqueiros e lama do beneficiamento) do tipo granito, suas quantificações e verificação das potencialidades de uso como matérias-primas em outros processos produtivos.

Na segunda e última etapa, a Etapa 2, é proposta a implantação da restauração ecológica em áreas degradadas pela mineração, por meio da utilização de resíduos de rochas ornamentais (casqueiros e lama do beneficiamento) do tipo granito que não forem passíveis técnica e/ou economicamente de utilização em outros processos produtivos.

Serão apresentados, para cada uma das etapas, roadmaps, representando esquematicamente as respectivas sub etapas propostas para a implantação.

6.1.1. Etapa 01: Identificação, quantificação e verificação das potencialidades de uso como matérias-primas em outros processos produtivos, para os resíduos de rochas ornamentais (casqueiros e lama do beneficiamento) do tipo granito

6.1.1.1. Roadmap da Etapa 01

O Roadmap da Figura 116 apresenta as subetapas a serem desenvolvidas na primeira etapa, Etapa 01, para a efetiva implantação de parte do sistema de gestão ambiental proposto.

6.1.2. Etapa 02: Implantação da Restauração Ecológica, utilizando-se resíduos de rochas ornamentais (casqueiros e lama do beneficiamento) do tipo granito que não forem passíveis técnica e/ou economicamente de utilização em outros processos produtivos

6.1.2.1. Roadmap da Etapa 02

O Roadmap da Figura 117 apresenta as subetapas a serem desenvolvidas na segunda etapa, Etapa 02, para a efetiva implantação de parte o sistema de gestão ambiental proposto.

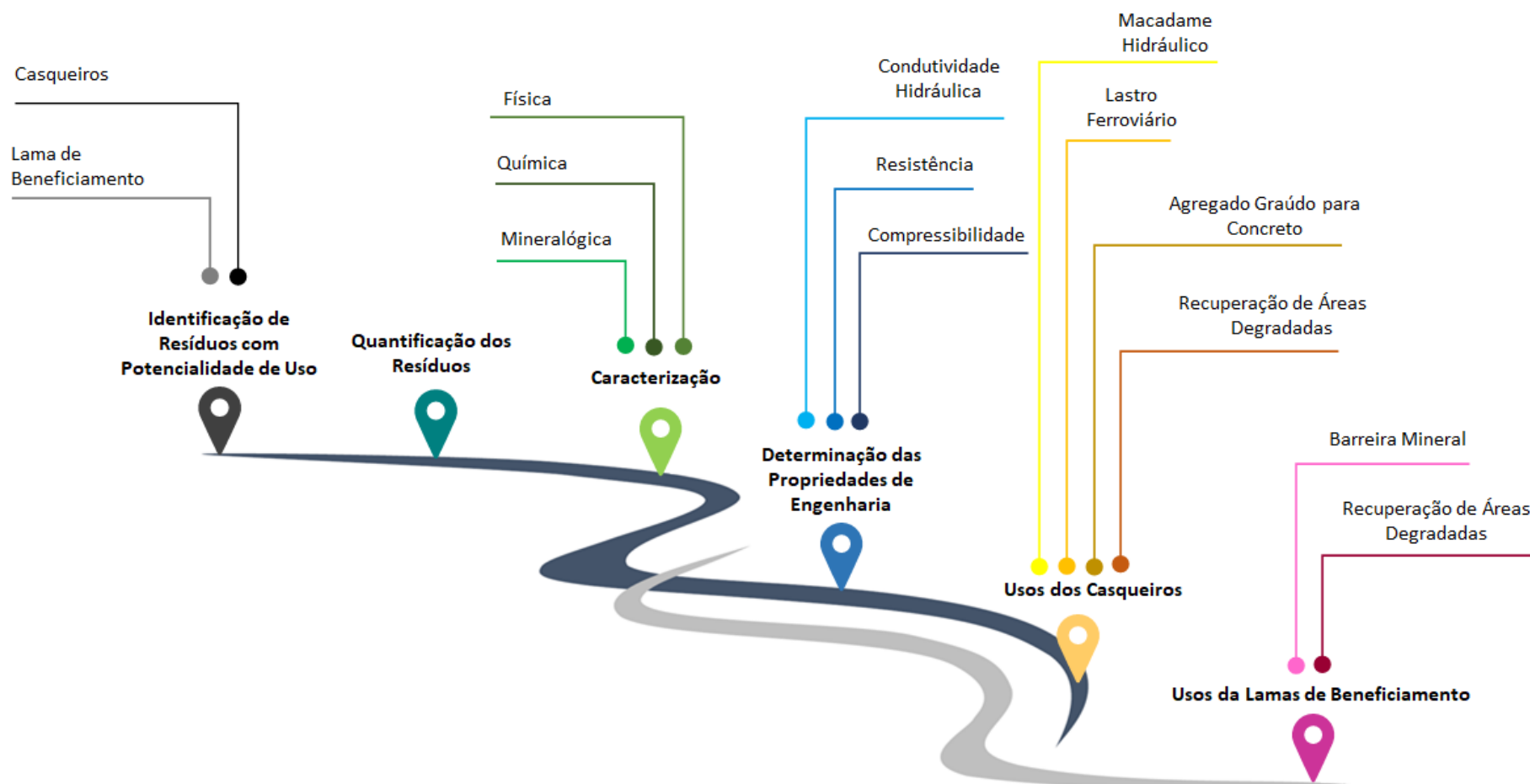


Figura 116 – Subetapas a serem desenvolvidas na Etapa 1, para a efetiva implantação do sistema de gestão ambiental proposto.

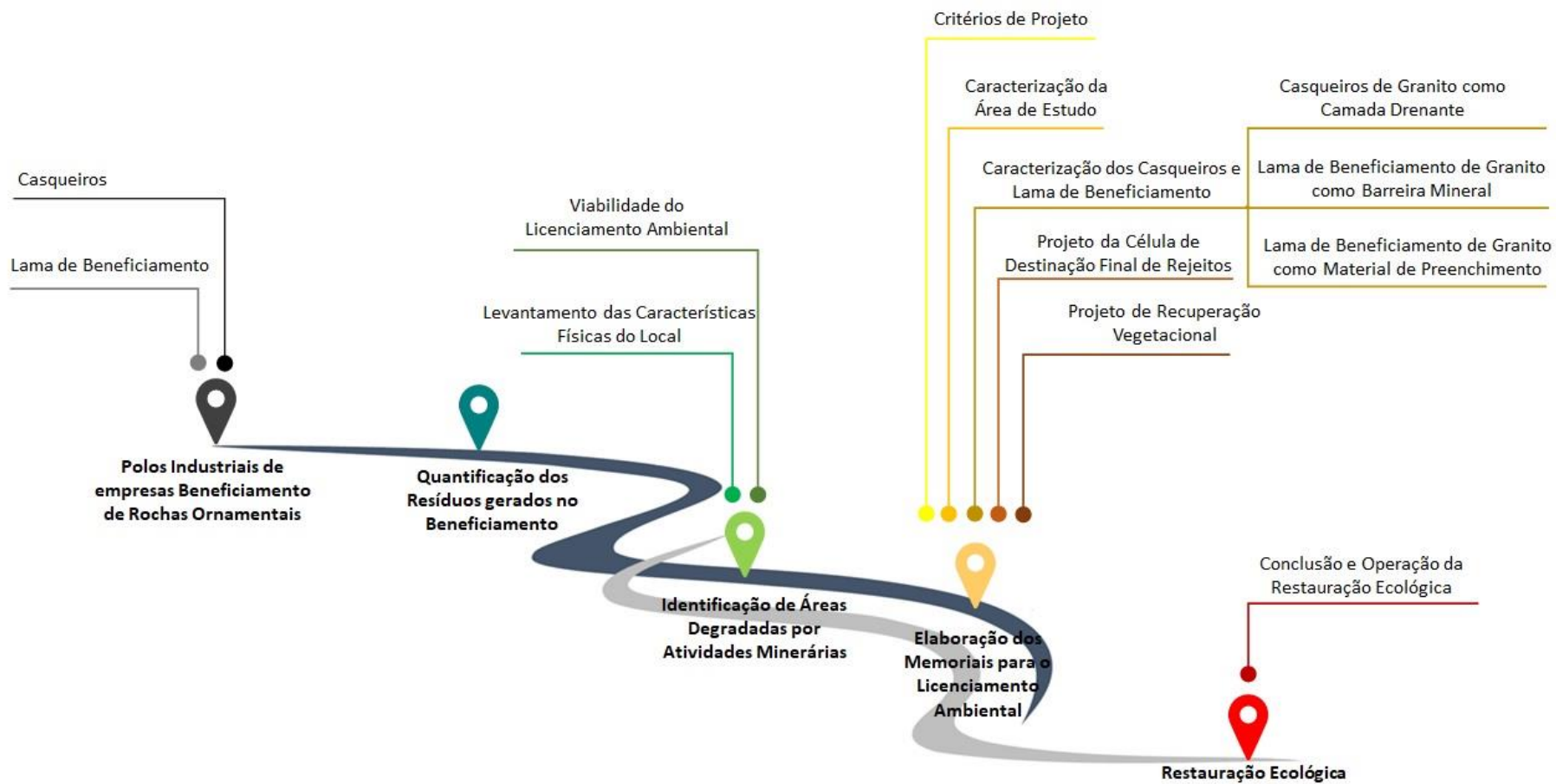


Figura 117 – Subetapas a serem desenvolvidas na Etapa 2, para a efetiva implantação do sistema de gestão ambiental proposto.

6.1.3. Exemplo de Plano para plantio em áreas com recuperação vegetacional

Como exemplo de definição das espécies vegetais a serem utilizadas em área degradada a ser recuperada da Etapa 2, levando-se em consideração a matriz vegetacional do entorno do local, para a efetiva implantação do sistema de gestão ambiental proposto, a Tabela 25 apresenta um plano para o plantio no entorno de áreas a serem restauradas com espécies arbustivas-arbóreas nativas da mata atlântica, relacionando as espécies recomendadas e indicando os grupos ecológicos para a sequência de plantio, se pioneira, não pioneira ou secundária inicial, e os tipos das áreas a serem plantadas, se encharcadas permanentemente, com inundação temporária ou áreas bem drenadas e não alagáveis.

Tabela 25 – Exemplo de plano para o plantio com espécies arbustivas-arbóreas da mata atlântica no entorno de áreas a serem restauradas com essas espécies.

Nome Científico	Nome Vulgar	Grupo Ecológico ^a	Indicação das áreas ^b
<i>Acácia polyphylla</i>	Angico-branco	P	B, C
<i>Acrocomia aculeata</i>	Macaúba	P	B, C
<i>Aegiphila sellowiana</i>	Tamanqueira	P	C
<i>Albizziab hassleri</i>	Farinha seca	P (Si)	C
<i>Amaioua guianensis</i>	Café do mato	NP	C
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico vermelho	P (Si)	C
<i>Anibula firmula</i>	Canelinha	NP	A
<i>Apulea leiocarpa</i>	Garapa	NP	C
<i>Aspidosperma polyneuron</i>	Peroba rosa	NP	C
<i>Bauhinia forficata</i>	Unha de vaca	P (Si)	B, C
<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitibá branco	NP	C

Tabela 25 (cont.) – Exemplo de plano para o plantio com espécies arbustivas-arbóreas da mata atlântica no entorno de áreas a serem restauradas com essas espécies.

Nome Científico	Nome Vulgar	Grupo Ecológico ^a	Indicação das áreas ^b
<i>Cariniana legalis</i>	Jequitibá rosa	NP	C
<i>Casearina decandra</i>	Pitumba/Espeto	NP	B, C
<i>Cecropia sp</i>	Embaúba	P	B, C
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro	P (Si)	C
<i>Chorisia speciosa</i>	Paineira	P (Si)	B, C
<i>Copaifera langsdorffi</i>	Copaíba	NP	B, C
<i>Cupana vernalis</i>	Camboatã	P (Si)	C
<i>Cytharexylum myranthum</i>	Pau-viola	P	A, B
<i>Eugênia uniflora</i>	Pitanga	NP	C
<i>Euterpe edulis</i>	Jussara	NP	B
<i>Euterpe oleraceae</i>	Açaí	NP	A, B
<i>Ficus guaranitica</i>	Figueira	P (Si)	
<i>Gallesia integrifolia</i>	Pau d'álho	P (Si)	B, C
<i>Genipa americana</i>	Genipapo	NP	
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	NP	B, C
<i>Inga sp</i>	Ingá	P (Si)	A, B
<i>Ocotea odorifera</i>	Canela sassafrás	NP	C
<i>Pitandenia gonoacatha</i>	Pau-jacaré	P (Si)	C
<i>Psidium guajava</i>	Goabeira	P	B, C
<i>Psychotria sessilis</i>	Cafezinho-do-mato	NP	C

Tabela 25 (cont.) – Exemplo de plano para o plantio com espécies arbustivas-arbóreas da mata atlântica no entorno de áreas a serem restauradas com essas espécies.

Nome Científico	Nome Vulgar	Grupo Ecológico ^a	Indicação das áreas ^b
<i>Sapium glandulatum</i>	Leiteiro	P (Si)	B, C
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeirinha	P	A, B
<i>Tabebuia impetiginosa</i>	Ipê-roxo	P (Si)	B, C
<i>Tappebuia umbelata</i>	Ipê-amarelo-do-brejo	P (Si)	A, B
<i>Virola oleifera</i>	Bicuiba	NP	B, C
<i>Xylopia emarinata</i>	Pindaíba-d'água	P (Si)	A, B
<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	Mamica de porca	P (Si)	C
<i>Zeyheria tuberculosa</i>	Ipê-felpudo	P (Si)	C

Notas: ^a Grupo ecológico: P = Pioneira, NP = Não Pioneira, Si = Secundária inicial.

^b Indicação das áreas: A = áreas encharcadas permanentemente, B = áreas com inundação temporária, C = áreas bem drenadas, não alagáveis.

6.2. Ilustração de restauração ecológica em cava de mineração extinta por meio da implantação do plano de gestão ambiental proposto

Uma ilustração de restauração ecológica em cava de mineração extinta por meio da implantação do plano de gestão ambiental proposto, é apresentada da Figura 118, na qual é possível se observar o uso da lama do beneficiamento de granitos como barreira mineral de fundo de célula de disposição final de rejeitos, dos casqueiros de rochas como drenagem de fundo da célula para os líquidos percolados pelo maciço de rejeitos e ainda, como camada drenante, situada por debaixo da camada do solo utilizado para a revegetação superior do maciço.

A Figura 118 também apresenta também o maciço de rejeitos formado pela lama do beneficiamento de granitos, buscando-se atingir a geomorfologia próxima àquela anterior ao momento da degradação da área, e os taludes com suas declividades resultantes das comprovações de estabilidade geotécnica realizadas. Concluindo, observa-se a cobertura vegetal na superfície superior final do maciço de rejeitos formado.

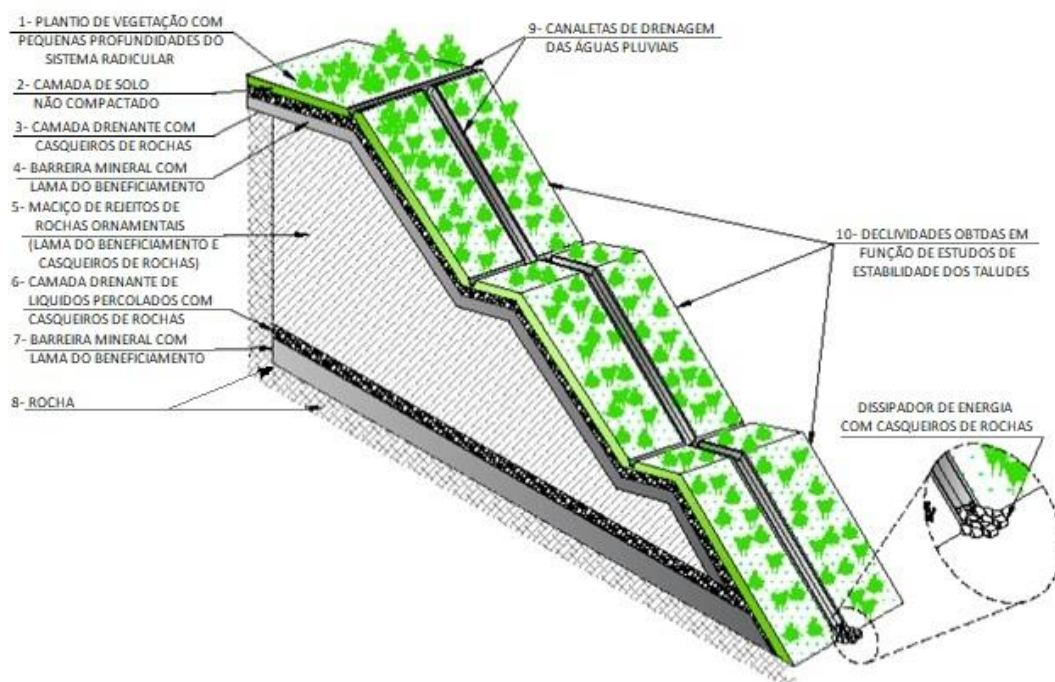


Figura 118 – Ilustração de restauração ecológica em cava de mineração extinta por meio da implantação do sistema de gestão ambiental proposto.

6.3. Diagrama esquemático ilustrando a aplicação do conceito da Economia Circular no setor de rochas ornamentais

Com objetivo de se ilustrar um modelo de aplicação do sistema de gestão ambiental proposto, utilizando-se o conceito da Economia Circular em busca do desenvolvimento sustentável em processos de produção ecoeficientes no setor de rochas ornamentais, foi elaborado o diagrama esquemático da Figura 119, tendo, como base, o diagrama original da Ellen MacArthur Foundation (2015).

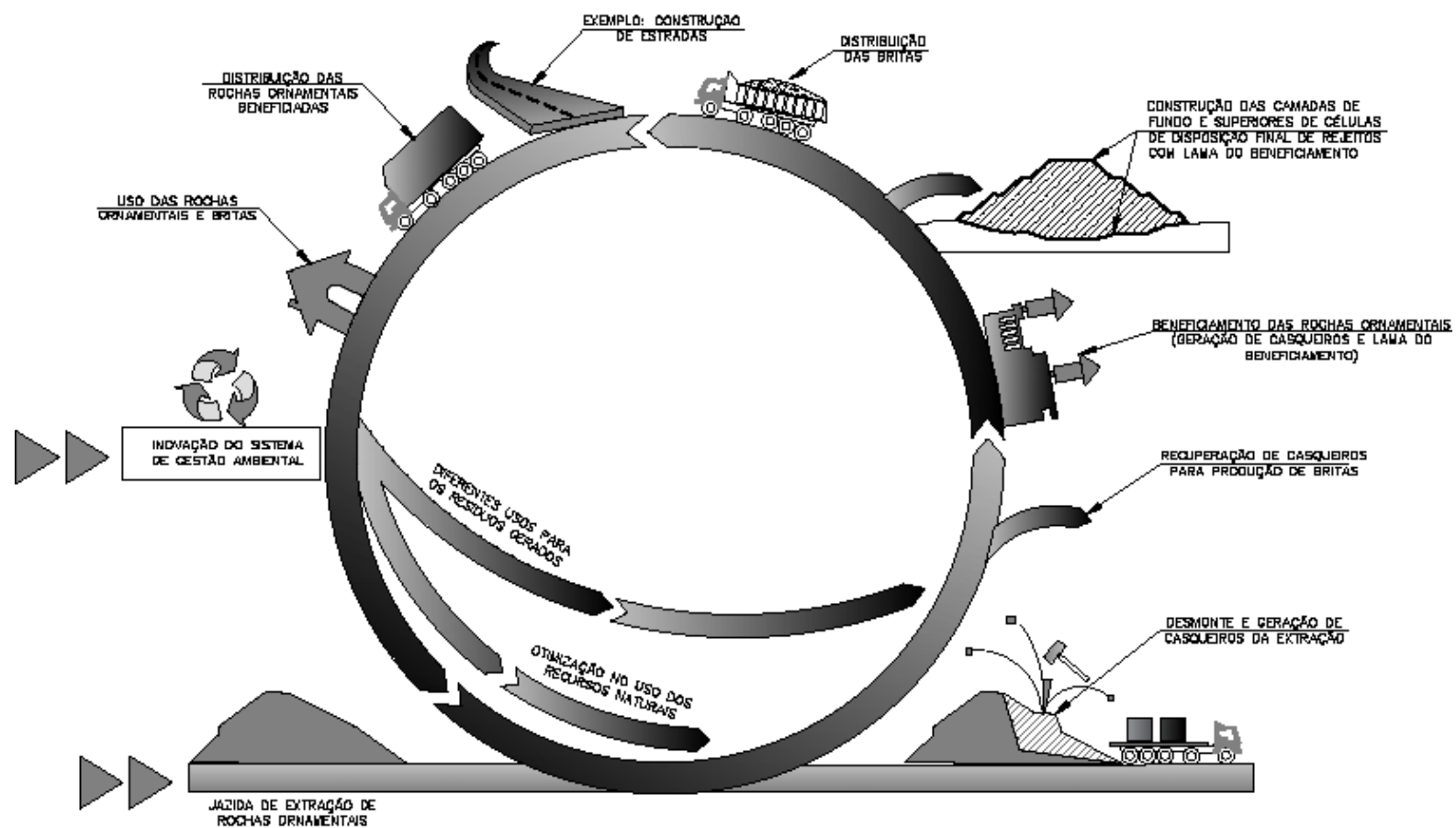


Figura 119 – Ilustração de restauração ecológica em cava de mineração extinta por meio da implantação do sistema de gestão ambiental proposto.

6.4. Estudo de Caso: Monitoramento de sistema de restauração ecológica sendo implantado em área degradada pela mineração, situado no município de Serra, ES

Conforme citado no item 3.3, como forma de se verificar a viabilidade técnica de aplicação do sistema de gestão ambiental proposto, foi monitorado um estudo de caso de implantação de sistema de restauração ecológica em uma antiga cava de mineração de rochas (granito), por meio do uso de rejeitos (casqueiros e lama do beneficiamento) de granitos. Acrescentando-se as complementações técnicas sugeridas e estudadas nesta tese para este processo de recuperação ambiental em implantação, pretende-se alcançar a restauração ecológica de áreas degradadas similares à monitorada. A área objeto do monitoramento, situada no município de Serra, região metropolitana da Grande Vitória, ES, foi licenciada junto ao órgão ambiental estadual licenciador, o IEMA - Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo, para exercer a atividade de aterro industrial de resíduos da Classe II, Não Perigosos e Não Inertes e ainda Inorgânicos, tendo sido implantados, para isso, os sistemas de controles ambientais preconizados pela NBR 13.896 da ABNT (1997) e pela Instrução Normativa nº 11 do IEMA (2016), incluindo a instalação de sistemas de impermeabilização do tipo geomembranas de PEAD – Polietileno de Alta Densidade de espessura 1,5 mm.

O projeto elaborado para o empreendimento considerou a restauração ecológica da área degradada com a implantação de célula para disposição final de rejeitos de rochas ornamentais com área aproximada da base de 31.000,00 m², altura máxima de 25,0 m e volume total a ser preenchido com rejeitos de rochas ornamentais de cerca 450.000,0 m³. Foram implantados sistemas de impermeabilização com barreira mineral em solo compactado no fundo da célula e ainda com geomembranas de PEAD-Polietileno de Alta Densidade de espessura 1,5 mm no fundo e nas laterais rochosas, reservatório para acúmulo das águas pluviais precipitadas sobre o maciço de rejeitos para o reuso (umectação de vias internas da célula e compactação dos rejeitos dispostos) e outros controles ambientais, conforme mostram as Figura 120, Figura 121 e Figura 122.



Figura 120 – Área monitorada no início das obras de implantação da célula de disposição de rejeitos de rochas ornamentais em setembro de 2013.



Figura 121 – Barreira mineral de fundo da célula sendo preparada e detalhe dos geotêxteis afixados em suas laterais para proteção da camada superior de geomembrana em outubro de 2013.



Figura 122 – Impermeabilização com geomembrana de PEAD do fundo e das laterais de parte da célula em construção em fevereiro de 2014.

A disposição dos rejeitos foi iniciada no mês de abril de 2014, logo após a obtenção da licença ambiental de operação, encontrando-se em operação no mês de dezembro de 2019, quando foi finalizada a coleta de dados deste trabalho, com cerca de 80% da sua capacidade máxima de preenchimento já atingida. A movimentação dos rejeitos dispostos na célula é realizada por meio de máquinas de terraplanagem (carregadeira e escavadeira), as quais, juntamente com o trânsito dos caminhões transportadores dos rejeitos sobre o maciço em formação e a umectação com reuso da água pluviais acumuladas, realizam a compactação para conferir a estabilidade geotécnica necessária dos taludes do maciço de rejeitos.

As declividades dos taludes do maciço de rejeitos em formação estão sendo implantadas de acordo com o projeto elaborado para o empreendimento, à medida do seu preenchimento, resultando em alturas verticais aproximadas entre os platôs horizontais de descarregamento dos resíduos de 6,0 m, declividades entre 1V/1,5H e 1V/3H e largura final das bermas de estabilização horizontal de 5,0 m.

As Figura 123 e Figura 124 apresentam detalhes da implantação dos taludes do maciço de rejeitos em formação na área monitorada em diferentes datas.



Figura 123 – Execução dos taludes e bermas de estabilização do maciço de rejeitos em formação e vista do reservatório de águas pluviais em junho de 2016.



Figura 124 – Vista de taludes e bermas de estabilização do maciço de rejeitos em formação em janeiro de 2019.

A imagem da Figura 125 mostra os dois reservatórios de acúmulo das águas pluviais sobre o maciço de rejeitos, impedindo o lançamento de líquidos no corpo hídrico superficial mais próximo e que são utilizadas para a umectação das vias e frentes de trabalho e para a compactação dos rejeitos necessária à estabilidade geotécnica dos taludes do maciço.



Figura 125 – Imagem superior do maciço de rejeitos em formação, com detalhe para os dois reservatórios de acúmulo das águas pluviais em janeiro de 2019. Fonte: Extraída do Google Earth em abril de 2020.

Em relação aos estudos realizados para o projeto inicial do empreendimento, foram analisadas as estabilidades dos taludes do maciço de rejeitos, quando em formação e também quando finalizado, considerando-se, à época, parâmetros geotécnicos conhecidos de outros rejeitos similares à lama do beneficiamento de granitos, resíduo este de maior proporção para disposição na área, pelo fato de não se conhecer, no momento da análise, os valores dos seus parâmetros geotécnicos.

Com a realização das pesquisas ao longo do período de realização deste trabalho, obtiveram-se os parâmetros geotécnicos precisos para a lama desaguada do beneficiamento de granitos disposta nessa área, o que tornou possível a realização das análises de estabilidade dos taludes do maciço de rejeitos, conforme descrito a seguir.

6.4.1. Coleta das amostras

Conforme citado no Item 3.3.1, para a obtenção dos parâmetros geotécnicos da lama do beneficiamento de granitos disposta na célula, iniciou-se em junho de 2016 a obtenção de dados de campo com a coleta de cinco amostras indeformadas em diferentes profundidades distribuídas ao longo da altura do maciço de rejeitos em formação, definidas por AM1, AM2, AM3, AM4 e AM5.

6.4.2. Ensaios de laboratório

6.4.2.1. Ensaio de granulometria

A Figura 126 apresenta as curvas das distribuições granulométricas obtidas segundo os procedimentos preconizados pela norma NBR 7181 da ABNT (1984), para as 05 amostras de lama do beneficiamento de granitos, coletadas em diferentes profundidades do maciço de rejeitos da célula de disposição final da área monitorada.

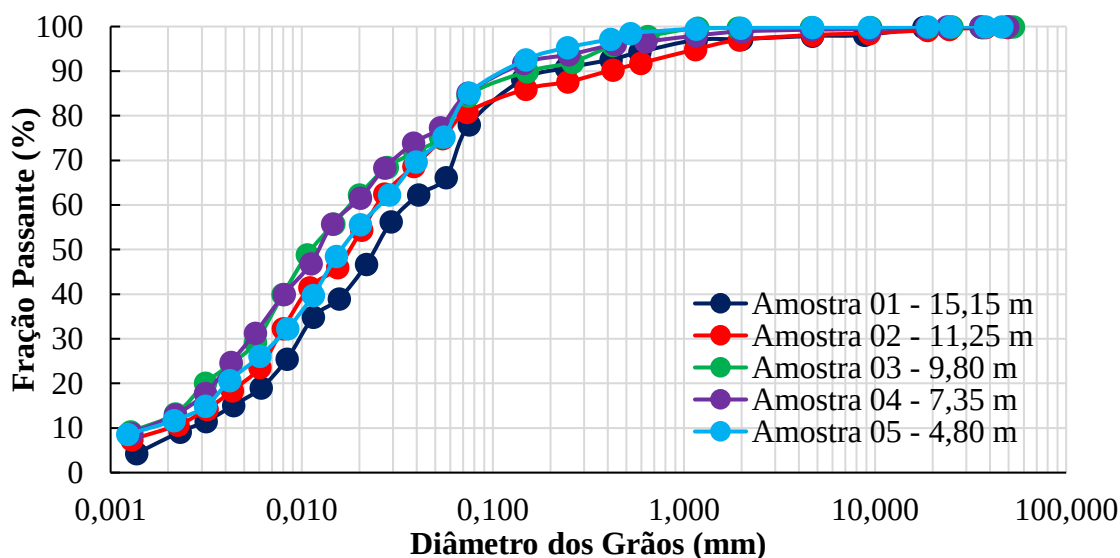


Figura 126 – Distribuições granulométricas das 5 amostras de lama do beneficiamento de granitos coletadas no maciço de rejeitos da área monitorada.

Na Tabela 26 são apresentados de forma detalhada, os percentuais obtidos em função das faixas granulométricas.

Tabela 26 – Percentuais obtidos em função das faixas granulométricas das 5 amostras de lama do beneficiamento de granitos pesquisadas.

	Amostra 01	Amostra 02	Amostra 03	Amostra 04	Amostra 05
Argila ($d \leq 0,002$ mm)	7,6%	9,8%	12,4%	12,1%	11,2%
Silte ($0,002 < d \leq 0,060$ mm)	60,7%	66,8%	65,9%	67,8%	66,4%
Areia Fina ($0,060 < d \leq 0,200$ mm)	21,4%	10,2%	12,5%	12,9%	16,4%
Areia Média ($0,200 < d \leq 0,600$ mm)	4,8%	5,0%	6,5%	3,7%	4,6%
Areia Grossa ($0,600 < d \leq 2,000$ mm)	2,8%	5,2%	2,3%	2,4%	1,1%
Pedregulho Fino ($2,000 < d \leq 6,000$ mm)	0,8%	1,2%	0,1%	0,4%	0,1%
Pedregulho Médio ($6,000 < d \leq 20,000$ mm)	1,8%	1,0%	0,0%	0,5%	0,2%
Pedregulho Grosso ($20,000 < d \leq 60,000$ mm)	0,2%	0,8%	0,2%	0,1%	0,0%
Limite de Liquidez (LL)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Limite de Plasticidade (LP)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Índice de Plasticidade (IP)	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Massa Específica Real (Mg/m^3)	2,71	2,71	2,80	2,69	2,71
Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS)	ML	ML	ML	ML	ML

Pode-se observar, por meio das curvas granulométricas, que a fração fina (argila + silte) nas diferentes amostras varia de 68,3 a 79,9% e a porcentagem somente de argila varia de 7,6 a 12,4%.

Assim como nos resultados obtidos da análise granulométrica para a amostra da lama do beneficiamento de granitos pesquisada neste trabalho para uso como barreira mineral, conforme exposto no Capítulo 4, nos ensaios realizados para a determinação da consistência, i.e. limites de Atteberg, também não foi possível se obter os limites de plasticidade e de liquidez para as cinco amostras em questão, constatando-se serem materiais não plásticos.

Em relação à classificação pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (ASTM D2487, 2017), as cinco amostras de lamas do beneficiamento pesquisadas também foram classificadas como ML, silte arenoso inorgânico e de baixa plasticidade.

6.4.2.2. Ensaios de cisalhamento direto: obtenção dos parâmetros geotécnicos da lama do beneficiamento de granitos do maciço de rejeitos pesquisado

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, obtidos de acordo com o procedimento padronizado pela norma americana ASTM D3080 para as cinco amostras da lama do beneficiamento de granitos coletadas em diferentes profundidades do maciço de rejeitos pesquisado resultaram, para os parâmetros de resistência, coesão (c) e ângulo de resistência ao cisalhamento (ϕ), nos valores apresentados na Tabela 27, assim como nos valores do peso específico seco (γ), obtidos nos ensaios de caracterização dessas amostras. Esta tabela também apresenta os valores dos desvios padrão obtidos para cada um dos parâmetros geotécnicos das amostras pesquisadas. No Anexo 9 são apresentados os gráficos gerados a partir desses ensaios de cisalhamento direto.

Tabela 27 – Resumo dos resultados médios e desvios padrão dos parâmetros geotécnicos obtidos para as cinco amostras da lama do beneficiamento de granitos.

Parâmetros	AM 1	AM 2	AM 3	AM 4	AM 5	Média	Mediana	Desvio Padrão	
γ (KN/m³)	17,3	18,1	18,1	19,4	18,33	18,24	18,1	0,75	4,1%
c (KPa)	16,33	1,43	12,93	1,66	23,58	11,18	12,93	9,61	85,9%
ϕ (°)	32,17	34,81	35,56	31,56	31,81	33,18	32,17	1,86	5,6%

Notas: γ = peso específico seco;

c = coesão;

ϕ = ângulo de resistência ao cisalhamento;

Amostras coletadas nas seguintes cotas de terreno do maciço de rejeitos: AM 01 – 15,15 m

AM 02 – 11,25 m

AM 03 – 9,80 m

AM 04 – 7,35 m

AM 05 - 4,80 m

Os resultados indicam valores baixos para o parâmetro de coesão das amostras AM 02 e AM 04, o que era de se esperar também para as demais amostras, tendo em vista serem resíduos provenientes de rochas graníticas moídas, com os resultados da análise granulométrica para a fração fina (argila + silte) variando de 68,3 a 79,9% e caracterizados como materiais não plásticos.

Além destas características, com a forma de lançamento dos resíduos empregada na célula de disposição final do tipo normalmente adensada, as amostras das lamas pesquisadas em diferentes profundidades, principalmente as amostras AM 01, AM 03 e AM 05, não deveriam apresentar coesão. Porém, o uso da cal (CaO), na composição das lamas abrasivas de teares convencionais, que correspondem à considerável parcela dos resíduos presentes na célula de destinação final pesquisada, pode ter contribuído para a obtenção dos valores encontrados das coesões das amostras pesquisadas.

Em relação aos valores reduzidos dos desvios padrão obtidos para os parâmetros peso específico seco e ângulo de atrito, 4,1% e 5,6%, respectivamente, podem indicar que as diferenças nas profundidades das coletas das amostras não causaram alterações consideráveis nos seus valores.

Outra conclusão interessante se refere aos valores encontrados para o teor de umidade higroscópica das amostras estudadas, isto é, as umidades obtidas com os resíduos secos ao ar, sendo para a AM 1 e AM 4 de 0,37%, para AM 2 e AM 3 de 0,33% e para AM 5 de 0,44%. Tais valores resultaram muito baixos, quando comparados aos valores da umidade (próximo de 30%) de chegada dos resíduos provenientes de processo mecânico de desagumamento (filtro prensa) na célula de disposição final. Pode-se concluir que esse resíduo é favorável a uma elevada desidratação natural, quando exposto ao tempo e a condições climáticas favoráveis.

Oliveira (2015), pesquisando sobre a caracterização do resíduo do corte de blocos de rocha ornamentais, visando a possibilidade de diferentes aplicações na geotecnia, apresentou resultados da avaliação de resistência, obtendo para os ensaios de cisalhamento direto uma coesão de 54 KPa e 35° de ângulo de resistência ao cisalhamento.

Dino et al. (2013) realizaram a caracterização geotécnica de lamelas do beneficiamento de rochas ornamentais provenientes de diferentes tipos de teares utilizados, com vista a aplicações como impermeabilização para depósitos de rejeitos ou sua cobertura, dentre outras finalidades geotécnicas, tendo encontrado para aquelas provenientes de teares multifios diamantados ângulos de resistência ao cisalhamento de 36,7° a 37,3°, de teares multilâminas convencionais de 34,2° a 34,4° e de uma mistura das duas valores de 31,9° a 33,0°. Não foram apresentados, nos resultados dessa pesquisa, valores para a coesão de cada uma das lamelas estudadas.

Segundo os pesquisadores, lamelas de beneficiamento de rochas ornamentais são materiais naturais e caracterizadas como grãos angulares, as quais, por consequência, resultam em valores para a tensão máxima de cisalhamento maiores do que aqueles encontrados em materiais naturais que tenham a mesma distribuição granulométrica. Ainda segundo os pesquisadores, a presença de elementos metálicos, relacionados aos abrasivos utilizados no desdobramento dos blocos em teares, também contribuem para esse fenômeno.

6.4.3. Nível da água no interior do maciço de rejeitos

Os resultados das leituras realizadas na data de junho de 2016 nos três piezômetros estão apresentados na Tabela 28, e, na Figura 127, há o detalhamento do procedimento de leituras dos níveis d'água.

Os perfis esquemáticos da Figura 128 e da Figura 129 apresentam detalhes dos piezômetros instalados na área monitorada e os valores das alturas da água do lençol formado no interior do maciço de rejeitos, obtidos em junho de 2016. Ressalta-se que no perfil da Figura 128 é possível se verificar a berma de estabilização construída no início da operação da célula, que foi coberta com os rejeitos sendo dispostos ao longo do tempo, o que certamente contribui com a formação e a altura final encontrada do lençol de água.

Tabela 28 – Leituras realizadas nos piezômetros em junho de 2016.

Identificação do furo	Profundidade do furo (m)	Leitura 1 (m)	Leitura 2 (m)	Leitura Final (m)	Altura do nível d'água (m)
PM 01	18,50	16,24	0,79	15,4	3,10
PM 02	10,50	8,47	0,67	7,80	2,70
PM 03	7,50	7,34	0,96	6,38	1,12

Notas:

- Profundidades dos furos: Obtidas durante a execução dos furos;
- Leitura 1: Distância entre o topo do piezômetro e a cota onde o aparelho encontrou o nível d'água;
- Leitura 2: Altura do topo do piezômetro até a superfície da camada de rejeitos;
- Leitura Final: (Leitura 1 – Leitura 2): Cota efetiva onde é encontrado o nível d'água em relação ao fundo da célula de rejeitos;
- Altura do nível d'água: Igual a profundidade do furo menos a leitura final do nível d'água, correspondendo a altura da lâmina d'água acima do fundo da célula de rejeitos.

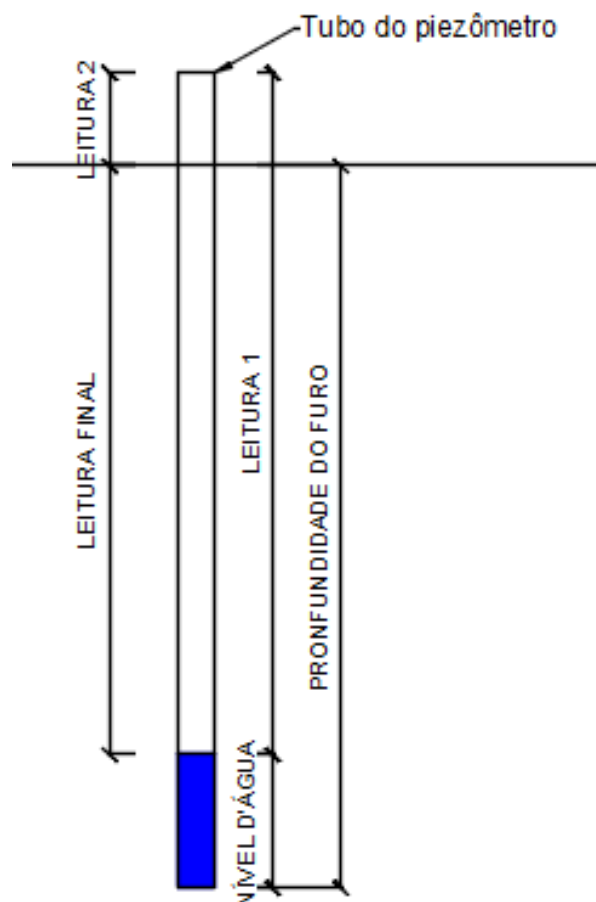


Figura 127 – Detalhamento do procedimento de leitura dos níveis d’água nos poços de monitoramento.

Infelizmente, devido a impossibilidades, por questões administrativas e operacionais, para se ter acesso aos locais onde se encontravam instalados os piezômetros e se realizar outras medições dos níveis de água no interior do maciço de rejeitos, foi adotado, para os estudos de estabilidade realizados, o nível mais alto da água de 1,5 m como existente no seu interior, proveniente das águas pluviais que infiltram nos rejeitos e da própria umidade desses rejeitos quando dispostos na célula.

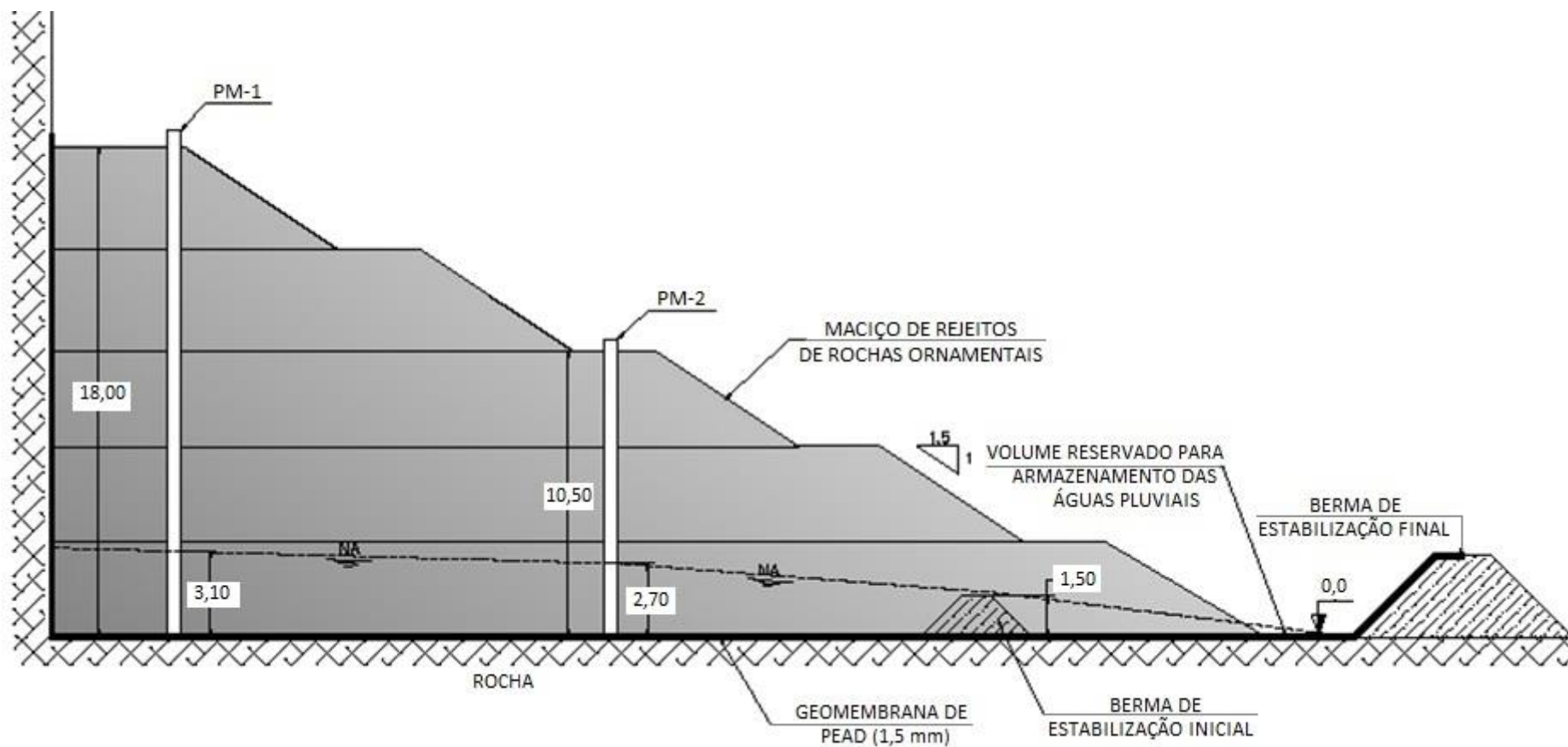


Figura 128 – Perfil esquemático da instalação dos piezômetros PM 1 e PM 2 na área monitorada, com detalhe para as alturas nesses poços da água do lençol formado no interior do maciço de rejeitos.

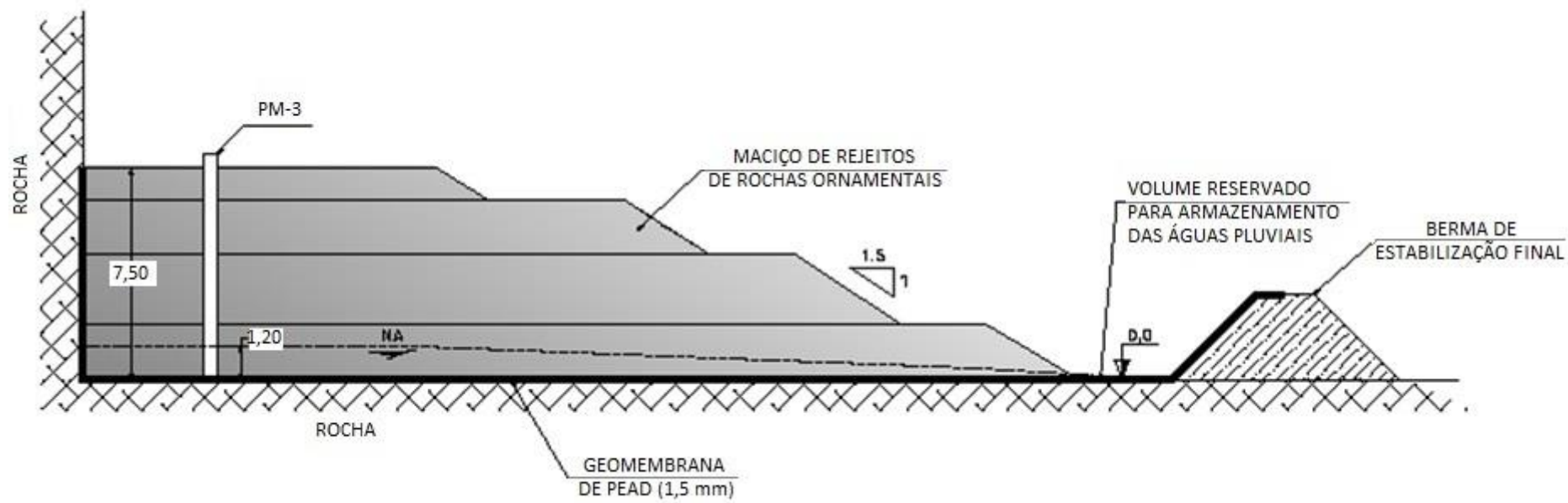


Figura 129 – Perfil esquemático da instalação do piezômetro PM 3 na área monitorada, com detalhe para a altura nesse poço da água do lençol formado no interior do maciço de rejeitos.

6.4.4. Determinação da condutividade hidráulica da camada superficial de rejeitos

Em relação ao resultado deste ensaio de condutividade hidráulica realizado em campo, verificou-se durante a sua realização que, após decorrido determinado período de tempo, conforme padronizado para o ensaio, não ocorreu rebaixamento do nível da água no poço de sondagem escavado para esse fim e tão pouco do nível do reservatório do permeâmetro, não sendo possível se obter uma taxa de queda suficiente para a medição da condutividade hidráulica da camada de rejeitos. Pode-se concluir, portanto, que as camadas superficiais dos rejeitos compactados, nas quais ocorrem os descarregamentos, são praticamente impermeáveis, pouco contribuindo para a formação de lençol de água no interior do maciço de rejeitos.

6.4.5. Análises de estabilidade dos taludes do maciço de rejeitos

Para realização da análise da estabilidade dos taludes do maciço de rejeitos foi utilizado o método de equilíbrio limite, empregando o procedimento proposto por Morgenstern e Price (1965) e o programa SLOPE/W da Geo-Slope International. Foram exportados para o programa os valores dos parâmetros geotécnicos obtidos nas análises de laboratório realizadas para a lama do beneficiamento pesquisada e também as cotas das alturas e declividades dos taludes das seções definidas para os estudos.

Realizou-se a análise de estabilidade dos taludes em duas etapas, sendo uma para a situação de preenchimento do maciço de rejeitos na data da coleta das amostras, junho de 2016, e a outra para a condição do maciço uma vez preenchido, de acordo com as cotas e declividades dos taludes constantes no projeto elaborado para o empreendimento, quando do seu término de operação.

Para a primeira etapa dos estudos de estabilidade, foi definida a seção A-A' para a situação de preenchimento do maciço de rejeitos na data da coleta das amostras, junho de 2016, conforme mostrado em Figura 130, Figura 131 e Figura 132.



Figura 130 – Vista da seção A-A' do maciço de rejeitos no momento da coleta das amostras em junho de 2016.



Figura 131 – Vista da seção A-A', podendo-se observar o local da coleta de amostras no platô intermediário do maciço de rejeitos.

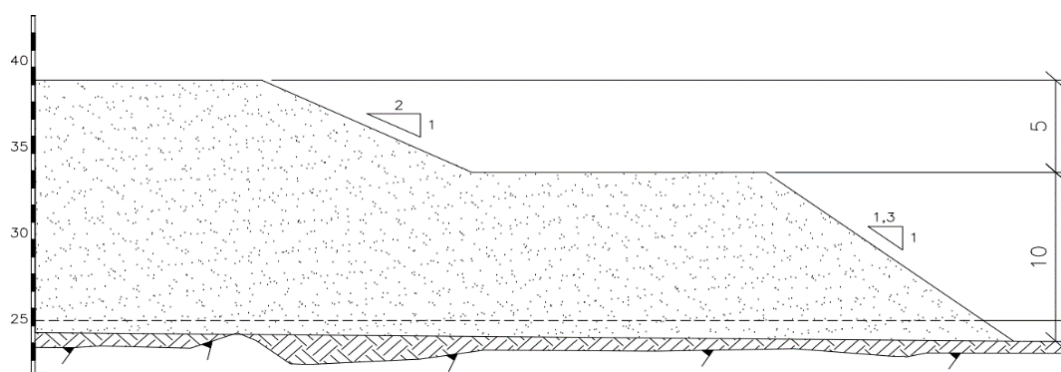


Figura 132 – Geometria da seção A-A' no momento da coleta das amostras em junho de 2016.

Para a segunda etapa dos estudos de estabilidade, foram realizadas as análises das seções B-B' e C-C', de acordo com as cotas e declividades dos taludes constantes no projeto elaborado para o empreendimento para o término do preenchimento do maciço de rejeitos, conforme mostrado em Figura 133, Figura 134 e Figura 135.

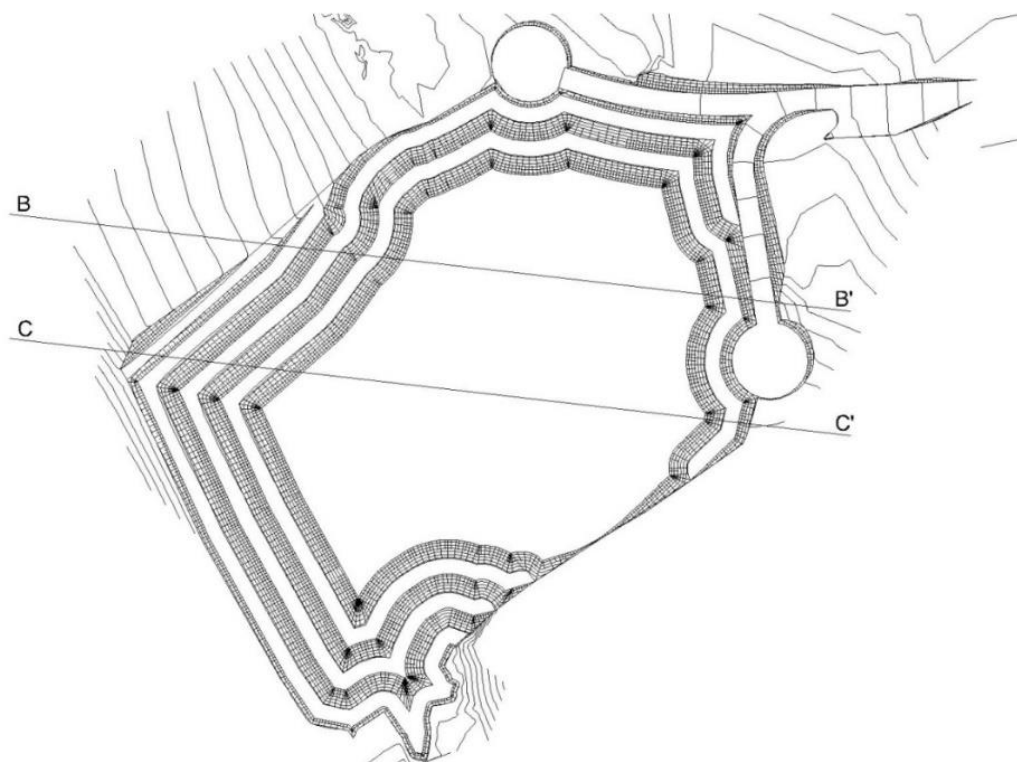


Figura 133 – Vista superior do maciço de rejeitos, quando finalizado, com detalhe das seções B-B' e C-C'.

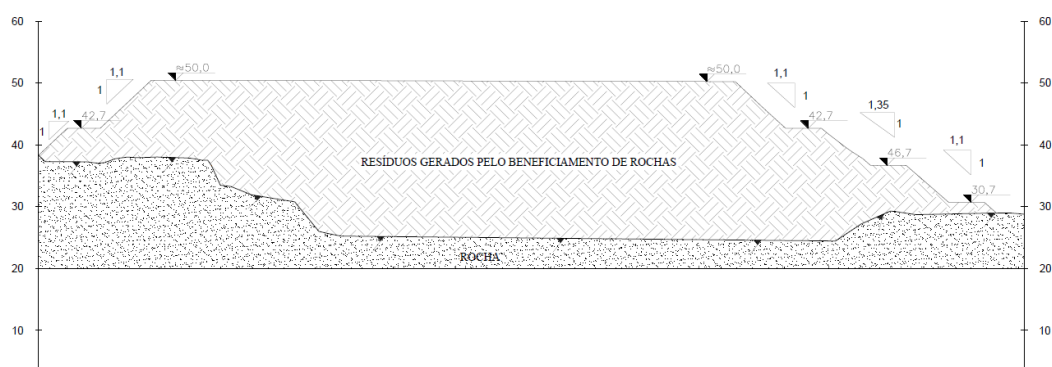


Figura 134 – Geometria da seção B-B' do projeto do maciço de rejeitos, quando finalizado.

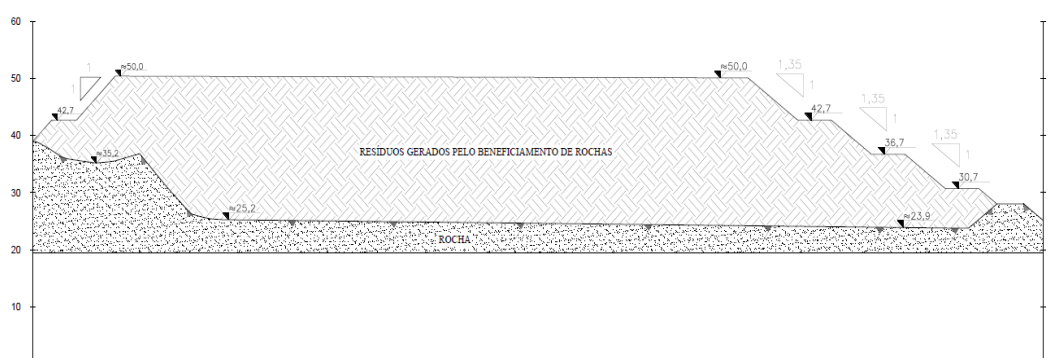


Figura 135 – Geometria da seção C-C' do projeto do maciço de rejeitos, quando finalizado.

Para essa segunda etapa da análise da estabilidade dos taludes, ou seja, para a situação final quando houver o preenchimento total do maciço de rejeitos, utilizando-se o programa SLOPE/W, foi considerada a implantação de uma barreira mineral de 0,5 m de espessura para cobertura com solo compactado, para a qual foi adotada uma sobrecarga mínima de 20 kN/m³, de acordo com a norma NBR 11682 da ABNT (2009).

Ressalta-se que, no presente estudo de estabilidade, foi considerada a implantação de barreira mineral para a cobertura do maciço de rejeitos utilizando-se solo compactado, e não a própria camada da lama do beneficiamento de granitos compactada, visto que, nas datas de realização desses estudos, ainda não haviam sido concluídos os estudos, que também fazem parte dessa tese, referentes ao uso desse resíduo como barreira mineral.

Para a escolha do fator de segurança a ser considerado como mínimo nas análises de estabilidade realizadas para os taludes do maciço de rejeitos nas duas situações de estudos propostas, foi utilizado o método de determinação preconizado

pela norma NBR nº 11.682 da ABNT (2009). Classificaram-se então os níveis de segurança necessários contra perdas de vidas e contra danos materiais e ambientais, de acordo com as Tabela 29 e Tabela 30, respectivamente, da citada norma técnica.

Tabela 29 – Nível de segurança desejado contra a perda de vidas. Fonte: Norma NBR 11682 da ABNT (2009).

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego intenso.
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego moderado.
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas. Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido.

Tabela 30 – Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais. Fonte: Norma NBR 11682 da ABNT (2009).

Nível de Segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social, patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos.
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados.
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido. Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos.

Para a situação de implantação dessa área monitorada, os critérios de segurança avaliados foram:

Contra a perda de vidas: trata-se de uma área com movimentação e permanência eventual de pessoas e com ausência de ferrovias e de tráfego de veículos próximos, resultando assim em um nível de segurança desejado determinado como BAIXO;

Contra danos materiais e ambientais: Pode-se caracterizar como risco material baixo, tendo em vista que em seu entorno não existem propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial. Em relação aos danos ambientais, foi caracterizado como alto, por ser tratar de uma obra de contenção de resíduos e, em eventual colapso, poderia acarretar a contaminação do solo e da água. Considerando-se esses dois fatores e levando-se em consideração o pior cenário, resultou em um nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais determinado como ALTO.

Após determinados os níveis de segurança necessários para cada risco, utilizou-se a Tabela 31, obtida da norma NBR nº 11.682 da ABNT (2009), para determinar o Fator de Segurança mínimo para o deslizamento.

Tabela 31 – Fatores de segurança mínimos para deslizamento. Fonte: Norma NBR 11682 da ABNT (2009).

Nível de segurança contra danos materiais e ambientais	Nível de segurança contra danos a vidas humanas		
	Alto	Médio	Baixo
Alto	1,5	1,5	1,4
Médio	1,5	1,4	1,3
Baixo	1,4	1,3	1,2

Com a Tabela 31 e os níveis de segurança desejados, definidos como BAIXO contra a perda de vidas e como ALTO contra danos materiais e ambientais, obteve-se o valor para o fator de segurança mínimo a ser adotado neste trabalho de 1,4.

Utilizando-se o programa SLOPE/W e adotando o método de equilíbrio limite pelo procedimento proposto por Morgenstern and Price (1965), as análises de estabilidade realizadas consideraram o maciço sendo composto por cinco diferentes camadas de rejeitos sobrepostas, tendo-se em vista os diferentes resultados encontrados para os parâmetros geotécnicos das cinco amostras coletadas em diferentes profundidades. Portanto, cada uma das cinco camadas de rejeitos que formam o maciço foi considerada homogênea em toda a sua altura e com os seus respectivos parâmetros geotécnicos, os quais foram exportados para o programa SLOPE/W.

A Tabela 32 apresenta o resumo dos resultados dos parâmetros geotécnicos obtidos para cada uma das cinco amostras da lama do beneficiamento de granitos pesquisada e exportados para o programa de análises de estabilidade escolhido.

Tabela 32 – Resumo dos resultados dos parâmetros geotécnicos obtidos para as cinco amostras da lama do beneficiamento de granitos.

Parâmetros	AM 1	AM 2	AM 3	AM 4	AM 5
γ (KN/m ³)	17,3	18,1	18,1	19,4	18,33
c (KPa)	16,33	1,43	12,93	1,66	23,58
ϕ (°)	32,17	34,81	35,56	31,56	31,81

Nota: Amostras coletadas nas seguintes cotas de terreno do maciço de rejeitos: AM 01 – 15,15 m

AM 02 – 11,25 m

AM 03 – 9,80 m

AM 04 – 7,35 m

AM 05 - 4,80 m

Nas seções analisadas, as cores utilizadas nas figuras seguintes e o tipo de material correspondente são mostrados na Figura 136.

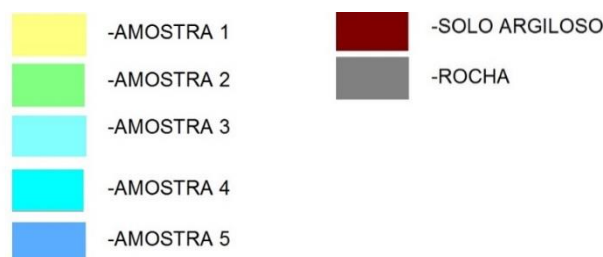


Figura 136 – Legenda das cores adotadas para os materiais que forma o maciço de rejeitos nas seções analisadas.

Na primeira etapa das análises de estabilidade, que corresponde à situação de preenchimento do maciço de rejeitos na data da coleta das amostras de lama do beneficiamento de granitos, junho de 2016, foi definida uma seção longitudinal, denominada de Seção A-A, apresentada na Figura 137.



Figura 137 – Vista da seção A-A' do maciço de rejeitos no momento da coleta das amostras em junho de 2016.

A Figura 138 mostra a geometria da seção A-A', correspondente às cotas do preenchimento do maciço de rejeitos em junho de 2016.

Para a seção A-A', o menor valor para o Fator de Segurança determinado pelo método de Morgenstern-Price foi de 1,463, que ocorreu na região do talude inferior, conforme indicado na Figura 139. No talude superior, o valor encontrado foi de 2,26, conforme indicado na Figura 140.

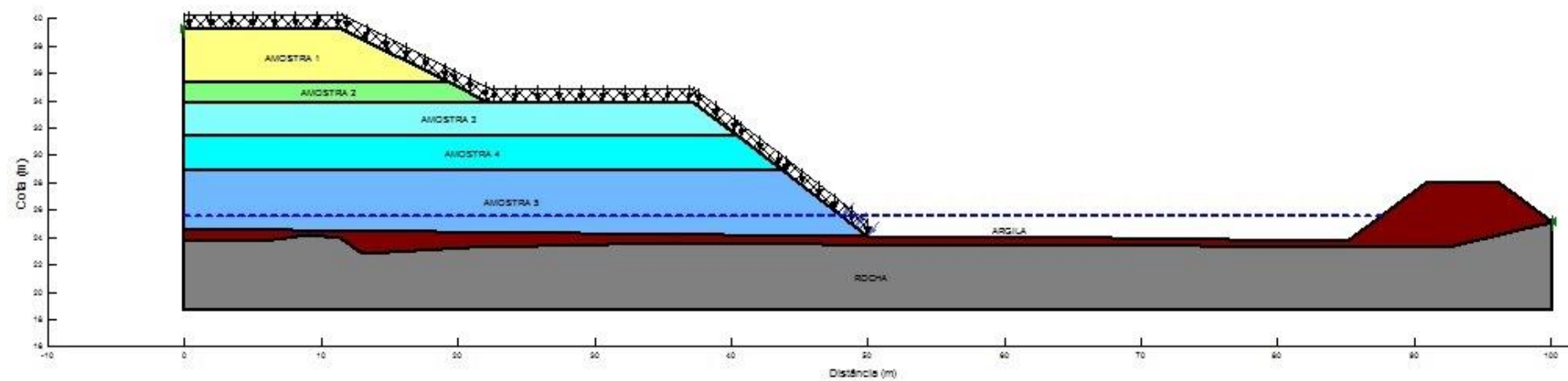


Figura 138 – Geometria da Seção A-A'. Situação das cotas do preenchimento do maciço de rejeitos em junho 2016.

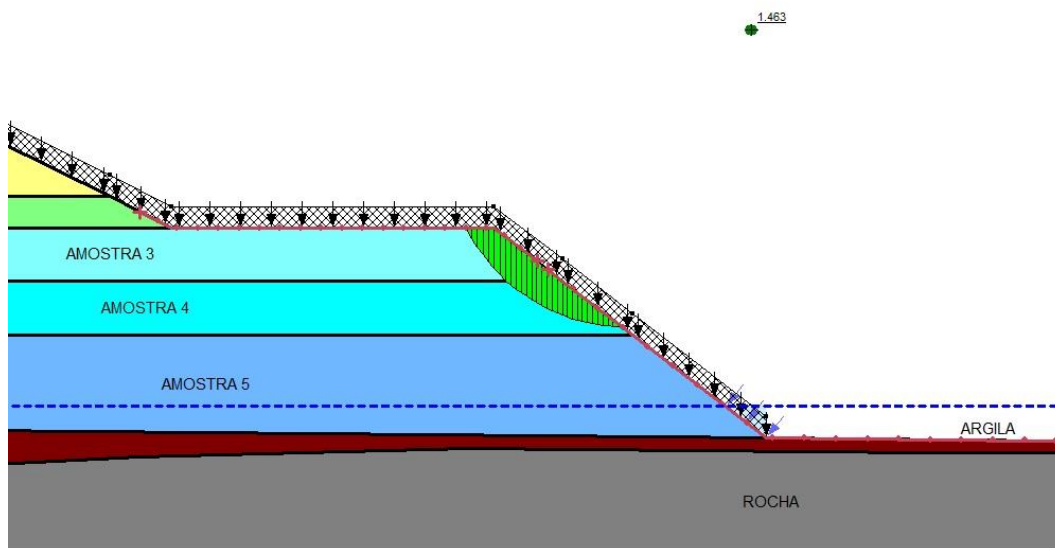


Figura 139 – Seção A-A'. Resultado da análise de estabilidade para o talude inferior, FS = 1,463.

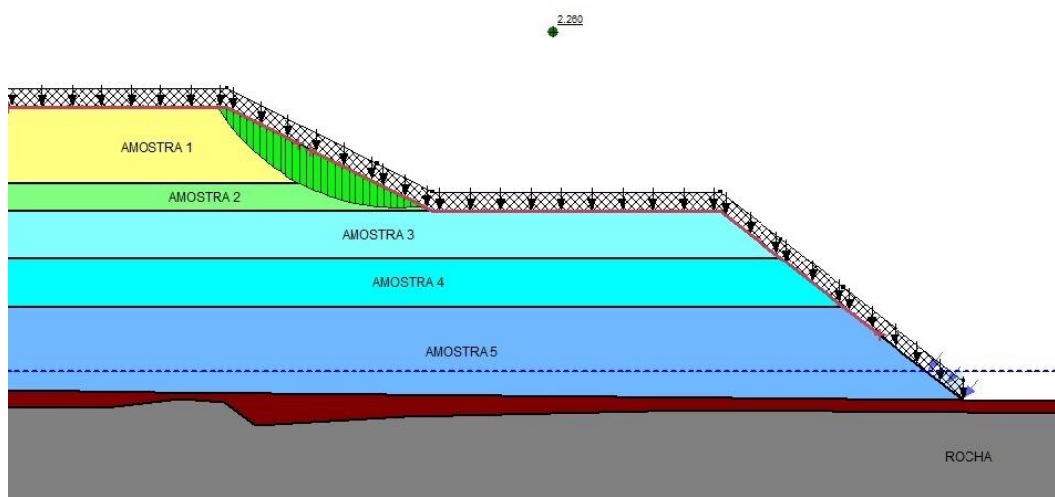


Figura 140 – Seção A-A'. Resultado da análise de estabilidade para o talude superior, FS = 2,26.

A Tabela 33 apresenta os valores encontrados para os Fatores de Segurança determinados pelo método de Morgenstern-Price, para a Seção A-A', seguindo os critérios preconizados pela norma NBR 11682 da ABNT (2009), e os resultados obtidos para as superfícies de ruptura analisadas, as quais atenderam quanto à satisfatoriedade, sendo superiores ao valor mínimo determinado de 1,40.

Tabela 33 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção A-A’.

FS	Talude superior	Situação	Talude inferior	Situação
Morgenstern-Price	2,262	Satisfatória	1,458	Satisfatória

Para a segunda etapa das análises de estabilidade, realizada utilizando-se o mesmo programa SLOPE/W e o mesmo método de equilíbrio limite aplicando o procedimento proposto por Morgenstern and Price (1965), foram consideradas também as cinco diferentes camadas de rejeitos sobrepostas, com os seus respectivos valores dos parâmetros geotécnicos encontrados.

Foi ainda considerada, para essa segunda etapa das análises de estabilidade dos taludes, a implantação de uma barreira mineral de 0,5 m de espessura de cobertura utilizando-se solo compactado, referente à camada final superior do maciço de resíduos, para a qual foi adotada uma sobrecarga mínima de 20 kN/m³, de acordo com a norma NBR 11682 da ABNT (2009). Como parâmetros para esse solo, foram considerados o peso específico (γ) de 17 kN/m³, a coesão (c) de 30 KPa e ângulo de resistência ao cisalhamento (ϕ) de 18°.

Assim como citado na etapa dos estudos de estabilidade do maciço para a condição de preenchimento em junho de 2016, também foi utilizada para essa segunda etapa dos estudos a implantação de barreira mineral para a cobertura do maciço de rejeitos utilizando-se solo compactado, tendo em vista que os estudos, que também fazem parte desta tese, referentes ao uso da lama do beneficiamento de granitos como barreira mineral, ainda não havia sido concluído.

Foram definidas duas seções longitudinais para a situação futura do maciço de rejeitos, quando totalmente preenchido, segundo o projeto elaborado para o empreendimento, denominadas de Seção B-B’ e C-C’, apresentadas na Figura 141.

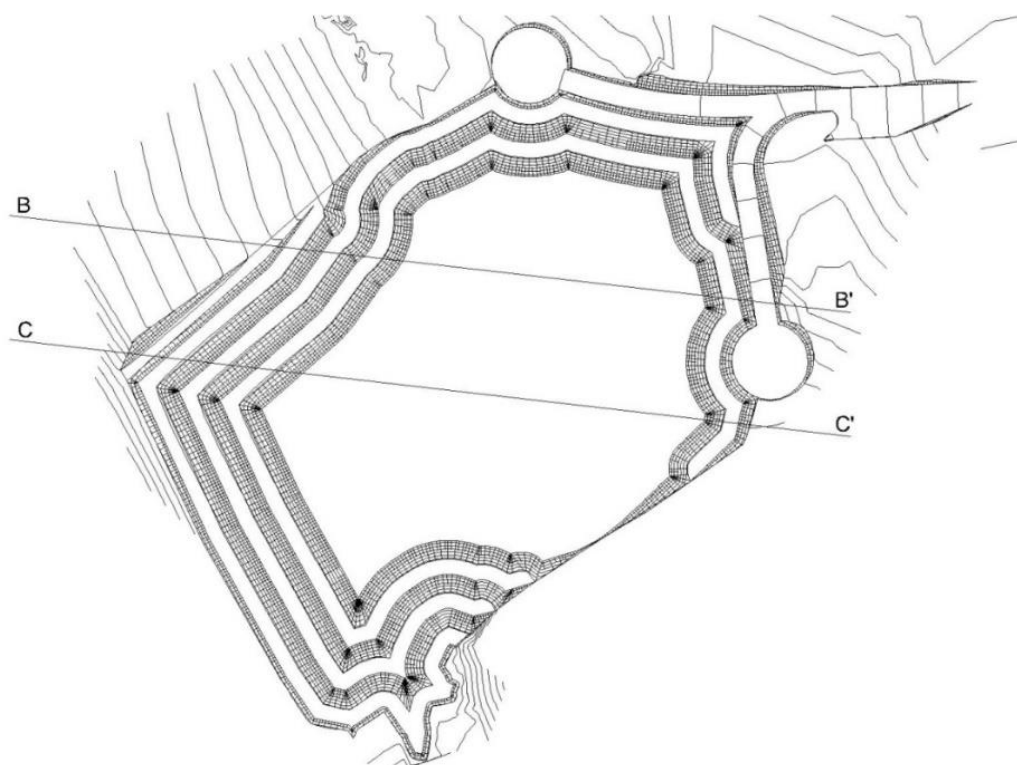


Figura 141 – Vista superior do maciço de rejeitos, quando finalizado, segundo projeto elaborado para o empreendimento, com detalhe das seções B-B' e C-C'.

A análise à direita da seção B-B' identificou que o menor Fator de Segurança foi de 1,351 e ocorre no talude inferior (Figura 143). No talude intermediário, o Fator de Segurança determinado foi de 1,567 (Figura 144) e no superior foi de 1,427 (Figura 145).

A análise à esquerda da seção B-B' determinou que o menor Fator de Segurança foi de 1,608 e ocorre no talude inferior (Figura 146). No talude superior o Fator de Segurança determinado foi de 1,629 (Figura 147).

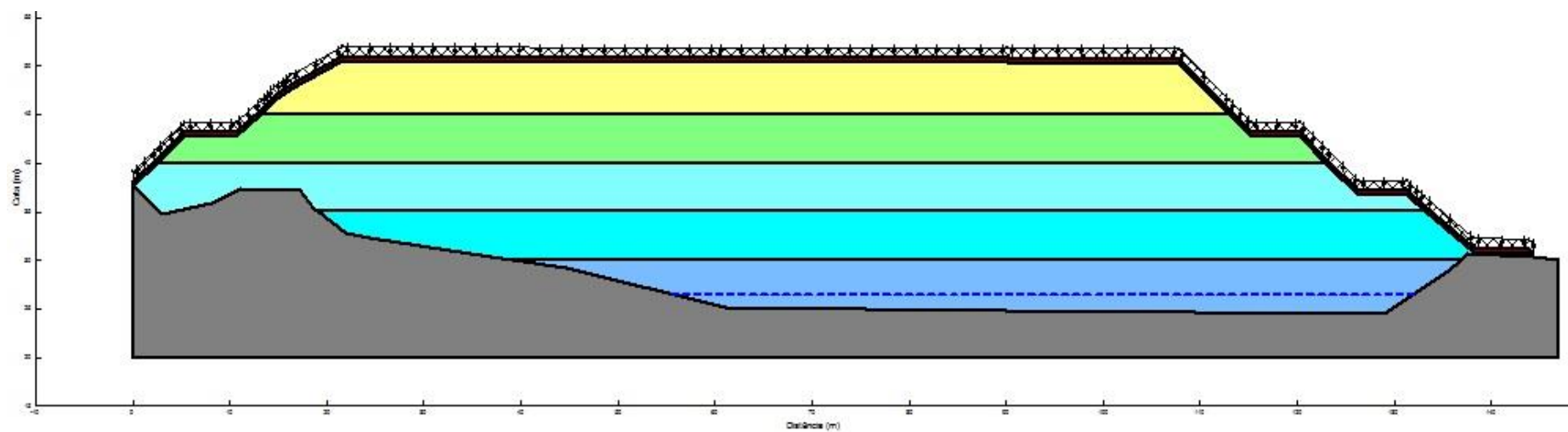


Figura 142 – Seção B-B'. Situação futura do maciço de rejeitos, quando totalmente preenchido, segundo projeto elaborado para o empreendimento.

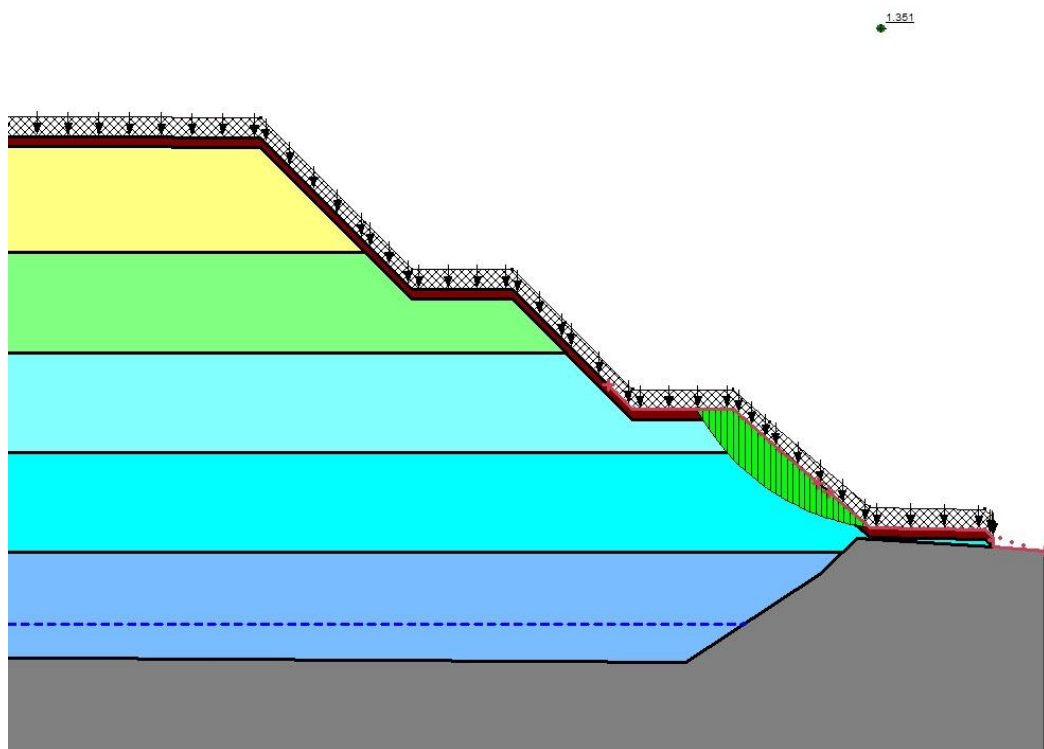


Figura 143 – Seção B-B', lado direito. Resultado da análise de estabilidade para o talude inferior, $FS = 1,351$.

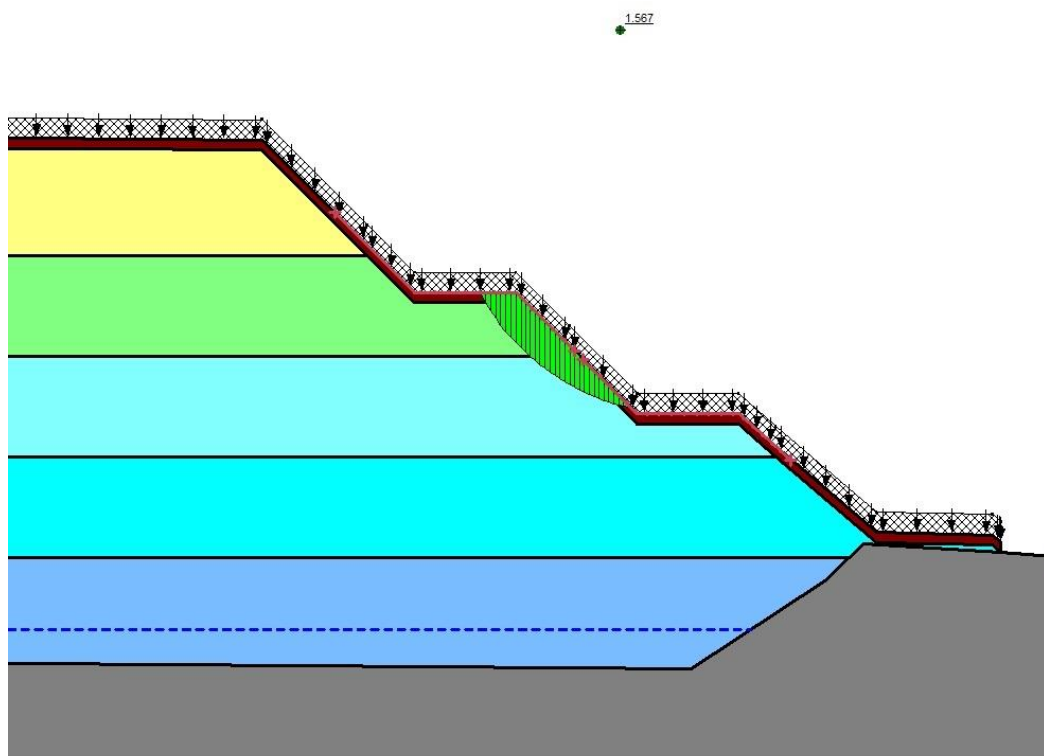


Figura 144 – Seção B-B', lado direito. Resultado da análise de estabilidade para o talude intermediário, $FS = 1,567$.

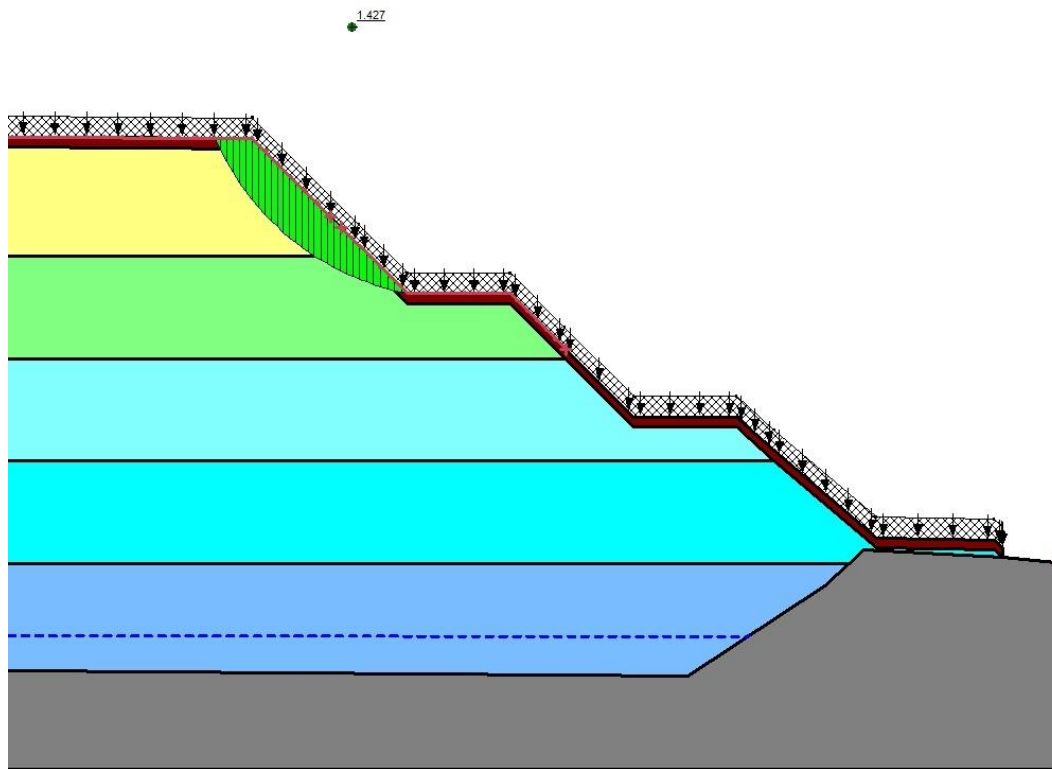


Figura 145 – Seção B-B', lado direito. Resultado da análise de estabilidade para o talude superior, $FS = 1,427$.

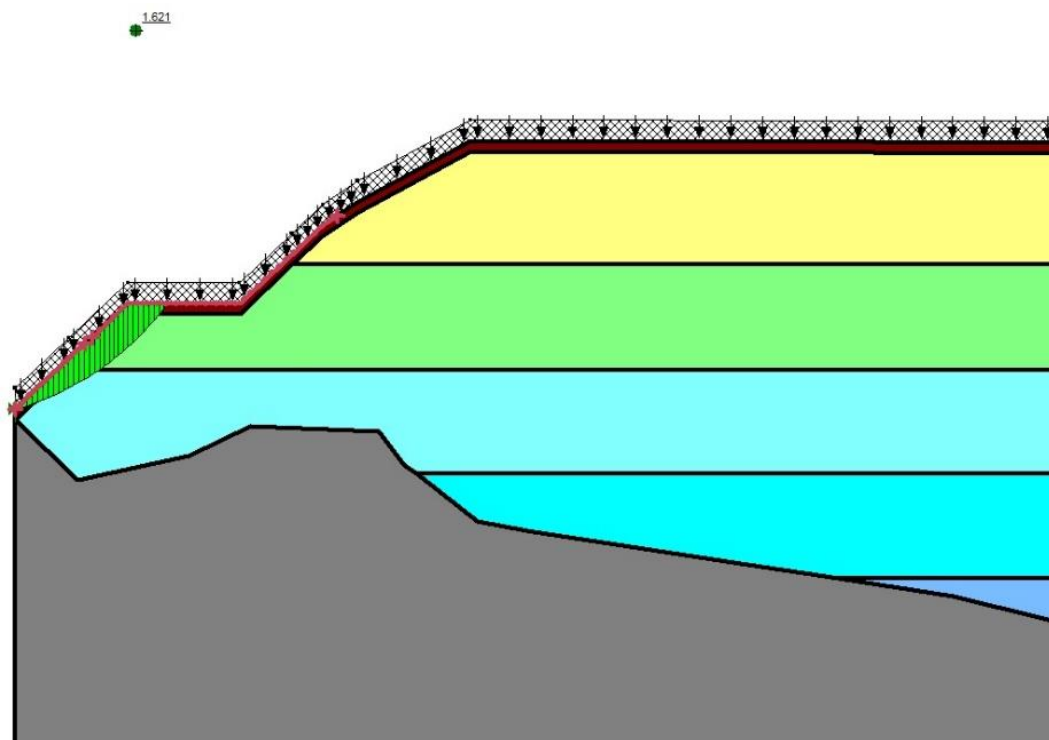


Figura 146 – Seção B-B', lado esquerdo. Resultado da análise de estabilidade para o talude inferior, $FS = 1,608$.

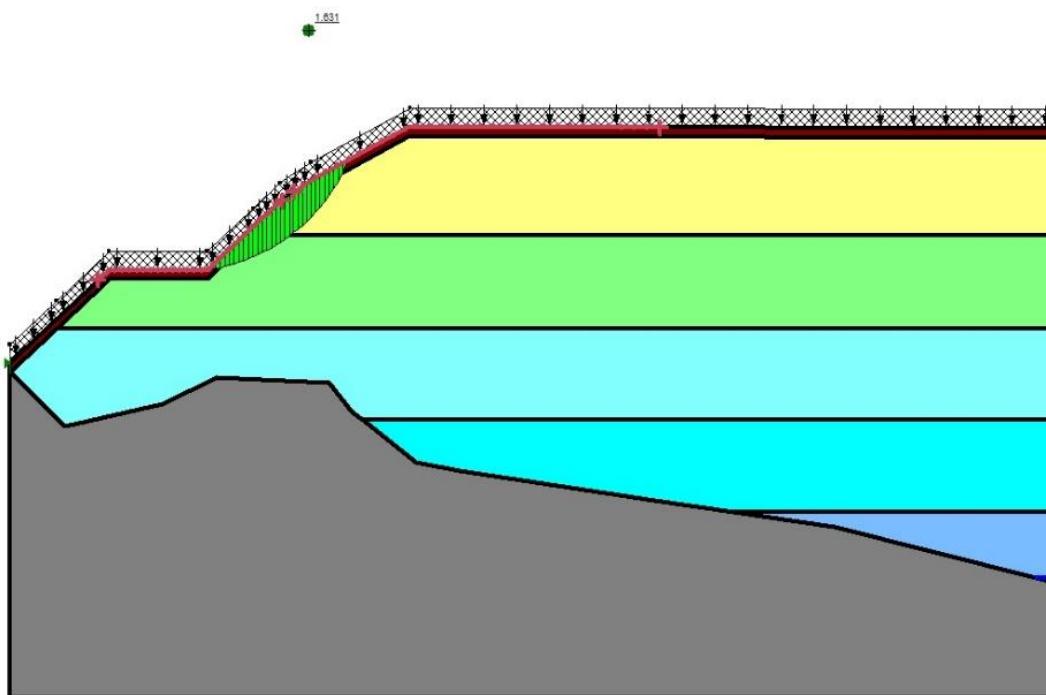


Figura 147 – Seção B-B', lado esquerdo. Resultado da análise de estabilidade para o talude superior, FS = 1,629.

As análises referentes à estabilidade dos taludes com as declividades do projeto elaborado para o empreendimento quando finalizado para o lado direito da seção B-B', demonstram que o talude inferior do lado direito apresenta situação insatisfatória com valor do Fator de Segurança inferior a 1,4, de acordo com os critérios estabelecidos pela norma NBR 11682 da ABNT (2009) (Tabela 34).

Tabela 34 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção B-B', lado direito.

FS	Talude superior	Situação	Talude intermediário	Situação	Talude inferior	Situação
Morgenstern-Price	1,425	Satisfatória	1,554	Satisfatória	1,345	Insatisfatória

Em relação aos dois taludes projetados para o lado esquerdo da Seção B-B', os valores dos Fatores de Segurança atendem a situação de satisfatoriedade quanto à estabilidade desses taludes (Tabela 35).

Tabela 35 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção B-B', lado esquerdo.

FS	Talude superior	Situação	Talude inferior	Situação
Morgenstern-Price	1,629	Satisfatória	1,608	Satisfatória

A análise à direita da seção C-C', utilizando o programa SLOPE/W pelo método de equilíbrio limite de acordo com o procedimento proposto por Morgenstern and Price (1965), determinou que o menor Fator de Segurança foi de 1,503 e ocorre no segundo talude, de baixo para cima (Figura 148). No primeiro talude, o Fator de Segurança determinado foi de 2,409 (Figura 149), no terceiro talude foi de 1,810 (Figura 150) e no quarto talude de 1,682 (Figura 151).

A análise à esquerda da seção C-C' determinou que o menor Fator de Segurança foi de 1,429 e ocorre no talude superior (Figura 152). No talude inferior, o Fator de Segurança determinado foi de 2,139 (Figura 153).

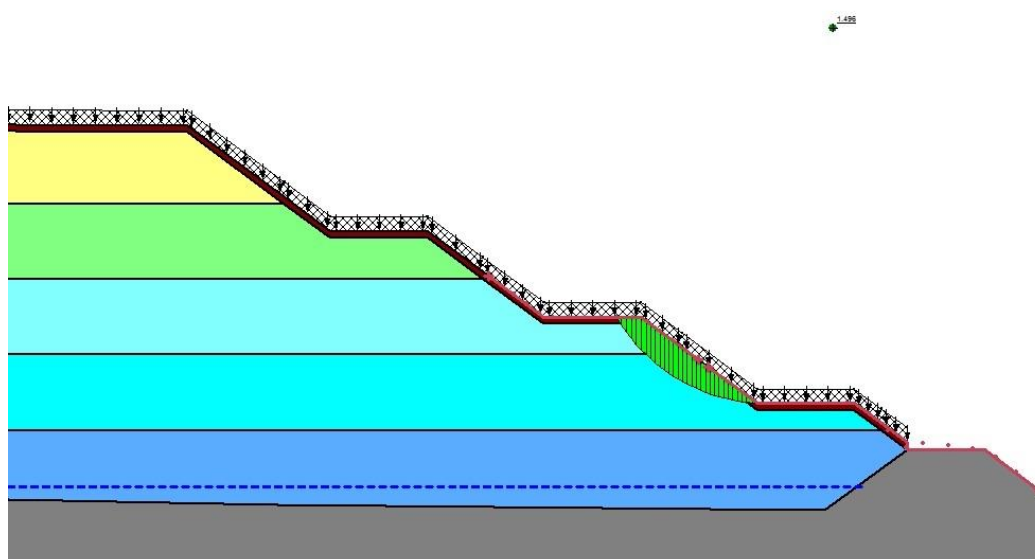


Figura 148 – Seção C-C', lado direito. Análise de estabilidade para o segundo talude contado de baixo para cima, FS = 1,503.

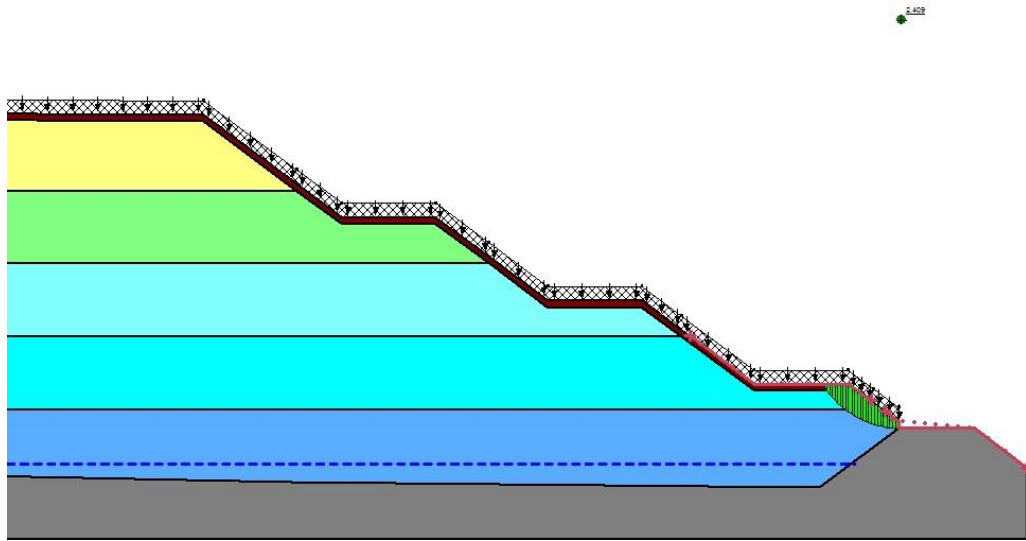


Figura 149 – Seção C-C', lado direito. Análise de estabilidade para o primeiro talude, FS = 2,409.

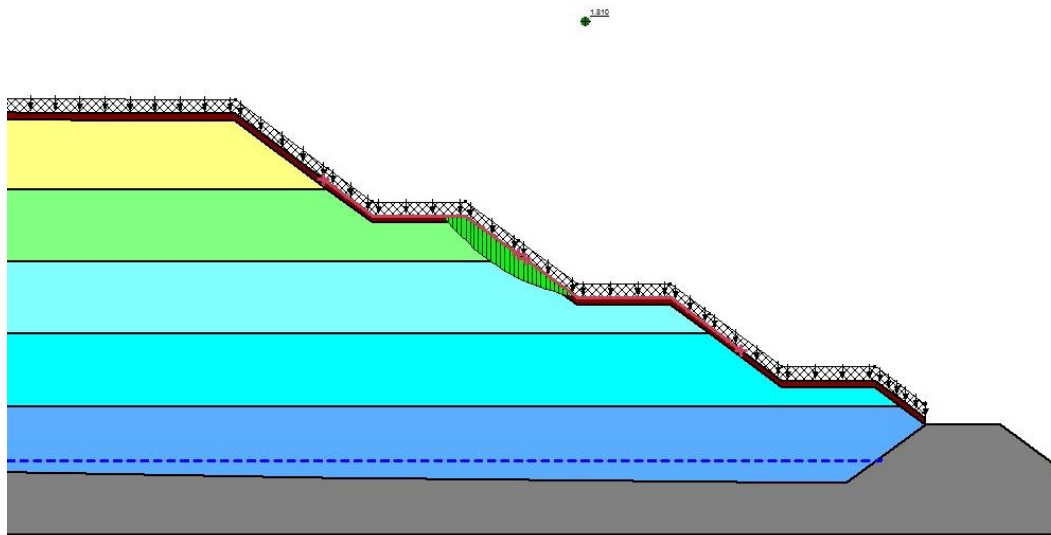


Figura 150 – Seção C-C', lado direito. Análise de estabilidade para o terceiro talude contado de baixo para cima, FS = 1,810.

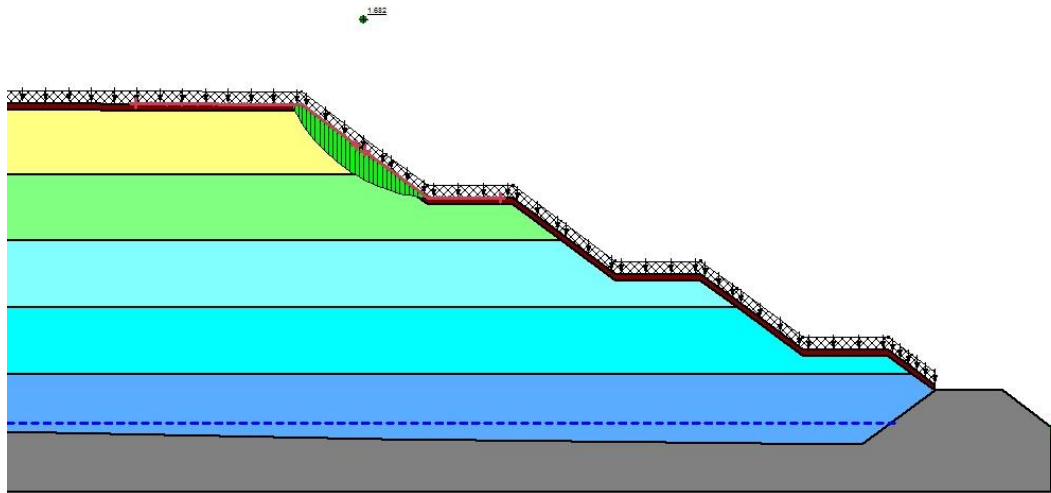


Figura 151 – Seção C-C', lado direito. Análise de estabilidade para o quarto talude contado de baixo para cima, FS = 1,682.

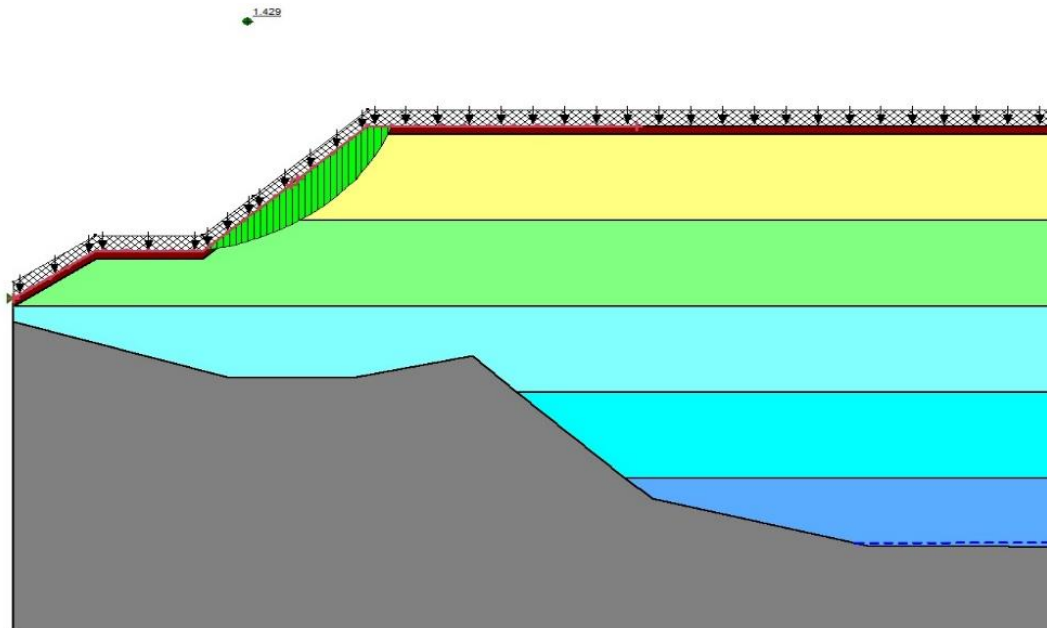


Figura 152 – Seção C-C', lado esquerdo. Análise de estabilidade para o talude superior, FS = 1,429.

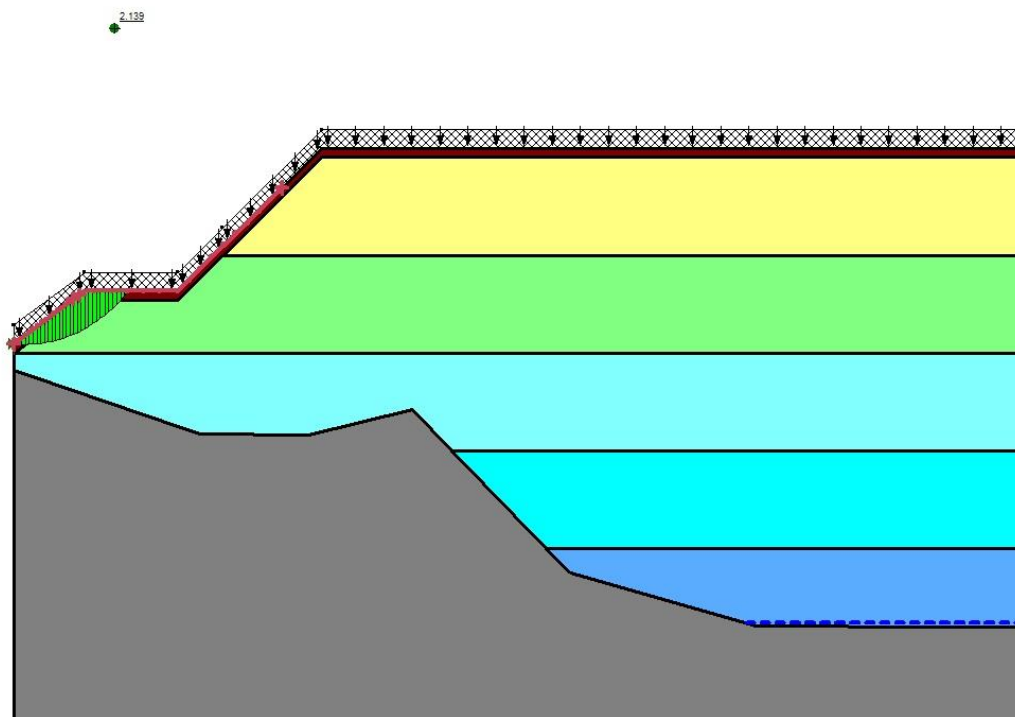


Figura 153 – Seção C-C', lado esquerdo. Análise de estabilidade para o talude inferior, FS = 2,139.

As Tabela 36 e Tabela 37 apresentam os resultados obtidos dos Fatores de Segurança para as diferentes superfícies de ruptura quanto à satisfatoriedade dos lados direito e esquerdo, respectivamente, da Seção C-C'. Verifica-se que os valores encontrados na segunda etapa das análises de estabilidade, quando ocorrer o preenchimento total do maciço de rejeitos de acordo com o projeto elaborado para o empreendimento, apresentam situações satisfatórias, acima do valor mínimo definido de 1,4, de acordo com os critérios estabelecidos pela norma NBR 11682 da ABNT (2009).

Tabela 36 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção C-C', lado direito.

FS	1º Talude Situação	2º Talude Situação	3º Talude Satisfação	4º Talude Satisfação
Morgenstern-Price	2,398 Satisfat.	1,496 Satisfat.	1,795 Satisfat.	1,679 Satisfat.

Tabela 37 – Fatores de Segurança obtidos nas análises de estabilidade para a Seção C-C', lado esquerdo.

FS	Talude superior	Situação	Talude inferior	Situação
Morgenstern-Price	2,129	Satisfatória	1,427	Satisfatória

Com os resultados obtidos nos monitoramentos realizados no maciço de resíduos de rochas ornamentais em questão, pode-se constatar, ao longo do desenvolvimento do trabalho, a importância de se obter resultados de laboratório da caracterização do resíduo e dos parâmetros de resistência para amostras coletadas in loco, possibilitam assim a realização de análises de estabilidades de taludes que realmente representam a situação estudada. Ainda, os resultados obtidos nesse estudo para os parâmetros de resistência da lama do beneficiamento de rochas ornamentais certamente contribuirão para a elaboração de projetos para esse tipo de aterro industrial com maior confiabilidade e para a realização de futuras pesquisas científicas relacionadas à área.

7. Conclusões

Os estudos demonstraram que na etapa do processo da exploração de blocos dimensionados de granitos nas três empresas pesquisadas na região norte do estado do Espírito Santo, são encaminhados em volume de 11% a 33% da matéria-prima explorada das jazidas para a produção de chapas para a comercialização. Por conseguinte, verificou-se que de 67% a 89% do volume das rochas existentes originariamente nessas pedreiras se tornam os chamados rejeitos da exploração, exigindo, assim, destinos dispendiosos para os empreendedores do setor, tornando-se passivos ambientais para a maioria das empresas.

Na etapa do beneficiamento, os estudos realizados ao longo do estado do Espírito Santo para a obtenção de dados de indústrias que realizam essa etapa do processo produtivo demonstraram que o bloco dimensionado explorado gera aproximadamente 42% do seu volume nos chamados rejeitos do beneficiamento, sendo cerca de 8% na forma de casqueiros de rocha e 34% na forma de lama abrasiva descartada.

Assim, considerando-se as etapas da exploração e do beneficiamento nas empresas pesquisadas para a produção de chapas de granitos dimensionadas para a comercialização, a geração total dos chamados rejeitos foi obtida na faixa de 73 e 94% e o aproveitamento total da jazida de 6 a 27%.

Esses valores de rejeitos gerados resultam ainda maiores do que aqueles citados por Singh (2016), 65%, Silva (2016), 75%, Rocha (2106), 75 a 85%, e Souza (2007), 80%, para os resíduos/rejeitos gerados na produção de rochas ornamentais.

Em relação à caracterização dos casqueiros para os três tipos de granitos estudados, amarelo, cinza andorinha e verde pavão, quando comparados aos valores limites estabelecidos pela norma NBR 5564 da ABNT (2011) – Via Férrea. Lastro Padrão, os ensaios laboratoriais realizados para forma dos grãos, porosidade aparente, resistência à intempérie e abrasão Los Angeles demonstraram que nenhum dos três tipos de granitos possuem características favoráveis para esse uso. Para os ensaios referentes à resistência à compressão simples, realizados de acordo com o Anexo D da citada norma, verificou-se que os valores obtidos para os três tipos de granitos atenderam ao valor mínimo estabelecido de 100 MPa, resultando

em 99,8, 101,60 e 107,90MP, respectivamente, para os granitos amarelo, cinza andorinha e verde pavão.

Comparando-se os valores obtidos da relação entre as resistências à compressão simples, segundo a norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011), e à carga puntiforme (C_o), segundo a (ISRM (1985), com os valores recomendados por essa norma de 20 a 25 vezes para rochas isotrópicas, observou-se o valor de 22 vezes para o granito cinza andorinha. Para os granitos amarelo e verde pavão, o fator de proporcionalidade resultou em cerca 30 e 31 vezes, respectivamente, o que, segundo essa referência, pode acontecer, quando as amostras das rochas apresentam características anisotrópicas.

Relativo aos resultados obtidos nos ensaios exigidos pelas normas NBR 7211 da ABNT (2009) – Agregados Graúdos para Concreto e DNER - ES 316 (1997) – Pavimentação. Base de Macadame Hidráulico, para a verificação da viabilidade dos casqueiros estudados para esses usos, conclui-se que os granitos cinza andorinha e verde pavão possuem características consonantes com aquelas estabelecidas nas normativas técnicas. Todavia, vale ressaltar que os resultados obtidos nos ensaios de abrasão Los Angeles para esses granitos estão próximos aos limites máximos estabelecidos e que, no caso do concreto, por exemplo, ser utilizado para outros usos específicos, deve-se realizar os demais ensaios sugeridos pela norma NBR 7211 da ABNT (2009), que são materiais carbonosos, reatividade álcali-agregado, teor de cloretos, teor de sulfatos solúveis e demais ensaios especiais.

Para o uso como base rodoviária, segundo a norma DNIT 141 (2010), verificou-se que os casqueiros dos granitos cinza andorinha e verde pavão atendem aos limites mínimos estabelecidos por essa normativa, com exceção para o índice de Forma dos Grãos (% lamelar). Porém, é preciso ressaltar que, seja a granulometria ou a forma dos grãos exigidas para qualificação dos materiais estão vinculadas ao tipo e ao porte do britador utilizado para o processo de britagem, sendo possível se obter os valores dos limites mínimos estabelecidos pelas normativas técnicas para cada finalidade desejada, desde que utilizados britadores com dimensões adequadas.

Nos ensaios realizados na amostra da lama desaguada do beneficiamento de granitos, proveniente do desdobramento de blocos por meio de teares multifios diamantados, para uso como barreira mineral na construção de camadas de fundo e de cobertura de aterros industriais e sanitários e em obras civis, resultou, da análise granulométrica, que a fração fina é a de maior percentual, com cerca de 83% de silte e 13% de argila, de acordo com os resultados citados por Benson e Daniel (1994), para que a condutividade hidráulica seja suficientemente baixa para o uso do material como barreira mineral. Em relação aos ensaios para a obtenção dos limites de consistência, realizados de acordo com as normas NBR 6459 e NBR 7180 da ABNT (2016), não foi possível se obter os limites de plasticidade e de liquidez da amostra, constatando-se que o material é não plástico, sendo os mesmos resultados encontrados por Dino et al. (2103). Segundo o Sistema Unificado de Classificação de Solos (ASTM D2487, 2017), resultou como um material classificado como ML, silte arenoso inorgânico e de baixa plasticidade e com o valor para massa específica real dos grãos de 2,64 Mg/m³.

Em relação ao atendimento dos limites estabelecidos para o uso como barreira mineral, seguindo a metodologia tradicional proposta por Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989) complementada por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993), os resultados encontrados demonstraram a viabilidade do seu uso. Pela zona admissível final ou modificada obtida, considerando-se os limites estabelecidos para a condutividade hidráulica mínima 1×10^{-8} m/s, abaixo daquele preconizado pela norma NBR 13.896 da ABNT (1997) - Aterros de resíduos não perigosos. Critérios para projeto, implantação e operação de 5×10^{-7} m/s, para a contração volumétrica máxima de 4% e para a resistência à compressão simples mínima de 200 KPa, conforme recomendados por Daniel e Wu (1993), observou-se que as faixas para a utilização da lama do beneficiamento pesquisada como barreira mineral foram para a umidade ótima variando de 24,4% a 25% e o peso específico seco de 15,3 a 16,0 KN/m³. Observou-se também que esses resultados foram obtidos para a curva de compactação realizada na energia Proctor modificado e no seu ramo úmido.

Depreende-se também que a metodologia das zonas admissíveis proposta Mundell e Bailey (1985) e Boutwell e Hedges (1989) complementada por Benson e Daniel (1990) e Daniel e Wu (1993), para obtenção de valores de peso específico

seco e umidade, influenciados pelos parâmetros condutividade hidráulica, resistência à compressão simples e contração, é eficaz no alcance dos resultados pretendidos, prática na aferição dos parâmetros propostos em campo e versátil para a identificação da aplicabilidade de diversos materiais com vistas à construção de barreiras minerais de aterros industriais e sanitários e obras da construção civil.

Nas cinco amostras indeformadas de lamas do beneficiamento de granitos, coletadas em cinco diferentes profundidades do maciço de rejeitos em formação na área monitorada de implantação de processo de recuperação ambiental, as distribuições granulométricas obtidas, segundo os procedimentos preconizados pela norma NBR 7181 da ABNT (1984) – Solo. Análise Granulométrica, também resultaram em materiais classificados pelo Sistema Unificado de Classificação de Solos (ASTM D2487, 2017) como ML, silte arenoso inorgânico e de baixa plasticidade e com valores para o parâmetro massa específica real variando de 2,69 a 2,80 Mg/m³.

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, realizados de acordo com os procedimentos preconizados pela norma americana ASTM D3080, nessas cinco amostras indeformadas coletadas nas profundidades de 10,35, 7,80, 5,35, 3,90m e na superfície do maciço de rejeitos, sendo adotada, para todas as amostras, a velocidade de deformação de 0,036 mm/min e aplicadas tensões normais de valores aproximados 100, 200 e 300 KPa, demonstraram, para os parâmetros coesão e ângulo de resistência ao cisalhamento, os valores de 23,58, 1,66, 12,93, 1,43 e 16,33 KPa e de 31,81, 31,56, 35,56, 34,81 e 32,17°, respectivamente. Os resultados indicaram valores baixos para o parâmetro coesão das amostras a 7,80m e 3,90m de profundidade, o que também deveria ocorrer para as demais amostras, visto que são resíduos dispostos na célula do aterro industrial na forma normalmente adensada, provenientes de rochas graníticas moídas e que foram classificados como materiais não plásticos em suas análises granulométricas realizadas. Provavelmente, o uso da cal (CaO) nos teares convencionais pode ter influenciado nos valores elevados para a coesão obtidos em três das amostras pesquisadas. Para o parâmetro ângulo de resistência ao cisalhamento, os resultados indicaram que as diferenças nas profundidades das coletas das amostras não causaram alterações consideráveis nos valores obtidos.

Os valores encontrados para o teor de umidade higroscópica (com os resíduos secos ao ar) das cinco amostras das lamas do beneficiamento de granitos pesquisadas demonstraram que se trata de resíduo com elevada capacidade de desidratação natural, quando exposto ao tempo e a condições climáticas favoráveis, variando de 0,37% a 0,44%, relativamente baixos, quando comparados aos teores de umidade (próximo de 30%) de chegada desses resíduos, provenientes de processo mecânico de desaguamento (filtro prensa), na célula de disposição final do aterro industrial para o qual foram destinadas.

Em relação aos valores do parâmetro condutividade hidráulica, obtidos segundo a norma D 5084 da ASTM (2016), para 15 corpos de prova da amostra única da lama do beneficiamento de granitos pesquisada para uso como barreira mineral, moldados a partir dos resultados obtidos em ensaios de compactação, sendo 5 para cada energia, Proctor Normal, Intermediário e Modificado determinados, de acordo com a norma NBR 7182 da ABNT (1986) – Solo. Ensaio de Compactação, resultaram, em sua grande maioria, na faixa de grandeza de 1×10^{-8} m/s, sendo o valor mais alto de 9×10^{-9} m/s, obtido na curva de compactação do Proctor modificado para o teor de umidade de 24,40%, obtido no seu ramo úmido.

A condutividade hidráulica da camada superficial do aterro de resíduos monitorada, constituída de lama do beneficiamento de granitos, foi determinada por meio de ensaio de permeabilidade em campo, utilizando-se permeâmetro do tipo Guelph aplicando o método de carga hidráulica constante, e pesquisada com objetivo de se verificar a maior ou menor facilidade de percolação da água por meio dos seus poros e assim contribuir na formação de lençol no interior do maciço e em consequente instabilidade dos taludes de rejeitos formados. Verificou-se que, decorrido o período de tempo padronizado para o ensaio, não ocorreu o rebaixamento do nível da água no poço de sondagem escavado para esse fim e tão pouco do nível do reservatório do permeâmetro, podendo-se afirmar que as camadas superficiais compactadas do maciço de rejeitos apresentam condutividade hidráulica muito reduzida.

Em relação aos ensaios de difração de raios-X realizados para os casqueiros dos granitos amarelo, cinza andorinha e verde pavão pesquisados, os resultados

demonstraram que dentre os minerais encontrados nos três tipos de granitos, quartzo, microclina e albita, o quartzo e a microclina foram encontrados nos três tipos de granitos com diferentes percentuais, sendo a albita encontrada somente no granito verde pavão. Na lama do beneficiamento de granitos, foram encontrados somente os minerais quartzo e a albita.

Os resultados dos ensaios de caracterização química realizados nos casqueiros de granitos triturados na forma de rocha moída, quando comparados com os valores limites estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004) – Resíduos Sólidos. Classificação, classificando-os quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, os casqueiros dos granitos amarelo e cinza andorinha resultaram como resíduos da Classe II A – Não Perigosos e Não Inertes, ressaltando que somente o parâmetro Alumínio Total não foi atendido no Anexo G da citada norma. Para o casqueiro do granito verde pavão, a classificação resultou como resíduo da Classe II B – Não Perigoso e Inerte.

Para a amostra pesquisada da lama do beneficiamento de granitos desdobrado por meio de teares do tipo multifios diamantados, os resultados da caracterização química, quando comparados com os valores limites estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004), classificando-a quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, resultaram como um resíduo da Classe II-A - Não Perigoso e Não Inerte, ressaltando que o único parâmetro que a classificou como Não Inerte, foi o alumínio na concentração de 0,733 mg/L, superior ao valor de 0,200 mg/L estabelecido como limite pela norma.

Em relação às análises de estabilidade realizadas para os taludes do maciço de rejeitos da área em recuperação ambiental monitorada, constituído em sua grande maioria de lama do beneficiamento de granitos, por meio do método de equilíbrio limite com o procedimento proposto por Morgenstern e Price (1965), considerando-se ainda o fator de segurança mínimo determinado pela norma NBR 11.682 da ABNT (2009) – Estabilidade de Taludes, pode-se afirmar que os resultados obtidos atendem à situação de satisfatoriedade quanto à estabilidade desses taludes para o maciço quando finalizado, com exceção de um dos seus taludes, sendo necessário as alterações da sua altura e declividade.

Os resultados obtidos com o presente trabalho, objetivando a transformação do que atualmente é considerado rejeito pelas empresas de rochas ornamentais, não por opção, mas pela ausência de mecanismos dos setores públicos e privados que viabilizem transformá-los em matérias-primas para outras indústrias, vem ao encontro dos conceitos de processos de produção ecoeficientes, como a Economia Circular, a Produção mais Limpa e a Ecologia Industrial.

O estudo de caso monitorado neste trabalho, referente à restauração ecológica de área degradada pela mineração por meio de técnicas aplicadas em aterros industriais para a disposição final de rejeitos da Classe II – Não Perigosos, envolvendo as pesquisas de campo especificamente realizadas para a determinação dos parâmetros físicos, mecânicos, hidráulicos, químicos e geotécnicos dos rejeitos (lama do beneficiamento de granitos) dispostos, comprova a viabilidade técnica da aplicação dos conceitos de processos de produção ecoeficientes no setor de produção de rochas ornamentais.

Considerando-se a escada hierárquica de conceitos proposta por Hamner (1996), na qual são relacionadas terminologias normalmente utilizadas na gestão ambiental em busca do desenvolvimento sustentável, e obtendo-se dados reais para a recuperação de áreas degradadas pela mineração com os seus próprios rejeitos é possível se criar um novo degrau nessa escada. Esse novo degrau se situaria acima dos dois degraus mais inferiores, definidos como “Disposição Final de Rejeitos” e “Controle da Poluição” e abaixo do degrau definido como “Reciclagem”, a ser denominado como “Restauração Ecológica”, onde se proporcionará um fim nobre para esses rejeitos e serão recuperadas áreas degradadas pela mineração.

Destarte, torna-se imprescindível a aplicabilidade de políticas públicas, que visem inserir os resíduos gerados na produção de rochas ornamentais, atualmente considerados como rejeitos, sem valor econômico, como insumos em outros processos produtivos, para assim maximizar a utilização da matéria-prima. Certamente, a implantação dessas políticas, envolvendo obrigatoriamente os três setores da sociedade: produtivo, de consumo e órgãos públicos relacionados, trará ao setor de rochas ornamentais inúmeros proventos, modificando positivamente as estruturas econômicas e demandando inovações tecnológicas, sociais e sistemáticas.

Concluindo, ressalta-se que o sistema de gestão ambiental proposto para os resíduos de rochas ornamentais sob a ótica dos conceitos de processos de produção ecoeficientes, com a sua forma de implantação e pesquisas realizadas neste trabalho, poderá ser aplicado a resíduos e rejeitos similares gerados por outros processos produtivos, como, por exemplo, pelas indústrias siderúrgicas, onde quantidades significativas são geradas por Mg/aço produzido. Os recursos minerais inicialmente existentes nas jazidas, ao serem explorados, serão utilizados ao máximo, os resíduos gerados nas etapas da exploração e do beneficiamento serão transformados em matérias-primas para processos produtivos diversos, os rejeitos possuirão destinação adequada e nobre e áreas degradadas pela mineração serão restauradas ecologicamente, fechando o ciclo em busca do desenvolvimento sustentável para toda a sociedade.

Como recomendações para novas pesquisas a serem realizadas, sugere-se:

- A realização de processos de britagem em casqueiros de granitos, que resultem em granulometrias diferentes daquelas pesquisadas neste trabalho, e que atinjam as dimensões exigidas pelas normativas técnicas, em função dos usos a serem dados às britas produzidas;
- A determinação dos parâmetros geotécnicos precisos para a lama do beneficiamento de granito em amostras indeformadas coletadas em outros maciços existentes desse tipo de rejeito, garantindo-se assim maior confiabilidade para a elaboração de projetos e operação de aterros industriais de rejeitos do beneficiamento de rochas ornamentais, em relação às suas seguranças geotécnica e ambiental;
- A utilização de diferentes percentuais de bentonita a serem adicionados à lama do beneficiamento de granitos, para uso como barreira mineral de camadas de fundo e de cobertura de aterros industriais e sanitários e de obras da construção civil.

8. Referências

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. **Abirochas em notícia** – ABINEWS – Bela Vista – SP. 2015. Disponível em: <http://issuu.com/abirochas/docs/abirochas_em_noticia_1> Acesso em: 07 de abril de 2020.

_____. **Abirochas em notícia**, Brasília, 2016. http://www.abirochas.com.br/rochas_ornamentais_04.php. 2016. Acesso em: Julho de 2016.

_____. **Cenário Mundial**. Brasília, out. 2018a. Disponível em: <http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Panorama/Cenario_Mundial_2017_b.pdf>. Acesso em: 21 dezembro 2018.

_____. **Produção Brasileira De Lavra**. Brasília, out. 2018b. Disponível em: <http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Panorama/Producao_Brasileira_Lavra_b.pdf>. Acesso em: 22 dezembro 2018.

_____. **O Setor Brasileiro de Rochas Ornamentais**. Geólogo Cid Chiodi Filho. 2019. Disponível em: https://www.abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Panorama/Exportacoes_e_Importacoes_Brasileiras_2018.pdf. Acesso em: 12 fevereiro de 2020.

_____. **Balanco das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais em 2019. Informe 01/2020**. 2020. Disponível em: https://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2020/10/Informe-01_2020-Balanco_2019.pdf. Acesso em: 19 de janeiro de 2021.

AGUIAR, M. C. **Utilização de resíduo de serragem de rocha ornamental com tecnologia de fio diamantado em cerâmica vermelha**. 2012. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2012.

AKBULUT, H.; GÜRER, C. Use of aggregates produced from marble quarry waste in asphalt pavements. **Building and Environment**, 42. 2007. pp. 1921-1930.

AMARAL, L.; CARVALHO, J.; SILVA, B.; DELAQUA, G.; MONTEIRO, S.; VIEIRA, C. Development of ceramic paver with ornamental rock waste. **Journal of Materials Research and Technology**. 8. 2019. p. 599–608. <https://doi.org/1.1016/j.jmrt.2018.05.009>.

ANDREAS, L.; DIENER, S.; LAGERKVIST, A. Steel slags in a landfill top cover – Experiences from a full-scale experiment. **Waste Management**. 2014. p.1-11

ARAÚJO, E.R. **Fechamento de Minas no Brasil**: Aspectos legais e consequências sobre o meio ambiente e populações. Série Estudos e Documentos, 91. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC. 2016. 52p.

APHA, AWWA, WEF. **Standart Methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR NM 45**: Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro. 2006.

_____**NBR NM 46**: Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm por lavagem. Rio de Janeiro. 2003.

_____**NBR NM 51**: Agregado graúdo - Ensaio de abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro. 2001.

_____**NBR NM 53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro. 2003.

_____**NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro. 2003.

_____**NBR 5564**: Via Férrea – Lastro Padrão. Rio de Janeiro. 2011.

_____ **NBR 6457:** Amostras de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização. Rio de Janeiro. 2016.

_____ **NBR 6459:** Determinação do Limite de Liquidez do Solo. Rio de Janeiro. 2016.

_____ **NBR 6508:** Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da Massa Específica. Rio de Janeiro. 2016.

_____ **NBR 7180:** Determinação do Limite de Plasticidade e do Cálculo do Índice de Plasticidade do Solo. Rio de Janeiro. 2016.

_____ **NBR 7181:** Solo: Análise Granulométrica. Rio de Janeiro. 2016.

_____ **NBR 7182:** Solo: Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro. 1986.

_____ **NBR 7211:** Agregados graúdos para concreto. Rio de Janeiro. 2009.

_____ **NBR 7218:** Agregados - Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis. Rio de Janeiro. 2010.

_____ **NBR 7389:** Avaliação petrográfica dos agregados. Rio de Janeiro. 1992.

_____ **NBR 7809:** Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro. 2008.

_____ **NBR NM 9917:** Agregado para concreto – Determinação de sais, cloretos e sulfato solúveis. Rio de Janeiro. 2009.

_____ **NBR 10004:** Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro. 2004.

_____ **NBR 10005:** Lixiviação de Resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro. 2004.

_____ **NBR 10006:** Solubilização de Resíduos – Procedimento. Rio de Janeiro. 2004.

_____ **NBR 10007:** Amostragem de Resíduos Sólidos – Procedimento. Rio de Janeiro. 2004.

_____ **NBR 11682:** Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro. 2009.

_____ **NBR 12770:** Solo coesivo - Determinação da resistência à compressão não confinada. Rio de Janeiro. 1992.

_____ **NBR 13030:** Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração. Rio de Janeiro 1999.

_____ **NBR 13896:** Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro. 1997.

_____ **NBR 14545:** Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro. 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 427-04:** Standart Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method (Whithdrawn 2008). ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004. www.astm.org

_____ **ASTM D 698-12:** Standart Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³)). ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org

_____ **ASTM D 1557-12:** Standart Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)). ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org

_____ **ASTM C 123 / C 123 M-14:** Standard Test Method for Lightweight Particles in Aggregate. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org

_____ **ASTM C 1260-14:** Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org

_____ **ASTM D 5084-16a:** Standard Test Methods for Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall

Permeameter. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.
www.astm.org

_____**ASTM D 2487-17:** Standart Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org.

BAI, Shuowei, et al. Methodologies for evaluating sawability of ornamental granite and relation modeling combining sawability with environmental impacts: An application in a stone industrial park of China. **Journal of Cleaner Production**. 2020.

BARRETO NETO, A. A.; MELO, A. M. V. Desenvolvimento de projetos de produtos utilizando resíduos pétreos de rochas ornamentais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.18, n.4, p. 393-398. 2013.

BASU, A. J.; VAN ZYL, D. J. A. Industrial ecology framework for achieving cleaner production in the mining and minerals industry. **Journal of Cleaner Production**. 14. p. 299-304. 2006.

BENSON, H.; DANIEL, E. Influence of Clods on Hydraulic Conductivity of Compacted Clay. **J. of Geotech. Eng.**, 116. p. 1231-1248. 1990.

BENSON, H.; DANIEL, E. Minimum Thickness of Compacted Soil Liners: I. Stochastic Models. **J. of Geotech Eng.**, 120. p. 129-152. 1994.

BERNUCCI, L.B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica:** Formação básica para engenheiros. PETROBRAS: ABEDA. Rio de Janeiro, 2010.

BIANCO, Isabella, BLENGINI, G. A. Life Cycle Datasets for the Ornamental Stone Sector. **World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental and Ecological Engineering**, V. 11, N. 7, 2017.

BINICI, H.; SHAH, T.; AKSOGAN. O.; KAPLAN, H. Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. **Journal of Materials Processing Technology**, 208. p. 299-308. 2008.

BLEICHER, L.; SADAHI, J. M. **Introdução à Difração de Raios-X em Cristais**. Universidade Federal do Ceará. 2000.

BORGES, J. K.; PACHECO, F.; TUTIKIAN, B.; OLIVEIRA, M. F. An experimental study on the use of waste aggregate for acoustic attenuation: EVA and rice husk composites for impact noise reduction. **Construction and Building Materials**. 161. p. 501-508. 2018.

BOUTWELL, P; HEDGES, C. Evaluation of Waste-retention Liners by Multivariate Statistics. Proc., **Twelfth Int. Conf. On Soil Mech. and Foundation Eng.**, 2. p. 815-818. 1989.

BRADY, B.H.G; BROWN, E.T. **Rock mechanics for underground mining**, 3rd ed. London: Klumer Academic Publishers. 2005.

BRAGA, F. S.; BUZZI, D. C.; COUTO, M. C. L.; LANGE, L. C. Caracterização ambiental de lamas de beneficiamento de rochas ornamentais. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 15 n. 3, julho – setembro. p. 237 – 244. 2010.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, 5 de outubro de 1988. **Senado Federal, 1988. Palácio do Planalto: Presidência da República**, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm> Acesso em: 23 mai. 2016

BRASIL. Decreto nº 97.632 de 10 abr. 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. **Palácio do Planalto: Presidência da República**. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm> Acesso em: 23 mai. 2016.

BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **DOU 3.08.2010**. Brasília, DF. 2010. <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acesso em: 15.12.2018.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM – 2030). **Brasília: MME**, 178 p,1v.: il. Anexos. 2010.

BUZZI, D.C. *et al.* Caracterização segundo à NBR 10004/2004 de resíduos gerados no beneficiamento de granitos. In: Simpósio Ítalo Brasileiro De Engenharia Sanitária E Ambiental, 8, **Anais...** Fortaleza, ABES, 2006.

BUZZI, D. C.; BRAGA, F. S.; COUTO, M. C. L.; PREZOTTI, J. C. S.; GAMA, J. L. C. N. Quantificação dos Resíduos Sólidos Gerados nas Empresas de Beneficiamento de Rochas Ornamentais. In: Simposio Íberoamericano de Ingeniería de Resíduos. **Anais...** Paraíba. 2010. Disponível em:< [https://www.researchgate.net/publication/267849408-QUANTIFICACAO DOS RESIDUOS SOLIDOS GERADOS NAS EMPRESAS DE BENEFICIAMENTO DE_ROCHAS ORNAMENTAIS](https://www.researchgate.net/publication/267849408-QUANTIFICACAO_DOS_RESIDUOS_SOLIDOS_GERADOS_NAS_EMPRESAS_DE_BENEFICIAMENTO_DE_ROCHAS_ORNAMENTAIS) >Acesso em: 24 dezembro 2018.

CABELLO, M. L.; PERES, A. E. C.; MARTINS, A. H.; PEREIRA, C. A. Use of Quartzite Wastes in Civil Construction. **Key Engineering Materials**. vol. 548, p 135-140. 2013.

CALMON, J L.; BRAGA, F.S.; PREZOTTI, J.C.S. **Projeto básico de central de tratamento de resíduos gerados no processo de beneficiamento de rochas ornamentais**. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - IEMA. Cariacica, ES, 2007, 112 p. Relatório Técnico.

CAMPOS, A. R. *et al.* Resíduos: tratamento e aplicação industriais. In: Vidal, W. F. H.; Azevedo, H. C. A.; Castro, N. F. **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) e MCTI (Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação), p. 431-492. 2014.

CHABANNES, M.; GARCIA-DIAZ, E.; CLERC, L.; BÉNÉZET, J. C. Studying the hardening and mechanical performances of rice husk and hemp-based building materials cured under natural and accelerated carbonation. **Construction and Building Materials**. 94. p. 105 – 115. 2015.

CHEN, Xiao-bin; LI, Zhi-yong; ZHANG, Jia-sheng. Effect of granite gravel content on improved granular mixtures as railway subgrade fillings. **Journal of Central South University**, v. 21, n. 8, p. 3361-3369, 2014.

CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K. **Relatório Técnico 33 – Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento**. Ministério de Minas e Energia

CLEWELL, A.; ARONSON, J.; WINTERHALDER, K. **Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. Fundamentos de Restauração Ecológica SER 2**. www.ser.org.2004.

– MME. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, 2009. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P23_RT33_Perfil_de_Rochas_Ornamentais_e_de_Revestimento.pdf/d6f58aa1-b01a-4da1-a178-e6052b2fc8e5 Acesso em: 24 dezembro 2018.

DABSKA, A. Hydraulic Conductivity of Compacted Lime-Softening Sludge Used as Landfill Liners. **Water, Air & Soil Pollution**. v. 230, n. 12, p. 280, 2019.

DANIEL, E.; WU, Y. Compacted Clay Liners and Covers for Arid Sites. **J. of Geotech. Eng.**, 119, p. 223-237. 1993.

DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS – DIEESE. **Estatísticas do meio rural**. Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural. São Paulo. 276 p. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO. **DNER - ME 035: Agregados – Determinação da abrasão Los Angeles**. Rio de Janeiro. 1998.

_____ **DNER - ME 080: Solos- Análise granulométrica por peneiramento**. Rio de Janeiro. 1994.

_____ **DNER - ME 086: Determinação do índice de forma**. Rio de Janeiro. 1994.

_____ **DNER - ME 089: Agregados – Avaliação da durabilidade**. Rio de Janeiro. 1994.

_____**DNER - ES 316:** Pavimentação – Base de macadame hidráulico. Rio de Janeiro. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. **Manual de pavimentação**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2006.

_____**DNIT 141:** Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente. Rio de Janeiro. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. DNPM. Portaria nº 12, Norma Reguladora da Mineração, 22 de janeiro de 2002. Altera dispositivos do ANEXO I da Portaria nº 237 de 18 de outubro de 2001. **Diário Oficial da União**, Brasília, 19 de outubro de 2001. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/437947/pg-123-secao-1-diario-oficialda-uniao-dou-de-29-01-2002>>

Acesso em: 10 ago. 2016.

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY. **Water management for mine residue deposits - Best practice guidelines for water resource protection in South African mining industry**. Republic of South Africa, 2007. <http://www.dwaf.gov.za/Documents/Other/WQM/BPG_G1StormWaterAug06.pdf> Acesso em: 15.03.2019.

DINO, G. A.; FIORA, L.; GAMBELLI, E.; SANDRONE, R. **Sludge Production and Management in the Italian Granite Stone Industry: An Example from Two Granite Basins in the Alps**. In: Erdogan Yures, editor. IMBS 2003 proceedings. Istambul. p. 147-158. 2003.

DINO, G. A.; CLEMENTE P.; LASAGNA M.; DE LUCA, D. A. **Residual sludge from dimension Stones**: characterization for their exploitation in civil and environmental applications. Energy Procedia, 40, p. 507-514. 2013.

ELLENMACARTHURFOUNDATION. **Growth within: A Circular Economy vision for a competitive Europe**. 2015. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/>

[assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf](#)> Acesso em: 15.03.2019.

ENVIRONMENTAL GEOTECHNICS. **Report of the ISSMGE Technical Committee TC5 on Environmental Geotechnics**. Institut fur Grundbau, Wasserwesen und Verkehrswesen. 1997. 172 p.

FARIA, Rômulo Furtado; MUNIZ, Eduardo Perini; OLIVEIRA, Luiz Gabriel Souza; PROVETI, José Rafael Capua; PORTO, Paulo Sérgio da Silva. **Using On Site Data to Study Efficiency in Industrial Granite Cutting**. Journal of Cleaner Production, 2017.

FREITAS, J. J. G. **Caracterização química inorgânica de rejeitos segregados de serragem de rochas ornamentais do Espírito Santo**. 2008. 113p Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Vitória, ES. 2008.

FREITAS, G. **Análise da Potencialidade de uso de um Solo Siltoso para Utilização em Barreira Mineral de Aterros Sanitários no Estado de Roraima**. Dissertação (Mestrado). 2015. 237p. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro- PUC-Rio. Rio de Janeiro. 2015.

GAO, X.; YUAN, B.; YU, Q. L.; BROUWERS, H. J. H. Characterization and application of municipal solid waste incineration (MSWI) bottom ash and waste granite powder in alkali activated slag. **Journal of Cleaner Production**. 164, p. 410–419. 2017. [http://dx.doi.org/ 10.1016/](http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.061) Acesso em: 21.06. 2017.

GALETAKIS, M.; ALEVIZOS, G.; LEVENTAKIS, K. Evaluation of fine limestone quarry by-products, for the production of building elements – An experimental approach. **Construction and building materials**. 26(1), p. 122-130. 2012. doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.09.011. Acesso em: 11.05.2011.

GALETAKIS, M.; SOULTANA, A. A review on the utilization of quarry and ornamental stone industry fine by-products in the construction sector. **Construction and Building Materials**. 102, p. 769–781. 2016. [http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat](http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.011). Acesso em: 24.10.2015.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N.; HULTINK, E. The Circular Economy e a new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, 143, p.757-768. 2017.

GHANNAM, S.; NAJM, H.; VASCONEZ, R. Experimental study of concrete made with granite and iron powders as partial replacement of sand. **Sustainable Materials and Technologies**. 9, p. 1-9. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.001>

GHORBANI, S.; TAJI, I.; TAVAKKOLIZADEH, M.; DAVODI, A.; DE BRITO, J. Improving corrosion resistance of steel rebars in concrete with marble and granite waste dust as partial cement replacement. **Construction and Building Materials**. 185, p. 110-119. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.066>

GHORBANI, S.; TAJI, I.; DE BRITO, J.; NEGAHBAN, M.; GHORBANI, S.; TAVAKKOLIZADEH, M.; DAVOODI, A. Mechanical and durability behaviour of concrete with granite waste dust as partial cement replacement under adverse exposure conditions. **Construction and Building Materials**. 194, p. 143-152. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.023>.

GOBBO, L. A. **Os compostos do clínquer Portland: sua caracterização por difração de raios X e quantificação por refinamento de Rietveld**. 2003. 157p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo - USP, São Paulo. 2003.

GOMES, M. L. P.; CARVALHO, E. A.; SOBRINHO, L. N.; MONTEIRO, S. N.; RODRIGUEZ, R. J.; VIEIRA, C. M. F. Production and characterization of a novel artificial stone using brick residue and quarry dust in epoxy matrix. **Journal of materials research and technology**. 7(4), p. 492- 498. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.08.012>.

GONÇALVES, J. P. **Utilização dos resíduos de corte de granito (RCG) para a produção de concretos**. 2000.134p. Dissertação (Mestrado). NORIE/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1990.

GOODMAN, R. E. **Introduction to Rock Mechanic – 2nd ed.** University of California at Berkeley. John Wiley & Sons. 562p. 1989.

GUEDDOUDA, K.; GOUAL, I.; TAIBI, S.; ABOUBEKR, N.; LAMARA, M. Effect of bentonite on the saturated hydraulic conductivity of landfill liners based on dune sand. **J. Build. Mater. Struct.**, 2. p. 10-17. 2015.

GUNEY, Y.; CETIN, B.; AHMET, A.; BURAK, T.; SAVAS, K. Utilization of sepiolite materials as a bottom liner material in solid waste landfills. **Waste Management**, 34. p. 112-124. 2014.

GUPTA, L. K.; VYAS, A. K.; Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder. **Construction and Building Materials**. 191, p. 155-164. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.203>.

HAMNER, W. B. What is the Relationship Among Cleaner Production, Pollution Prevention, Waste Minimization and ISO 14000? **The 1st Asian Conference on Cleaner Production in the Chemical Industry**. Taipei, Taiwan. December 9-10. 1996.

HEBHOU, H.; AOUN, H.; BELACHIA, M.; HOUARI, H.; GHORBEL, E. Influence use of waste marble aggregates in concrete. **Construction and Building Materials**. 25. p.1167-1171. 2011.

HEIDARI, M.; MOMENI, A. A.; NAERI, F. New weathering classifications for granitic rocks based on mechanical parameters. **Engineering Geology**, 166. p. 65-73. 2013.

HILSON, G. Pollution prevention and cleaner production in the mining industry: an analysis of current issues. **Journal of Cleaner Production**. 8. p. 119-126. 2000.

HOJAMBERDIEV, M.; EMINOV, A.; XU, Y. Utilization of muscovite granite waste in the manufacture of ceramic tiles. **Ceramics International**. 37(3), p. 871-876. 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.044>

HOLLA, K. D.; AIDEB, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**. 261. 1558–1563. 2011.

INSTITUTO ESTADUAL E MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. IEMA/ES. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 11 de 11 de outubro de 2016. Dispõe sobre critérios e procedimentos técnicos para licenciamento da atividade de disposição de Lama do Licenciamento de Rochas Ornamentais. **Departamento de Imprensa Oficial do Espírito Santo. DIO/ES.** 17-10-2016. Vitória, ES. 2016. <<https://sogi8.sogi.com.br/Arquivo/Modulo113.MRID109/Registro1255369/>> Acesso em:15.03.2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. ICMBIO. Instrução Normativa nº 11: Estabelece procedimento para elaboração, análise, aprovação e acompanhamento da execução de Projeto de Recuperação de Área Degradada ou Perturbada-PRAD. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 de dez. 2014. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/diarios/82233806/dou-secao-1-12-12-2014-pg-126>> Acesso em: 09 ago. 2016.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS. ISRM. **Suggested Methods for Determining Point Load Strength. Commission on Testing Methods.** Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech., 22. pp. 51-60. 1985.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 4ª edição. **Rio de Janeiro**, 2005.

KARACA, Z.; PEKIN, A.; DELIORMANLI, A. Classification of dimension stone wastes. **Environmental Science and Pollution Research**. 19. p.2354-2362. 2012.

Kimball, S. et. al. Cost-effective ecological restoration. **Restoration Ecology**. Vol. 23, No. 6, pp. 800–810. November 2015.

KOS, K., ZAWISZA, E. Landfill liners from dam reservoir sediments. **Ann War Univ. Life Sci – SGGW Land Reclam**, 48. p.41-52. 2016.

LAMBE, W. **The Structure of Compacted Clay**. J. of the Soil Mech. and Found. Div., 84. p. 1654-1-1654-34. 1958.

LI, H.; HUANG, F.; CHENG, G.; XIE, Y.; TAN, Y.; LI, L.; YI, Z. Effect of granite dust on mechanical and some durability properties of manufactured

sand concrete. **Construction and Building Materials**. 109, p. 41-46. 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.034>

LOPES, M. M. S.; ALVARENGA, R. C. S. S.; PEDROTI, L. G.; RIBEIRO, J. C. L.; DE CARVALHO, A. F.; CARDOSO, F. P.; MENDES, B. C. Influence of the incorporation of granite waste on the hiding power and abrasion resistance of soil pigment-based paints. **Construction and Building Materials**. 205. p. 463–474. 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.046>

LUZ, B., **Economia Circular Holanda – Brasil: da teoria à prática**. Organizadora. Vários autores. Senai Artes Gráficas. 1ª Edição, Rio de Janeiro, 2017.

MACAMBIRA, I. Comportamento hidráulico de alguns solos lateríticos para uso como barreira impermeável. Dissertação (Mestrado). 2002 <
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-14112002-103607/pt-br.php>> Acesso em: 05.03.2019.

MAGACHO, I.; SILVA, R. B. **Indicadores de geração de resíduos do processo de beneficiamento de rochas ornamentais: Estudo de caso em empresas de Nova Venécia/ES – Janeiro à Junho de 2006**. 2006. 150p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental). Departamento de Engenharia Ambiental – DEA, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Vitória, ES. 2006.

MARTINS, P.; BRITO, J.; ROSA, A.; PEDRO, D. Mechanical Performance of Concrete with Incorporation of Coarse Waste from the Marble Industry. **Materials Research**. 17(5), p.1093-1101. 2014.
<http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.210413>.

MECICROL, 2016. <http://www.mecicrol.com/index.php/galeria>. Acesso em: 03 março 2020.

MEDINA, G.; DEL BOSQUE, I. S.; FRÍAS, M.; DE ROJAS, M. S.; MEDINA, C. Granite quarry waste as a future ecoefficient supplementary cementitious material (SCM): Scientific and technical considerations. **Journal of cleaner**

production. 148, p. 467-476. 2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.048>.

MINISTÉRIO DO INTERIOR (MINTER) & INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação/IBAMA.** Brasília, DF. MINTER; IBAMA. 1990. 96p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. MMA. **Do conceito de P + L para o conceito de PCS.** 2020. Disponível em <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/do-conceito-de-pl-para-o-conceito-de-pcs.html>.

Acesso em: 12 fevereiro de 2020.

MITCHELL, K.; HOOPER, R.; CAMPANELLA, G. Permeability of Compacted Clay. **J. of the Soil Mech. and Found. Div.**, 91. p.41-65. 1965.

MORAES, J. M. S.; OLIVEIRA, C. F.; PIRES, P. J. M. Characterization of Stone Slurry Waste for Reutilization Purposes as Building Construction Material. **Journal of Geol. Resource and Eng.**, v.6, p. 45-49. 2018.

MOREIRA, J. M. S.; MANHÃES, J. P. V. T.; HOLANDA, J. N. F. Processing of red ceramic using ornamental rock powder waste. **Journal of materials processing technology.** 196(1-3), p. 88-93. 2008. doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.05.008

MORENO-MAROTO, J. M.; GONZÁLEZ-CORROCHANO, B.; ALONSOAZCÁRATE, J.; RODRÍGUEZ, L.; ACOSTA, A. Development of lightweight aggregates from stone cutting sludge, plastic wastes and sepiolite rejections for agricultural and environmental purposes. **Journal of environmental management.** 200, p. 229-242. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.085>.

MORGERSTEN, N. R.; PRICE, V. E. The analysis of the stability of general slip surfaces. **Geotechnique**, 15 (1), p. 79 – 93. 1965.

MOURA, W. A. Utilização do resíduo do corte de mármore e do granito em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para piso. **Sitientibus.**

Feira de Santana, n. 26, p. 49-61. 2002.
<http://www2.uefs.br/sitientibus/pdf/26/>

[utilizacao do residuo de corte de marmore.pdf](#). Acesso em: 15/11/2017

MUNDELL, A.; BAILEY, B. The design and testing of a compacted clay barrier layer to limit percolation through landfill covers. **Hydraulic Barriers in Soil and Rock - ASTM**, 874. p. 246-262. 1985.

MURRAY et. al. <http://www.ideiacircular.com/>. 2005. Acesso: em 10/11/2017.

NAPOLITANO, H.; CAMARGO, A.; MASCARENHAS, Y.; VENCANTO, I.; LARIUCCI, C. Análise de Difração de Raio-X. **Revista de processos Químicos**, v. 1, p. 35–45; 2007.

OLIVEIRA, T.; RIBEIRO, R. P.; MOREIRAS, T. F. Caracterização de lamelas do corte de granitos com vista ao uso em obras geotécnicas. **Ciência & Engenharia**, v. 25, p. 51-57. 2017.

OSTROWSKI, Krzysztof et al. Potential use of granite waste sourced from rock processing for the application as coarse aggregate in high-performance self-compacting concrete. **Construction and Building Materials**, v. 238, p. 117794, 2020.

OWNTEC. <http://www.owntec.com.br/produto/permeametro-tipo-guelph/>. Acesso em: 13 de junho 2020.

PECK, R. B.; HANSON, W. E.; THORNBURN, T. H. **Foundation engineering, 2nd Ed.**, John Wiley & Sons, Inc., New York, N. Y. 1974.

PEREIRA, C.; GOMES, J.; OLIVEIRA, L. Influence of natural coarse aggregate size, mineralogy and water content on the permeability of structural concrete. **Construction and Building Materials**. 23. p.602-608. 2009.

PIEIDADE, C. Análise da Potencialidade de Alguns solos Não Lateríticos para Utilização em Barreiras Impermeáveis. 2003. Dissertação (Mestrado). 2003. < <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-07052008150323/publico/dissertacao.pdf>> Acesso em: 05.03.2019.

PREZOTTI, J. C. S.; MUZZI, D. W.; SILVA, P. G. Recuperação de área degradada por mineração de rochas com os próprios resíduos do seu beneficiamento (estudo de caso). **Anais...26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitário e Ambiental**, Porto Alegre, RS. 2011.

RAMOS, T.; MATOS, A. M.; SCHMIDT, B.; RIO, J.; SOUSA COUTINHO, J. Granitic quarry sludge waste in mortar: Effect on strength and durability. *Construction and Building Materials*. 47, p. 1001-1009. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.098>.

REIS, A. S.; ALVAREZ, C. E. A sustentabilidade e o resíduo gerado no beneficiamento das rochas ornamentais. **Anais...IV Encontro Nacional e II Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis**. Campo Grande, MS. 2007.

REPÚBLICA ITALIANA. Decreto Legislativo nº 36. Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche di rifiuti. **Gazzetta Ufficiale nº 59 del 12 marzo 2003**. Supplemento Ordinario nº 4013. gennaio 2003.

REPÚBLICA ITALIANA. Decreto Legislativo nº 152. Norme in materia ambientale. **Gazzetta Ufficiale nº 88 del 14 aprile 2006**. Supplemento Ordinario nº 96. 3 aprile 2006.

ROCHA, L. R. Engenheiro de Minas. Consultor Técnico. Comunicação pessoal obtida por email. 2016. Contatos pessoais: (27) 98136-2525, email: rochaluciano@yahoo.com.br.

ROCCA, C. **Resíduos Sólidos Industriais**. CETESB. 1993. p. 233.

ROSSÉ, M.; STUCHTEY, M.; VANTHOURNOUT, H. **Finding growth within: A new framework for Europe How the circular economy could promote clean growth. The circular economy: Moving from theory to practice**. McKinsey Center for Business and Environment Special. edition, 2016.

RUBINOS, D.; SPAGNOLI, G.; BARRAL, M. T. Assessment of bauxite refining residue (red mud) as a liner for waste disposal facilities. **Intern. Journal of Mining Reclam. And Environment**, v. 29, n. 6, p. 433-452. 2013.

SADEK, D. M.; EL-ATTAR, M. M.; ALI, H. A. Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development. **Journal of Cleaner Production**. 121, p. 19-32. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.044>.

SARDOU FILHO, R.; MATTOS, G. M. M.; MENDES, V. A.; IZA, E. R. H. F. **Atlas de Rochas Ornamentais do Estado do Espírito Santo. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Espírito Santo**. CPRM – Serviços Geológico Do Brasil, 2013. Disponível em: <<http://www.sindirochas.com/arquivos/atlas-rochas.pdf> >. Acesso em: 26 dezembro 2018.

SARICI, D. E.; OZDEMIR, E. Utilization of granite waste as alternative abrasive material in marble grinding processes. **Journal of cleaner production**. 201, p. 516-525. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.050>.

SEAGER, T. P.; THEIS, T. L. A uniform definition and quantitative basis for industrial ecology. **Journal of Cleaner Production**. 10. p. 225–235. 2002.

SHARMA, N. K.; KUMAR, P.; KUMAR, S.; THOMAS, B. S.; GUPTA, R. C. Properties of concrete containing polished granite waste as partial substitution of coarse aggregate. **Construction and Building Materials**. 151, p. 158- 163. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.081>

SILVA, 2004 *apud* GAMEIRO, J. E.; SILVA, M. L. P. Aplicação do Conceito de Ecologia Industrial ao Sistema de Gestão Integrada: Vantagens e Melhorias Ambientais Associadas. **2nd INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCER IN CLEANER PRODUCTION. KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE**. São Paulo, Brasil. Maio. 2009.

SILVA, I. A.; CAMPAGNA, A. R.; LIPP-NISSINEN, K. H. Recuperação de áreas degradadas por mineração: uma revisão de métodos recomendados para garimpos. **Pesquisas em Geociências**, 45. 2018. e 0691

SILVA, H. V.; CASTRO, N. F. Disponibilidade de resíduos de pedreiras para aproveitamento na pavimentação da BR-101 no Espírito Santo, **Anais...IX Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste**, João Pessoa, Pb. 2016.

SILVEIRA, L. L. L.; VIDAL, F. W. H.; SOUZA, J. C. Beneficiamento de rochas ornamentais. In: **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI. Cap.7, p. 329-398. 2014.

SINDIROCHAS - SINDICATO DA INDÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, CAL E CALCÁRIOS DO ESPÍRITO SANTO. 2019. <https://www.sindirochas.com/noticias/sindirochas-estima-expectativas-para-o-setor-de-rochas-ornamentais.html>. Acesso em 06 de abril de 2020.

SINGH, S.; NAGAR, R.; AGRAWAL, V. A review on Properties of Sustainable Concrete using granite dust as replacement for river sand. **Journal of Cleaner Production**. 16. p.74-87. 2016a.

SINGH, S.; NAGAR, R.; AGRAWAL, V.; RANA, A.; TIWARI, A. Sustainable utilization of granite cutting waste in high strength concrete. **Journal of cleaner production**. 116, p. 223-235. 2016b. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.110>.

SOLTAN, A. M. M.; KAHL, W.; EL-RAOOF, F. A.; ELKALIOUBY, B. A.; SERRY, M. A.; ABDEL-KADER. N. A. Lightweight aggregates from mixtures of granite wastes with clay. **Journal of Cleaner Production**. 117, p. 139–149. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.017>

SOUZA, J. G. Análise ambiental do processo de exploração e beneficiamento de rochas ornamentais com vistas a uma produção mais limpa: aplicação em Cachoeiro de Itapemirim – ES. Faculdade de Engenharia da UFJF. Juiz de Fora. 2007. Disponível em:< <http://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/José-Gonçalves-de-Souza.pdf> > Acesso em: 24 dezembro 2018.

SOUZA, A. J.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Processing of floor tiles bearing ornamental rock-cutting waste. **Journal of Materials**

Processing Technology. 210(14), p. 1898-1904. 2010.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.10.091>

SOUZA, A. J.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. Efeito da adição de resíduo de rocha ornamental nas propriedades tecnológicas e microestrutura de piso cerâmico vitrificado. **Cerâmica [online]**. vol.57, n. 342, p. 212-218. 2011. ISSN 0366-6913. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132011000200013>.

SOUZA, D. V. Estudo Comparativo da Utilização de Teares Multilâmina e Multifio no Beneficiamento de Granitos Comerciais. **XX Jornada de Iniciação Científica – CETEM**. Cachoeiro de Itapemirim, Espírito Santo. 2012.

TASAICO, D. E. O. Desenvolvimento de Processos Compactos para o Tratamento da Águas Residuárias da Indústria do Mármore e Granito. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo/UFES. Vitória, ES. 2007.

TCHADJIÉ, L. N.; DJOBO, J. N. Y.; RANJBAR, N.; TCHAKOUTÉ, H. K.; KENNE, B. B. D.; ELIMBI, A.; NJOPWOUO, D. Potential of using granite waste as raw material for geopolymer synthesis. **Ceramics International**. 42(2), p. 3046-3055. 2016.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.10.091>

VAGNON, F.; DINO, G. A., UMILI, G.; CARDU, M.; FERRERO, A. M. New Developments for the Sustainable Exploitation of Ornamental Stone in Carrara Basin. **Sustainability**. 2020.

VARGAS, M. **Introdução à Mecânica dos Solos**. Editora Mcgraw Hill. 1981.

VASCONCELOS, P. E. A.; VASCONCELOS, P. S. Strategic Management of Degraded Areas Recovery: Public Policy and Social Function of Rural Properties. **Business Management Dynamics**. Vol.7, nº 06, p.01-07. Dec 2017.

VAZZOLER, J. S.; VIEIRA, G. L.; TELES, C. R.; DEGEN, M. K.; TEIXEIRA, R. A. Investigation of the potential use of waste from ornamental stone

processing after heat treatment for the production of cement-based paste. **Construction and Building Materials**. 177, p. 314–321. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.098>.

ZANNA, C. D.; FERNANDES, F.; GASPARINE, J. C. Solid construction waste management in large civil construction companies through use of specific software – case study. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, V. 39, n. 2, p. 169 – 176, Apr. June, 2017.

Anexo 1

1. Informações obtidas junto à duas empresas de extração de granitos em operação no norte do estado do Espírito Santo.

Tabela 38 – Planilha de produção de granito amarelo na pedreira da Empresa A no período pesquisado de janeiro de 2010 a maio de 2013.

PEDREIRA A - GRANITO AMARELO					
MÊS	PRODUÇÃO TOTAL (m³)	VOLUME DE BLOCOS COMERCIALIZADO (m³)	VOLUME DE REJEITO (m³)	RECUPERAÇÃO	RESÍDUOS
jan/10	804,087	40,520	763,567	5,04%	94,96%
fev/10	981,347	60,231	921,116	6,14%	93,86%
mar/10	1.334,840	100,235	1.234,605	7,51%	92,49%
abr/10	1.241,587	80,456	1.161,131	6,48%	93,52%
mai/10	1.228,527	60,548	1.167,979	4,93%	95,07%
jun/10	870,947	103,250	767,697	11,85%	88,15%
jul/10	1.347,438	161,734	1.185,704	12,00%	88,00%
ago/10	1.207,750	192,918	1.014,832	15,97%	84,03%
set/10	1.126,328	181,882	944,446	16,15%	83,85%
out/10	1.268,727	83,845	1.184,882	6,61%	93,39%
nov/10	1.412,512	100,267	1.312,245	7,10%	92,90%
dez/10	633,700	125,291	508,409	19,77%	80,23%
jan/11	859,953	66,487	793,466	7,73%	92,27%
fev/11	1.230,735	197,185	1.033,550	16,02%	83,98%
mar/11	1.003,909	207,640	796,269	20,68%	79,32%
abr/11	1.283,967	111,417	1.172,550	8,68%	91,32%
mai/11	1.576,796	193,031	1.383,765	12,24%	87,76%
jun/11	1.344,111	243,106	1.101,005	18,09%	81,91%
jul/11	2.173,491	138,491	2.035,000	6,37%	93,63%
ago/11	760,410	162,135	598,275	21,32%	78,68%
set/11	1.263,152	190,249	1.072,903	15,06%	84,94%
out/11	1.063,449	158,262	905,187	14,88%	85,12%
nov/11	507,300	168,578	338,722	33,23%	66,77%
dez/11	1.265,020	121,594	1.143,426	9,61%	90,39%
jan/12	818,520	92,851	725,669	11,34%	88,66%
fev/12	2.051,580	55,340	1.996,240	2,70%	97,30%
mar/12	2.152,925	209,797	1.943,128	9,74%	90,26%
abr/12	656,184	73,616	582,568	11,22%	88,78%
mai/12	1.938,152	200,939	1.737,213	10,37%	89,63%
jun/12	757,845	219,808	538,037	29,00%	71,00%
jul/12	1.519,664	136,112	1.383,552	8,96%	91,04%
ago/12	1.263,606	150,994	1.112,612	11,95%	88,05%
set/12	2.604,330	119,693	2.484,637	4,60%	95,40%
out/12	2.251,994	231,705	2.020,289	10,42%	89,58%
nov/12	1.617,565	155,742	1.461,823	9,63%	90,37%
dez/12	510,948	0,000	510,948	0,00%	100,00%
jan/13	909,274	150,134	759,140	16,51%	83,49%
fev/13	599,324	296,809	302,515	49,52%	50,48%
mar/13	2.317,570	162,382	2.155,188	7,01%	92,99%
abr/13	2.194,078	225,987	1.968,091	10,30%	89,70%
mai/13	1.601,472	208,286	1.393,186	13,01%	86,99%
Total	53.555,112	5.939,547	47.615,565	11,09%	88,91%
Média	1.306,222	144,867	1.161,355	11,09%	88,91%
Mediana	1.263,152	150,994	1.112,612	10,42%	89,58%
desvio padrão	541,617	64,202	530,632	8,83%	8,83%
Coeficiente de variação	0,415	0,443	0,457	79,62%	9,93%

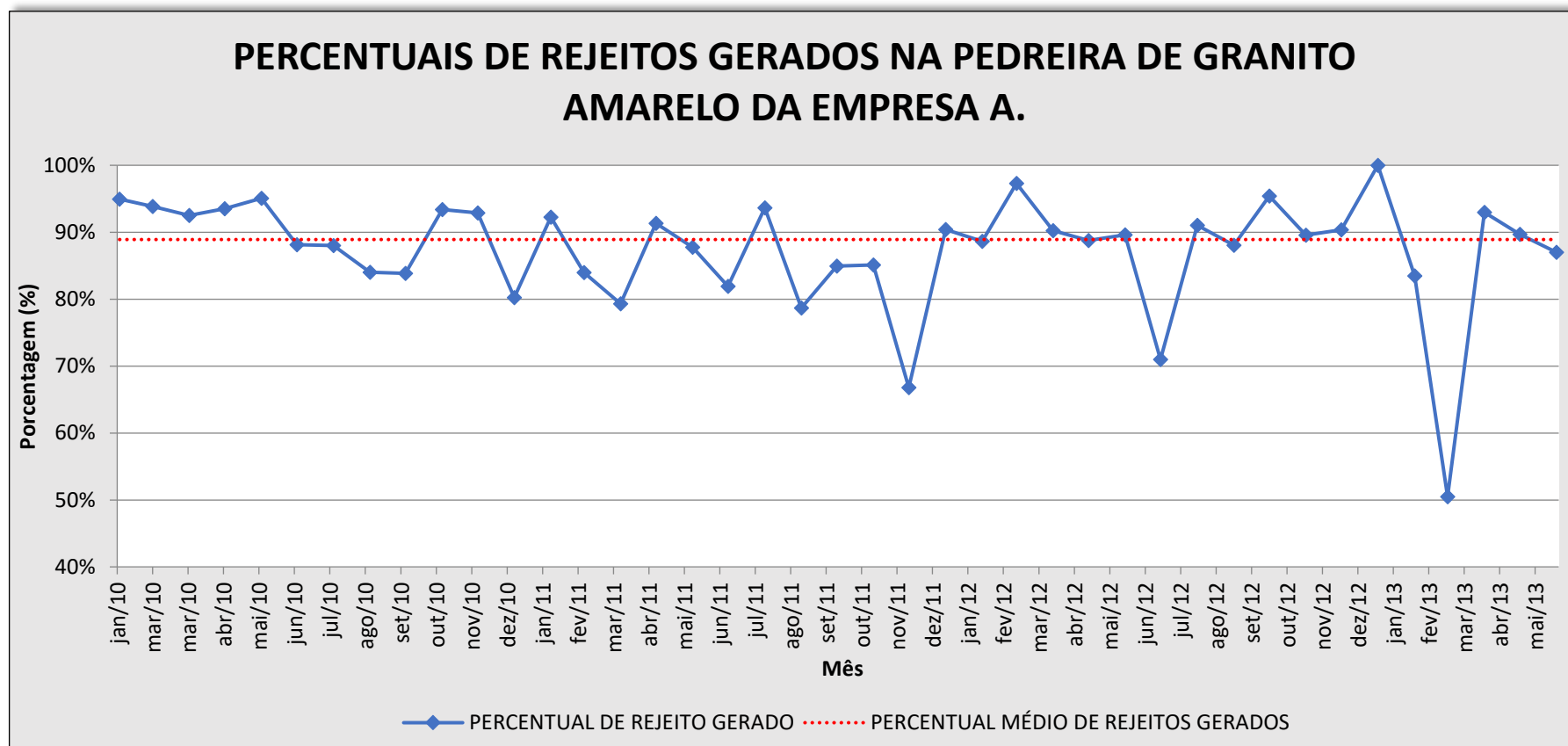


Figura 154 – Percentuais de rejeitos gerados na pedreira de granito amarelo da Empresa A no período pesquisado, com detalhe para a média ponderada obtida de cerca 89%.



Figura 155 – Quantitativo de blocos de granito amarelo comercializados e de rejeitos gerados na pedreira da Empresa A.

Tabela 39 – Planilha de produção de granito amarelo na pedreira da Empresa B no período pesquisado de julho de 2015 a julho de 2016.

PEDREIRA A - GRANITO AMARELO					
MÊS	PRODUÇÃO TOTAL (m³)	VOLUME DE BLOCOS COMERCIALIZADO (m³)	VOLUME DE REJEITO (m³)	RECUPERAÇÃO	RESÍDUOS
jan/10	804,087	40,520	763,567	5,04%	94,96%
fev/10	981,347	60,231	921,116	6,14%	93,86%
mar/10	1.334,840	100,235	1.234,605	7,51%	92,49%
abr/10	1.241,587	80,456	1.161,131	6,48%	93,52%
mai/10	1.228,527	60,548	1.167,979	4,93%	95,07%
jun/10	870,947	103,250	767,697	11,85%	88,15%
jul/10	1.347,438	161,734	1.185,704	12,00%	88,00%
ago/10	1.207,750	192,918	1.014,832	15,97%	84,03%
set/10	1.126,328	181,882	944,446	16,15%	83,85%
out/10	1.268,727	83,845	1.184,882	6,61%	93,39%
nov/10	1.412,512	100,267	1.312,245	7,10%	92,90%
dez/10	633,700	125,291	508,409	19,77%	80,23%
jan/11	859,953	66,487	793,466	7,73%	92,27%
fev/11	1.230,735	197,185	1.033,550	16,02%	83,98%
mar/11	1.003,909	207,640	796,269	20,68%	79,32%
abr/11	1.283,967	111,417	1.172,550	8,68%	91,32%
mai/11	1.576,796	193,031	1.383,765	12,24%	87,76%
jun/11	1.344,111	243,106	1.101,005	18,09%	81,91%
jul/11	2.173,491	138,491	2.035,000	6,37%	93,63%
ago/11	760,410	162,135	598,275	21,32%	78,68%
set/11	1.263,152	190,249	1.072,903	15,06%	84,94%
out/11	1.063,449	158,262	905,187	14,88%	85,12%
nov/11	507,300	168,578	338,722	33,23%	66,77%
dez/11	1.265,020	121,594	1.143,426	9,61%	90,39%
jan/12	818,520	92,851	725,669	11,34%	88,66%
fev/12	2.051,580	55,340	1.996,240	2,70%	97,30%
mar/12	2.152,925	209,797	1.943,128	9,74%	90,26%
abr/12	656,184	73,616	582,568	11,22%	88,78%
mai/12	1.938,152	200,939	1.737,213	10,37%	89,63%
jun/12	757,845	219,808	538,037	29,00%	71,00%
jul/12	1.519,664	136,112	1.383,552	8,96%	91,04%
ago/12	1.263,606	150,994	1.112,612	11,95%	88,05%
set/12	2.604,330	119,693	2.484,637	4,60%	95,40%
out/12	2.251,994	231,705	2.020,289	10,42%	89,58%
nov/12	1.617,565	155,742	1.461,823	9,63%	90,37%
dez/12	510,948	0,000	510,948	0,00%	100,00%
jan/13	909,274	150,134	759,140	16,51%	83,49%
fev/13	599,324	296,809	302,515	49,52%	50,48%
mar/13	2.317,570	162,382	2.155,188	7,01%	92,99%
abr/13	2.194,078	225,987	1.968,091	10,30%	89,70%
mai/13	1.601,472	208,286	1.393,186	13,01%	86,99%
Total	53.555,112	5.939,547	47.615,565	11,09%	88,91%
Média	1.306,222	144,867	1.161,355	11,09%	88,91%
Mediana	1.263,152	150,994	1.112,612	10,42%	89,58%
desvio padrão	541,617	64,202	530,632	8,83%	8,83%
Coeficiente de variação	0,415	0,443	0,457	79,62%	9,93%

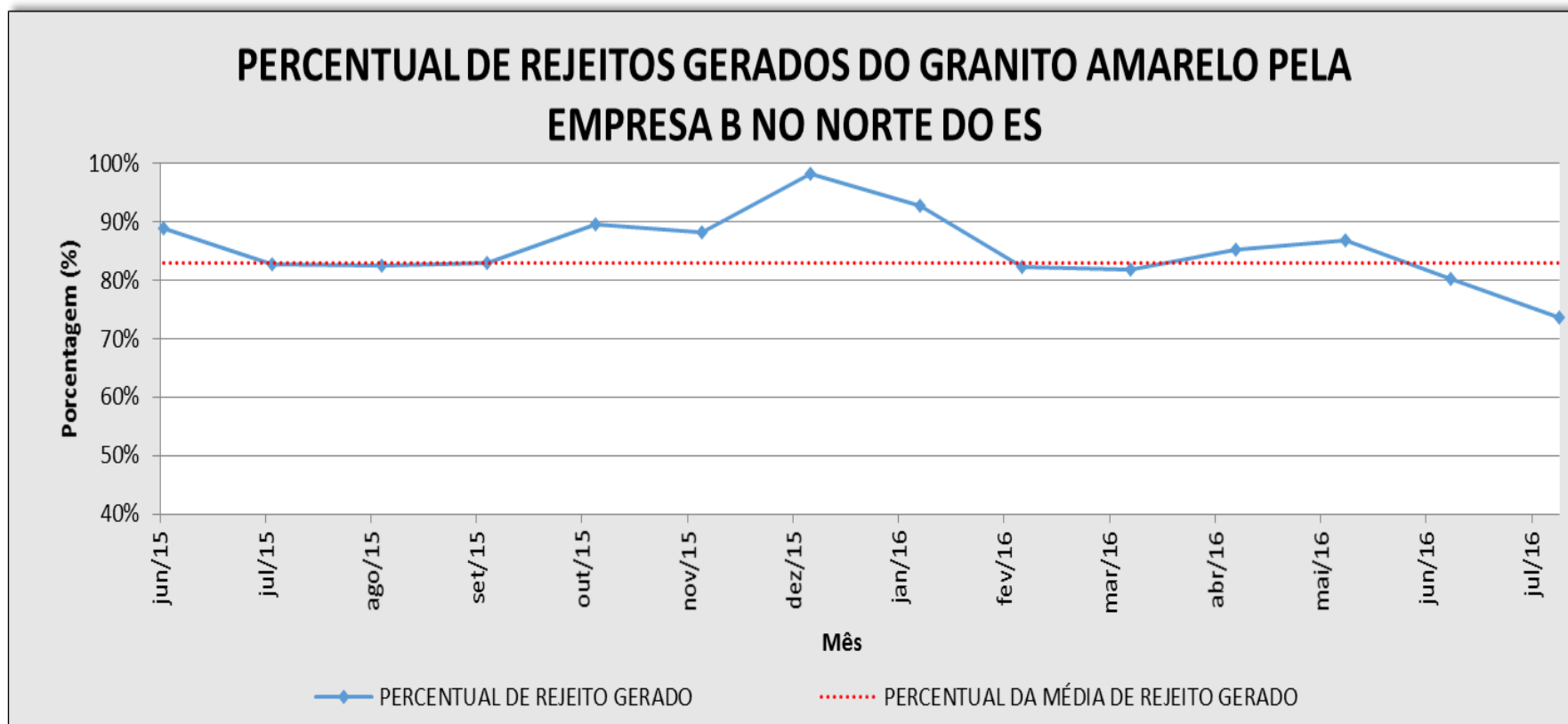


Figura 156 – Percentuais de rejeitos gerados na pedreira de granito amarelo da Empresa B no período pesquisado, com detalhe para a média ponderada obtida de cerca 83%.

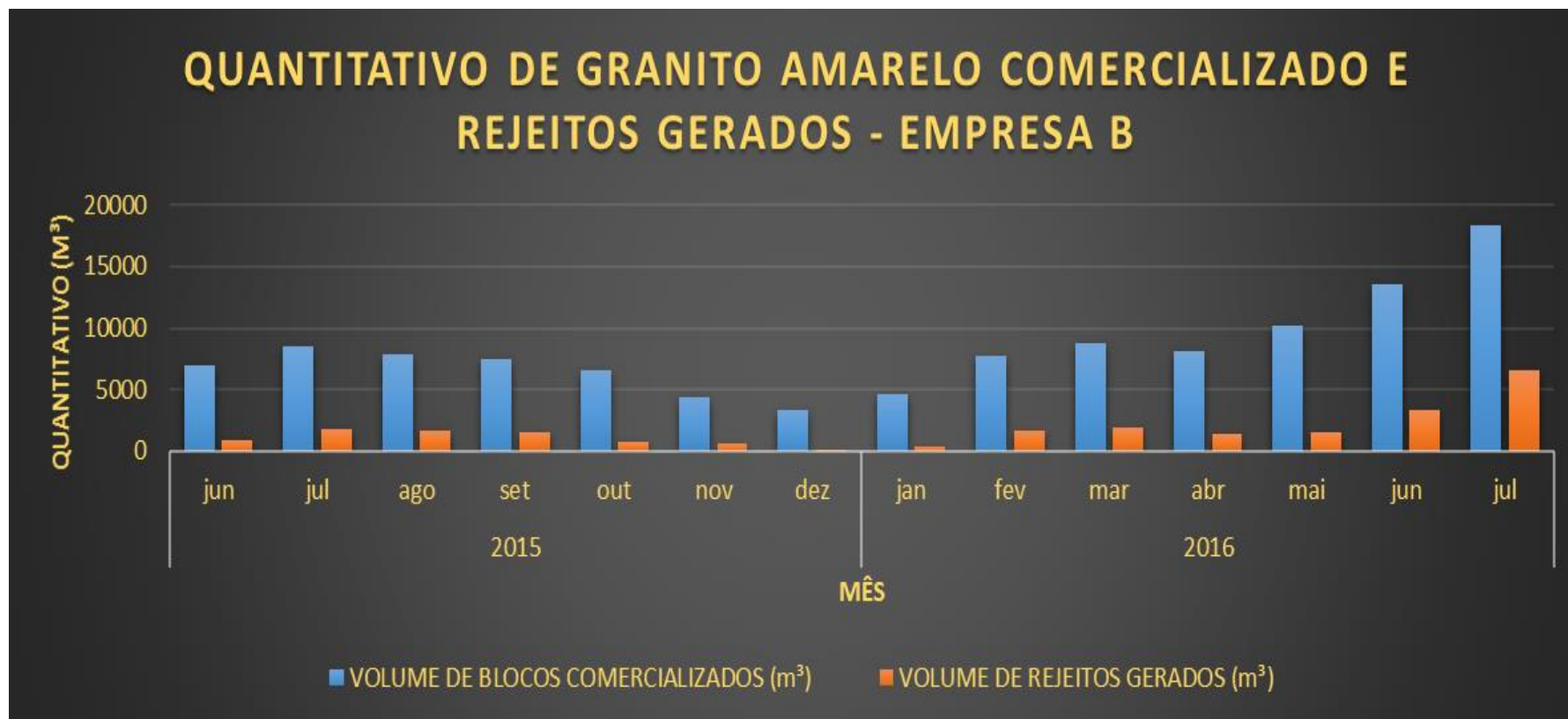


Figura 157 – Quantitativo de blocos de granito amarelo comercializados e de rejeitos gerados na pedreira da Empresa B.

Anexo 2

2. Resultados dos ensaios para obtenção dos parâmetros índices dos casqueiros de granitos, realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos (LAMES) da Universidade Federal do Espírito Santo/UFES.

2.1. Para as amostras dos casqueiros britados de granito amarelo

Tabela 40 – Análise granulométrica do casqueiro britado de granito amarelo (NBR 7181 da ABNT (2016)).

Peneiramento - Rocha Amarela					
Abertura peneiras (mm)	Retido (g)	Retido acumulado (g)	Passado (g)	% que passa	% retida acumulada
50	0	0	15000,00	100,00	0,00
37,5	0	0	15000,00	100,00	0,00
25	3000	3000	12000,00	80,00	20,00
19	9000	12000	3000,00	20,00	80,00
12,7	2250	14250	750,00	5,00	95,00
9,5	300	14550	450,00	3,00	97,00
6,3	109	14659	341,00	2,27	97,73
4,8	31,5	14690,5	309,50	2,06	97,94
2	112	14802,5	197,50	1,32	98,68
Fundo	197,5	15000			
Amostra total (g)	15000				

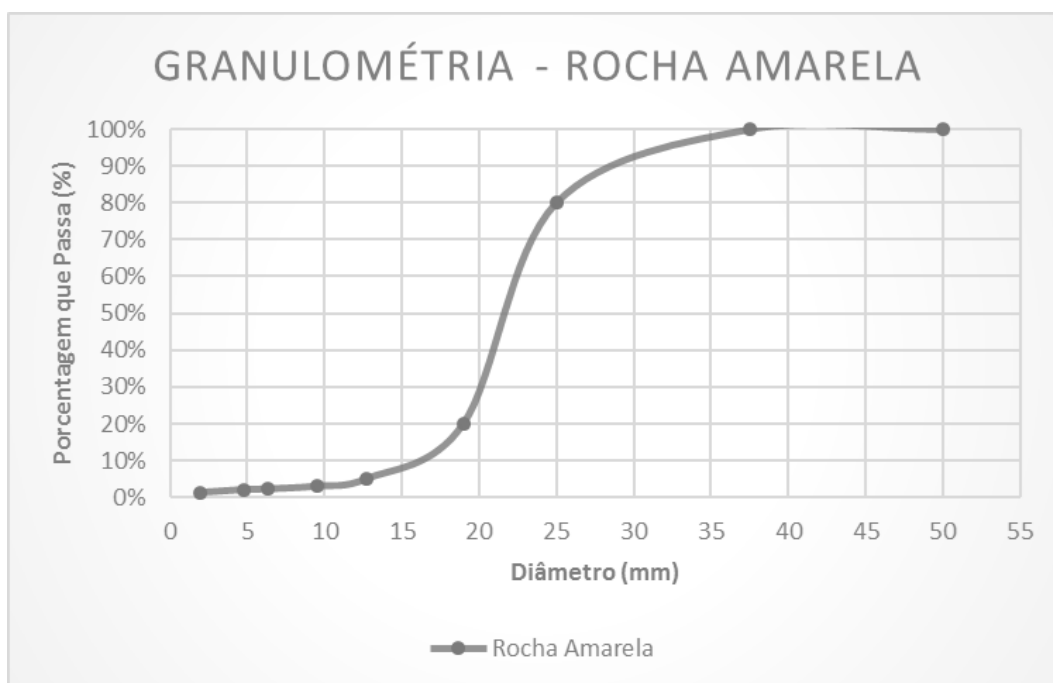


Figura 158 – Curva granulométrica do casqueiro britado do granito amarelo.

Tabela 41 – Teor de umidade do casqueiro britado do granito amarelo. (NBR 7181 da ABNT (2016)).

UMIDADE			
Cápsula (Nº)	181	218	203
Mt (g)	9,18	9,87	9,06
Mt+s+a (g)	45,44	44,82	43,43
Mt+s (g)	45,4	44,75	43,37
Umidade (%)	0,11%	0,20%	0,17%
Umidade média (%)	0,19%		

Tabela 42 – Teor de material pulverulento do casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 46 da ABNT (2003)).

TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO	
Amostra total úmida (g)	15000,00
Amostra parcial úmida (g)	156,10
Mt+s (g)	178,66
Mt (g)	43,16
Amostra parcial seca (g)	155,81
Massa que passa na #200 (g)	20,60
Porcentagem que passa em relação a amostra parcial seca (%)	13,22%
Amostra total seca (g)	14999,63
Porcentagem do fundo em relação a amostra total (%)	1,31%
Teor de Material Pulverulento (%)	0,17%

Tabela 43 – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
25	1	4,9	3,5	2,3	0,7	0,7	Cúbica
25	2	4,9	2,6	2,2	0,5	0,9	Cúbica
25	3	4,0	3,2	2,2	0,8	0,7	Cúbica
25	4	6,1	3,3	2,1	0,5	0,6	Cúbica
25	5	5,6	3,6	2,1	0,6	0,6	Cúbica

Tabela 43 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
25	6	4,6	4,2	1,9	0,9	0,4	Lamelar
25	7	4,4	3,4	2,6	0,8	0,8	Cúbica
25	8	5,7	3,1	2,4	0,5	0,8	Cúbica
25	9	4,4	3,3	2,4	0,8	0,7	Cúbica
25	10	5,1	3,0	2,2	0,6	0,7	Cúbica
25	11	4,6	3,4	2,0	0,7	0,6	Cúbica
25	12	4,2	3,3	2,5	0,8	0,8	Cúbica
25	13	4,5	3,9	2,5	0,9	0,6	Cúbica
25	14	5,3	2,5	2,4	0,5	0,9	Alongada
25	15	4,4	3,2	2,2	0,7	0,7	Cúbica
25	16	4,3	3,4	1,8	0,8	0,5	Cúbica
25	17	4,9	4,7	2,3	1,0	0,5	Lamelar
25	18	4,6	2,8	2,1	0,6	0,8	Cúbica
25	19	4,3	2,3	1,6	0,5	0,7	Cúbica
25	20	3,9	2,7	2,5	0,7	0,9	Cúbica
25	21	5,9	4,2	2,1	0,7	0,5	Cúbica
25	22	4,0	3,1	2,5	0,8	0,8	Cúbica
25	23	4,2	2,8	2,2	0,7	0,8	Cúbica
25	24						
25	25	3,5	2,8	2,3	0,8	0,8	Cúbica
19	26	6,1	2,0	1,8	0,3	0,9	Alongada
19	27	5,1	2,1	2,0	0,4	0,9	Alongada
19	28	6,1	2,8	2,0	0,5	0,7	Alongada
19	29	5,8	2,6	1,7	0,5	0,7	Alongada
19	30	5,7	1,9	1,4	0,3	0,7	Alongada

Tabela 43 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
19	31	4,4	3,2	1,3	0,7	0,4	Lamelar
19	32	4,0	2,8	1,8	0,7	0,6	Cúbica
19	33	5,7	2,4	1,9	0,4	0,8	Alongada
19	34	4,2	2,7	1,3	0,6	0,5	Lamelar
19	35	6,0	2,4	1,5	0,4	0,6	Alongada
19	36	4,5	2,7	1,1	0,6	0,4	Lamelar
19	37	3,8	2,4	1,8	0,6	0,8	Cúbica
19	38	4,5	3,0	1,0	0,7	0,3	Lamelar
19	39	3,4	2,8	1,9	0,8	0,7	Cúbica
19	40	4,7	1,6	1,6	0,3	1,0	Alongada
19	41	4,7	2,3	1,4	0,5	0,6	Alongada
19	42	6,3	2,7	1,5	0,4	0,6	Alongada
19	43	4,9	2,4	1,1	0,5	0,4	Alongada-lamelar
19	44	3,8	2,7	1,2	0,7	0,4	Lamelar
19	45	4,9	2,1	1,3	0,4	0,6	Alongada
19	46	4,6	2,4	1,4	0,5	0,6	Cúbica
19	47	5,2	2,8	1,6	0,5	0,6	Cúbica
19	48	3,2	2,7	1,3	0,8	0,5	Lamelar
19	49	4,5	2,4	1,1	0,5	0,4	Lamelar
19	50	3,6	3,0	1,7	0,8	0,6	Cúbica
19	51	3,6	2,5	2,3	0,7	0,9	Cúbica
19	52	3,0	2,6	1,6	0,9	0,6	Cúbica
19	53	3,9	2,7	1,2	0,7	0,5	Lamelar
19	54	5,0	2,5	1,7	0,5	0,7	Cúbica

Tabela 43 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
19	55	3,2	2,8	1,8	0,9	0,7	Cúbica
19	56	4,8	2,1	1,0	0,4	0,5	Alongada-lamelar
19	57	4,3	2,3	0,9	0,5	0,4	Lamelar
19	58	5,1	2,4	1,3	0,5	0,5	Alongada
19	59	4,9	2,1	1,2	0,4	0,6	Alongada
19	60	4,3	1,9	1,7	0,4	0,9	Alongada
19	61	5,1	2,4	2,2	0,5	0,9	Alongada
19	63	6,3	2,6	1,3	0,4	0,5	Alongada
19	64						
19	65	4,6	2,4	1,5	0,5	0,6	Cúbica
19	66	5,2	2,3	1,0	0,4	0,4	Alongada-lamelar
19	67	4,1	2,5	2,3	0,6	0,9	Cúbica
19	68	6,2	1,6	1,4	0,3	0,9	Alongada
19	69	4,9	2,9	2,1	0,6	0,7	Cúbica
19	70	4,4	2,7	1,0	0,6	0,4	Lamelar
19	71	3,3	2,4	1,1	0,7	0,5	Lamelar
19	72	3,7	2,2	1,3	0,6	0,6	Cúbica
19	73	6,4	2,7	1,6	0,4	0,6	Alongada
19	74	3,6	2,9	1,3	0,8	0,5	Lamelar
19	75	4,1	2,7	1,2	0,7	0,4	Lamelar
19	76	3,3	2,5	1,9	0,8	0,8	Cúbica
19	77	3,5	3,1	1,1	0,9	0,4	Lamelar
19	78	4,6	2,7	2,1	0,6	0,8	Cúbica

Tabela 43 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
19	79	3,2	2,4	1,9	0,7	0,8	Cúbica
19	80	4,5	2,6	1,2	0,6	0,5	Lamelar
19	81	3,0	2,6	2,1	0,9	0,8	Cúbica
19	82	4,0	2,1	1,3	0,5	0,6	Cúbica
19	83	2,8	2,4	1,5	0,8	0,7	Cúbica
19	84	3,6	2,4	2,1	0,7	0,9	Cúbica
19	85	3,9	3,2	1,3	0,8	0,4	Lamelar
19	86	3,8	2,7	1,4	0,7	0,5	Cúbica
19	87	3,1	2,3	0,9	0,8	0,4	Lamelar
19	88	5,0	2,5	1,2	0,5	0,5	Alongada-lamelar
19	89	5,8	2,8	1,7	0,5	0,6	Alongada
19	90	4,2	2,5	2,0	0,6	0,8	Cúbica
19	91	3,3	1,9	1,8	0,6	1,0	Cúbica
19	92	4,0	2,3	2,2	0,6	0,9	Cúbica
19	93	5,1	2,3	1,5	0,5	0,6	Alongada
19	94	3,6	3,2	1,6	0,9	0,5	Lamelar
19	95	3,6	2,2	1,6	0,6	0,7	Cúbica
19	96	4,1	2,7	0,9	0,7	0,3	Lamelar
19	97	3,9	2,8	1,3	0,7	0,5	Lamelar
19	98	3,2	2,2	1,6	0,7	0,7	Cúbica
19	99	3,4	2,3	1,1	0,7	0,5	Lamelar
19	100	3,8	2,0	1,5	0,5	0,7	Cúbica

Tabela 43 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

	Relações		Classificação Individual
	b/a	c/b	
Média Aritmética	0,6	0,6	
Desvio Padrão	0,2	0,2	
Coeficiente de Variação (%)	25%	26%	
Nota:			Classes
	b/a ≥ 0,5	c/b ≥ 0,5	Cúbica
	b/a < 0,5	c/b ≥ 0,5	Alongada
	b/a ≥ 0,5	c/b < 0,5	Lamelar
	b/a < 0,5	c/b < 0,5	Alongada-lamelar
Forma Média das Partículas			Cúbica
Indivíduos Cúbicos (%)			52%
Indivíduos Não Cúbicos (%)			48%
Exigências do Lastro Ferroviário			
Forma Média das Partículas	Cúbica		Atende
Indivíduos Não Cúbicos (%)	≤ 15%		Não atende

Tabela 44 – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo B da ANBT (2011)).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Cápsula	Tara (g)	M. Seca + Tara (g)	M. Sat. + Tara (g)	Massa Subm. (g)	M. Esp. Aparente (g)	Porosidade Aparente (%)	Absorção (%)
1	295	14,53	61,70	62,01	28,79	2520	1,66	0,66
2	209	9,05	79,47	79,97	42,57	2480	1,76	0,71
3	189	9,91	62,08	62,39	34,84	2960	1,76	0,59
4	273	13,85	57,22	57,59	24,60	2270	1,93	0,85
5	178	9,51	57,43	57,79	27,90	2350	1,77	0,75

Tabela 44 (cont.) – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo B da ABNT (2011).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Cápsula	Tara (g)	M. Seca + Tara (g)	M. Sat. + Tara (g)	Massa Subm. (g)	M. Esp. Aparente (g)	Porosidade Aparente (%)	Absorção (%)
6	265	13,93	63,27	63,61	30,70	2600	1,79	0,69
7	238	11,06	48,32	48,61	22,19	2430	1,89	0,78
8	294	12,49	68,54	68,98	34,26	2520	1,98	0,79
9	287	13,35	68,58	68,95	36,40	2880	1,93	0,67
10	285	14,06	75,50	76,04	40,20	2820	2,48	0,88
Média Aritmética						2580	1,89	0,74
Desvio Padrão						231	0,23	0,09
Coeficiente de Variação (%)						9%	12%	12%
Exigências do Lastro Ferroviário								
Massa Específica Aparente							≥ 2500	Atende
Porosidade							≤ 1,50%	Não atende
Absorção							≤ 0,80%	Atende

Tabela 45 – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011).

Resistência à intempérie			
Amostra	Massa Inicial	Massa Final	Resistência à Intempérie (20 Ciclos)
1	37,26	30,16	19,06
2	43,37	38,88	10,35
3	47,17	43,11	8,61
4	47,92	46,32	3,34
5	49,34	46,56	5,63
6	52,17	50,29	3,60
7	55,23	50,42	8,71

Tabela 45 (cont.) – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito amarelo (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011)).

Resistência à intempérie			
Amostra	Massa Inicial	Massa Final	Resistência à Intempérie (20 Ciclos)
8	56,05	53,88	3,87
9	61,44	55,03	10,43
10	70,42	68,26	3,07
Média			7,67%
Desvio Padrão			4,96%
Coeficiente de Variação (%)			65%
Exigências do Lastro Ferroviário			
Resistência à Intempérie (%)		≤ 10,0%	Atende

Tabela 46 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 45 da ABNT (2006)).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Tara (kg)	Agreg. + Tara (kg)	Temp. (°C)	M. Esp. da Águ (kg/m³)	M. Água + Tara (kg)	M. Agreg. (kg)	Volume (m³)	Dens. Apar. Seca (kg/m³)
1	9,35	28,20	23,5	997,43	24,25	18,85	0,015	1260
2	9,35	28,05	23,5	997,43	24,25	18,70	0,015	1250
3	9,35	27,95	23,5	997,43	24,25	18,60	0,015	1250
Média Aritmética								1250
Desvio Padrão								6
Coeficiente de Variação (%)								0,5%
Exigências do Lastro Ferroviário								
Massa Unitária no Estado Solto (kg/m³)							1250	Atende

Tabela 47 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 45 da ABNT (2006)).

Abrasão Los Angeles	
Massa Total da Amostra Seca (g)	5000
Massa da Amostra Lavada e Seca após Ensaio (g)	2237
Abrasão Los Angeles (%)	55%

2.2. Para as amostras dos casqueiros britados de granito cinza andorinha

Tabela 48 – Análise granulométrica do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 7181 da ABNT (2016)).

Peneiramento - Rocha Cinza					
Abertura peneiras (mm)	Retido	Retido acumulado	Passado	% que passa	% retida acumulada
50	0	0	15000,00	100,00	0,00
37,5	1500	1500	13500,00	90,00	10,00
25	2250	3750	11250,00	75,00	25,00
19	8250	12000	3000,00	20,00	80,00
12,7	2250	14250	750,00	5,00	95,00
9,5	300	14550	450,00	3,00	97,00
6,3	109	14659	341,00	2,27	97,73
4,8	31,5	14690,5	309,50	2,06	97,94
2	112	14802,5	197,50	1,32	98,68
Fundo	197,5	15000			
Amostra total	15000				

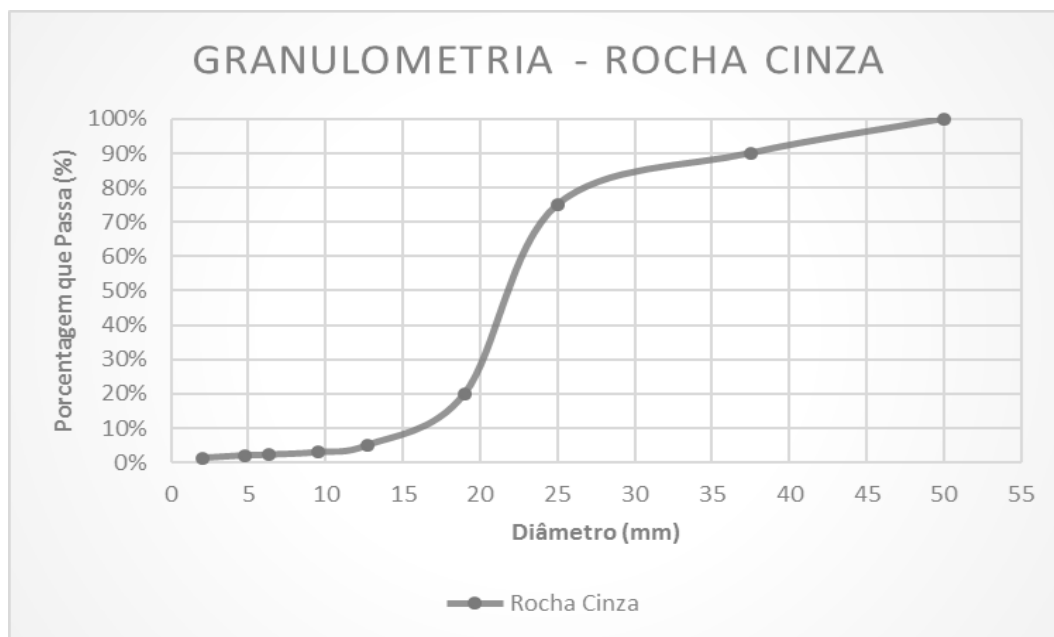


Figura 159 – Curva granulométrica do casqueiro britado do granito cinza andorinha.

Tabela 49 – Teor de umidade do casqueiro britado do granito cinza andorinha. (NBR 7181 da ABNT (2016)).

UMIDADE			
Cápsula	127	106	136
Mt	8,72	7,74	7,18
Mt+s+a	30,11	21,21	36,11
Mt+s	30,08	21,20	36,08
Umidade	0,14%	0,07%	0,10%
Umidade média	0,09%		

Tabela 50 – Teor de material pulverulento do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR NM 46 da ABNT (2003)).

TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO	
Amostra total úmida (g)	15000,00
Amostra parcial úmida (g)	314,36
Mt+s (g)	326,22
Mt (g)	34,57
Amostra parcial seca (g)	314,08
Massa que passa na #200 (g)	22,71
Porcentagem que passa em relação a amostra parcial seca (%)	7,23%
Amostra total seca (g)	14999,31
Porcentagem do fundo em relação a amostra total (%)	197,32
Teor de Material Pulverulento (%)	0,10%

Tabela 51 – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
38	1	6,6	4,1	2,9	0,6	0,7	Cúbica
38	2	6,2	4,3	2,0	0,7	0,5	Lamelar
38	3	5,7	4,6	2,4	0,8	0,5	Cúbica
38	4	4,4	4,2	2,4	1,0	0,6	Cúbica
38	5	5,7	4,8	2,3	0,8	0,5	Lamelar

Tabela 51 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
38	6	5,7	5,2	2,8	0,9	0,5	Cúbica
38	7	4,8	4,4	2,4	0,9	0,5	Cúbica
38	8	7,5	4,7	1,4	0,6	0,3	Lamelar
38	9	7,6	4,4	2,8	0,6	0,6	Cúbica
38	10	5,7	5,6	2,0	1,0	0,3	Lamelar
38	11	4,8	4,7	2,9	1,0	0,6	Cúbica
38	12	5,2	5,1	3,3	1,0	0,7	Cúbica
38	13	5,3	4,6	2,7	0,9	0,6	Cúbica
25	14	4,7	3,5	2,7	0,7	0,8	Cúbica
25	15	4,4	2,5	2,5	0,6	1,0	Cúbica
25	16	5,6	2,9	2,5	0,5	0,9	Cúbica
25	17	4,3	3,2	1,9	0,7	0,6	Cúbica
25	18	5,0	3,5	2,0	0,7	0,6	Cúbica
25	19	6,2	3,5	0,8	0,6	0,2	Lamelar
25	20	4,8	3,8	1,2	0,8	0,3	Lamelar
25	21	7,0	3,8	2,3	0,5	0,6	Cúbica
25	22	5,8	2,9	2,6	0,5	0,9	Alongada
25	23	3,3	2,9	2,4	0,9	0,8	Cúbica
25	24	4,7	4,4	1,5	0,9	0,4	Lamelar
25	25	4,7	3,2	1,1	0,7	0,4	Lamelar
25	26	3,4	2,9	2,6	0,8	0,9	Cúbica
25	27	5,5	4,6	2,2	0,8	0,5	Lamelar
25	28	5,0	3,5	1,9	0,7	0,6	Cúbica
25	29	6,2	2,6	2,4	0,4	0,9	Alongada
25	30	4,8	4,5	2,8	0,9	0,6	Cúbica

Tabela 51 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
25	31	3,5	3,4	2,1	1,0	0,6	Cúbica
25	32	5,9	4,1	1,2	0,7	0,3	Lamelar
19	33	4,2	2,9	1,3	0,7	0,5	Lamelar
19	34	5,6	2,7	1,1	0,5	0,4	Alongada-lamelar
19	35	2,8	2,2	0,9	0,8	0,4	Lamelar
19	36	4,3	2,6	1,3	0,6	0,5	Cúbica
19	37	2,7	2,2	1,3	0,8	0,6	Cúbica
19	38	3,4	2,0	2,0	0,6	1,0	Cúbica
19	39	3,4	3,0	0,8	0,9	0,3	Lamelar
19	40	4,4	2,7	1,5	0,6	0,6	Cúbica
19	41	3,3	2,2	1,6	0,7	0,7	Cúbica
19	42	4,1	2,0	1,5	0,5	0,7	Alongada
19	43	4,4	2,0	1,3	0,4	0,7	Alongada
19	44	4,2	3,1	1,3	0,8	0,4	Lamelar
19	45	2,8	2,1	1,3	0,7	0,6	Cúbica
19	46	4,6	2,2	1,6	0,5	0,7	Alongada
19	47	5,5	2,9	2,0	0,5	0,7	Cúbica
19	48	6,4	1,8	1,6	0,3	0,9	Alongada
19	49	4,6	2,5	2,1	0,5	0,8	Cúbica
19	50	4,2	2,4	2,1	0,6	0,9	Cúbica
19	51	3,9	3,1	0,6	0,8	0,2	Lamelar
19	52	3,5	2,4	1,9	0,7	0,8	Cúbica
19	53	4,8	2,9	2,0	0,6	0,7	Cúbica
19	54	2,2	2,1	1,7	0,9	0,8	Cúbica

Tabela 51 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
19	55	3,8	2,3	1,7	0,6	0,7	Cúbica
19	56	3,4	3,0	0,8	0,9	0,3	Lamelar
19	57	3,0	2,6	1,7	0,9	0,6	Cúbica
19	58	3,4	2,3	1,1	0,7	0,5	Lamelar
19	59	4,3	2,4	2,3	0,6	1,0	Cúbica
19	60	3,0	2,5	1,6	0,8	0,6	Cúbica
19	61	5,5	2,3	1,2	0,4	0,5	Alongada
19	62	4,9	3,0	1,1	0,6	0,4	Lamelar
19	63	5,7	2,3	1,6	0,4	0,7	Alongada
19	64	4,4	1,7	1,6	0,4	0,9	Alongada
19	65	3,4	2,6	2,5	0,8	1,0	Cúbica
19	66	5,9	2,6	1,1	0,4	0,4	Alongada-lamelar
19	67	4,2	2,8	1,1	0,7	0,4	Lamelar
19	68	5,0	2,8	1,9	0,6	0,7	Cúbica
19	69	3,9	2,2	1,7	0,6	0,7	Cúbica
19	70	3,1	2,2	1,1	0,7	0,5	Cúbica
19	71	4,3	3,0	1,2	0,7	0,4	Lamelar
19	72	4,8	2,0	0,7	0,4	0,4	Alongada-lamelar
19	73	2,8	2,2	2,2	0,8	1,0	Cúbica
19	74	3,8	2,4	0,9	0,6	0,4	Lamelar
19	75	4,9	2,8	1,8	0,6	0,7	Cúbica
19	76	3,0	2,3	1,5	0,8	0,6	Cúbica
19	77	3,6	2,6	1,1	0,7	0,4	Lamelar
19	78	3,4	2,2	1,5	0,6	0,7	Cúbica

Tabela 51 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
19	79	3,6	2,5	1,3	0,7	0,5	Cúbica
19	80	4,0	2,8	1,3	0,7	0,5	Lamelar
19	81	3,6	2,3	0,6	0,6	0,3	Lamelar
19	82	3,8	2,2	1,9	0,6	0,9	Cúbica
19	83	3,2	2,5	1,8	0,8	0,7	Cúbica
19	84	3,8	2,7	2,1	0,7	0,8	Cúbica
19	85	3,1	3,1	1,4	1,0	0,4	Lamelar
19	86	3,2	2,8	2,3	0,9	0,8	Cúbica
19	87	3,4	2,7	0,9	0,8	0,3	Lamelar
19	88	3,7	2,4	2,0	0,7	0,8	Cúbica
19	89	2,9	1,8	1,5	0,6	0,8	Cúbica
19	90	3,6	2,2	1,5	0,6	0,7	Cúbica
19	91	3,1	2,5	1,0	0,8	0,4	Lamelar
19	92	3,2	1,9	1,0	0,6	0,5	Cúbica
19	93	3,7	2,1	1,5	0,6	0,7	Cúbica
19	94	5,3	3,1	1,6	0,6	0,5	Cúbica
19	95	4,0	2,4	1,5	0,6	0,6	Cúbica
19	96	3,6	2,6	1,6	0,7	0,6	Cúbica
19	97	3,9	3,0	1,2	0,8	0,4	Lamelar
19	98	4,5	2,5	1,4	0,5	0,6	Cúbica
19	99	3,5	3,0	1,1	0,9	0,4	Lamelar
19	100	3,6	2,6	0,9	0,7	0,4	Lamelar

Tabela 51 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

		Relações		Classificação Individual	
		b/a	c/b		
Média Aritmética		0,7	0,6		
Desvio Padrão		0,2	0,2		
Coeficiente de Variação (%)		23%	33%		
Nota:	Classes				
	b/a ≥	0,5	c/b ≥	0,5	Cúbica
	b/a <	0,5	c/b ≥	0,5	Alongada
	b/a ≥	0,5	c/b <	0,5	Lamelar
	b/a <	0,5	c/b <	0,5	Alongada-lamelar
	Forma Média das Partículas				Cúbica
	Indivíduos Cúbicos (%)				58%
	Indivíduos Não Cúbicos (%)				42%
	Exigências do Lastro Ferroviário				
	Forma Média das Partículas	Cúbica		Atende	
Indivíduos Não Cúbicos (%)	≤ 15%		Não atende		

Tabela 52 – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo B da ANBT (2011)).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Cápsula	Tara (g)	M. Seca + Tara (g)	M. Sat. + Tara (g)	Massa Subm. (g)	M. Esp. Aparente (g)	Porosidade Aparente (%)	Absorção (%)
1	158	9,29	114,92	115,7	63,62	2470	1,82	0,74
2	220	9,45	108,96	109,82	59,68	2450	2,11	0,86
3	160	9,95	110,04	110,78	61,40	2540	1,88	0,74
4	183	9,35	128,11	128,78	71,73	2490	1,40	0,56
5	236	10,66	142,43	143,14	80,16	2520	1,36	0,54

Tabela 52 (cont.) – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo B da ANBT (2011).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Cápsula	Tara (g)	M. Seca + Tara (g)	M. Sat. + Tara (g)	Massa Subm. (g)	M. Esp. Aparente (g)	Porosidade Aparente (%)	Absorção (%)
6	200	9,32	93,21	93,71	50,88	2500	1,49	0,60
7	223	9,45	115,58	116,26	64,59	2510	1,61	0,64
8	257	10,08	106,33	107,09	60,93	2670	2,11	0,79
9	249	10,66	100,81	101,67	55,94	2570	2,45	0,95
10	288	14,38	109,36	110,07	59,86	2650	1,98	0,75
Média Aritmética						2540	1,82%	0,72%
Desvio Padrão						73	0,36%	0,13%
Coeficiente de Variação (%)						3%	19%	19%
Exigências do Lastro Ferroviário								
Massa Específica Aparente							≥ 2500	Atende
Porosidade							≤ 1,50%	Não atende
Absorção							≤ 0,80%	Atende

Tabela 53 – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011).

Resistência à intempérie			
Amostra	Massa Inicial	Massa Final	Resistência à Intempérie (20 Ciclos)
1	83,89	70,12	16,41
2	90,15	74,68	17,16
3	94,98	77,42	18,49
4	96,25	78,68	18,25
5	99,51	83,02	16,57
6	100,09	89	11,08
7	105,63	90,17	14,64

Tabela 53 (cont.) – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011)).

Resistência à intempérie			
Amostra	Massa Inicial	Massa Final	Resistência à Intempérie (20 Ciclos)
8	106,13	104,68	1,37
9	118,76	117,72	0,88
10	131,77	130,74	0,78
Média			11,56%
Desvio Padrão			7,58%
Coeficiente de Variação (%)			66%
Exigências do Lastro Ferroviário			
Resistência à Intempérie (%)		≤ 10,0%	Não atende

Tabela 54 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR NM 45 da ABNT (2006)).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Tara (kg)	Agreg. + Tara (kg)	Temp. (°C)	M. Esp. da Águ (kg/m³)	M. Água + Tara (kg)	M. Agreg. (kg)	Volume (m³)	Dens. Apar. Seca (kg/m³)
1	9,35	28,15	23,5	997,43	24,25	18,80	0,015	1260
2	9,35	28,00	23,5	997,43	24,25	18,65	0,015	1250
3	9,35	28,00	23,5	997,43	24,25	18,65	0,015	1250
Média Aritmética								1250
Desvio Padrão								6
Coeficiente de Variação (%)								0,5%
Exigências do Lastro Ferroviário								
Massa Unitária no Estado Solto (kg/m³)						1250	Atende	

Tabela 55 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 45 da ABNT (2006)).

Abrasão Los Angeles	
Massa Total da Amostra Seca (g)	5000
Massa da Amostra Lavada e Seca após Ensaio (g)	2487
Abrasão Los Angeles (%)	50%

2.3. Para as amostras dos casqueiros britados de granito verde pavão

Tabela 56 – Análise granulométrica do casqueiro britado do granito verde pavão (NBR 7181 da ABNT (2016)).

Peneiramento - Rocha Verde					
Abertura peneiras (mm)	Retido (g)	Retido acumulado (g)	Passado (g)	% que passa	% retida acumulada
50	0	0	15000,00	100,00	0,00
37,5	1500	1500	13500,00	90,00	10,00
25	3000	4500	10500,00	70,00	30,00
19	7500	12000	3000,00	20,00	80,00
12,7	2250	14250	750,00	5,00	95,00
9,5	300	14550	450,00	3,00	97,00
6,3	109	14659	341,00	2,27	97,73
4,8	31,5	14690,5	309,50	2,06	97,94
2	112	14802,5	197,50	1,32	98,68
Fundo	197,5	15000			
Amostra total	15000				

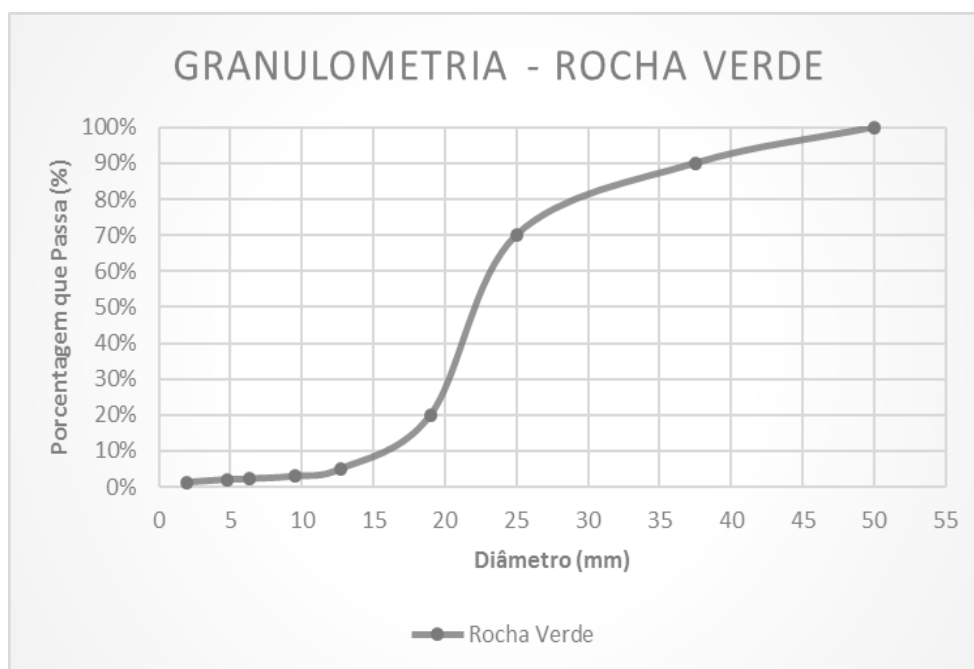


Figura 160 – Curva granulométrica do casqueiro britado do granito verde pavão.

Tabela 57 – Teor de umidade do casqueiro britado do granito verde pavão. (NBR 7181 da ABNT (2016)).

UMIDADE			
Cápsula (N°)	236	220	173
Mt (g)	10,64	9,43	8,77
Mt+s+a (g)	26,77	25,68	23,84
Mt+s (g)	26,71	25,64	23,79
Umidade (%)	0,37%	0,25%	0,33%
Umidade média (%)	0,35%		

Tabela 58 – Teor de material pulverulento do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR NM 46 da ABNT (2003)).

TEOR DE MATERIAL PULVERULENTO	
Amostra total úmida (g)	15000,00
Amostra parcial úmida (g)	242,30
Mt+s (g)	270,53
Mt (g)	43,07
Amostra parcial seca (g)	241,45
Massa que passa na #200 (g)	14,84
Porcentagem que passa em relação a amostra parcial seca (%)	6,15%
Amostra total seca (g)	14999,31
Porcentagem do fundo em relação a amostra total (%)	196,81
Teor de Material Pulverulento (%)	0,08%

Tabela 59 – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
38	1	7,2	6,2	2,5	0,9	0,4	Lamelar
38	2	6,2	4,9	2,2	0,8	0,4	Lamelar
38	3	6,5	5,5	2,2	0,8	0,4	Lamelar
38	4	5,9	5,5	1,8	0,9	0,3	Lamelar
38	5	5,8	4,2	3,1	0,7	0,7	Cúbica

Tabela 59 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
38	6	7,4	5,0	2,2	0,7	0,4	Lamelar
38	7	4,9	4,1	2,5	0,8	0,6	Cúbica
38	8	5,3	5,0	2,3	0,9	0,5	Lamelar
38	9	5,8	5,0	2,9	0,9	0,6	Cúbica
38	10	7,0	6,9	2,6	1,0	0,4	Lamelar
38	11	5,7	4,4	1,7	0,8	0,4	Lamelar
38	12	5,4	4,6	2,5	0,8	0,5	Cúbica
38	13	6,5	4,3	2,3	0,7	0,5	Cúbica
25	14						
25	15	5,7	3,5	2,1	0,6	0,6	Cúbica
25	16	7,0	3,5	3,4	0,5	1,0	Alongada
25	17	5,1	4,3	2,4	0,9	0,5	Cúbica
25	18	5,8	4,2	2,1	0,7	0,5	Cúbica
25	19	4,9	3,6	2,4	0,7	0,7	Cúbica
25	20	6,2	3,2	2,4	0,5	0,8	Cúbica
25	21	4,9	3,8	2,8	0,8	0,7	Cúbica
25	22	4,9	3,3	3,2	0,7	1,0	Cúbica
25	23	4,9	3,2	1,5	0,7	0,5	Lamelar
25	24	4,2	3,5	1,1	0,8	0,3	Lamelar
25	25	3,5	3,2	2,6	0,9	0,8	Cúbica
25	26	5,5	2,5	1,8	0,5	0,7	Alongada
25	27	4,6	3,3	2,7	0,7	0,8	Cúbica
25	28	6,2	3,3	1,5	0,5	0,4	Lamelar
25	29	3,9	3,6	2,7	0,9	0,8	Cúbica
25	30						

Tabela 59 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
25	31	4,9	3,6	2,1	0,7	0,6	Cúbica
25	32	5,4	3,6	2,4	0,7	0,7	Cúbica
25	33	6,1	3,5	3,0	0,6	0,9	Cúbica
25	34	4,8	3,2	1,0	0,7	0,3	Lamelar
25	35	5,0	4,6	1,9	0,9	0,4	Lamelar
25	36	4,1	3,5	1,8	0,9	0,5	Cúbica
25	37	5,4	2,6	2,3	0,5	0,9	Alongada
25	38	4,4	4,0	2,4	0,9	0,6	Cúbica
19	39	6,3	2,2	2,2	0,4	1,0	Alongada
19	40	5,9	2,3	2,2	0,4	1,0	Alongada
19	41	3,2	2,7	1,8	0,9	0,7	Cúbica
19	42	5,2	2,2	1,1	0,4	0,5	Alongada
19	43	3,9	2,2	1,0	0,6	0,4	Lamelar
19	44	5,4	2,7	0,9	0,5	0,3	Alongada-lamelar
19	45	6,2	2,1	1,5	0,3	0,7	Alongada
19	46	4,6	2,2	1,5	0,5	0,7	Alongada
19	47	4,9	2,2	1,4	0,5	0,6	Alongada
19	48	3,1	2,4	2,3	0,8	0,9	Cúbica
19	49	3,5	2,9	1,2	0,8	0,4	Lamelar
19	50	3,9	2,9	1,2	0,8	0,4	Lamelar
19	51	3,3	3,1	1,5	1,0	0,5	Lamelar
19	52	3,4	2,7	1,4	0,8	0,5	Cúbica
19	53	4,8	2,6	2,6	0,5	1,0	Cúbica
19	54	4,1	2,5	2,1	0,6	0,8	Cúbica

Tabela 59 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
19	55	5,7	2,8	1,4	0,5	0,5	Alongada
19	56	5,8	2,3	1,7	0,4	0,8	Alongada
19	57	5,5	2,1	1,7	0,4	0,8	Alongada
19	58	5,4	3,1	1,2	0,6	0,4	Lamelar
19	59	6,5	2,5	1,3	0,4	0,5	Alongada
19	60	4,4	1,9	1,7	0,4	0,9	Alongada
19	61	5,5	2,3	2,0	0,4	0,9	Alongada
19	62	4,7	2,5	2,0	0,5	0,8	Cúbica
19	63	5,5	1,7	1,6	0,3	1,0	Alongada
19	64	5,3	2,2	1,2	0,4	0,5	Alongada
19	65	3,5	2,7	2,2	0,8	0,8	Cúbica
19	66	3,1	2,7	2,0	0,9	0,7	Cúbica
19	67	7,5	2,2	1,6	0,3	0,8	Alongada
19	68	5,4	2,8	1,5	0,5	0,5	Cúbica
19	69	5,2	2,0	1,3	0,4	0,6	Alongada
19	70	3,1	2,4	1,5	0,8	0,6	Cúbica
19	71	4,6	1,9	1,5	0,4	0,8	Alongada
19	72	5,1	2,2	1,9	0,4	0,9	Alongada
19	73	4,5	2,4	1,6	0,5	0,7	Cúbica
19	74	5,1	2,8	2,0	0,5	0,7	Cúbica
19	75	3,4	2,1	2,0	0,6	0,9	Cúbica
19	76	3,7	2,3	2,0	0,6	0,9	Cúbica
19	77	6,5	2,7	1,6	0,4	0,6	Alongada
19	78	4,6	2,5	1,4	0,5	0,6	Cúbica
19	79	3,3	2,8	1,4	0,8	0,5	Cúbica

Tabela 59 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

Forma dos grãos							
Peneira (mm)	Amostras	Dimensões (cm)			Relações		Classificação Individual
		a	b	c	b/a	c/b	
19	80	5,0	2,4	0,9	0,5	0,4	Alongada-lamelar
19	81	3,4	2,5	2,0	0,7	0,8	Cúbica
19	82	4,7	2,4	2,0	0,5	0,8	Cúbica
19	83	3,9	2,8	1,3	0,7	0,5	Lamelar
19	84	3,7	2,6	1,2	0,7	0,4	Lamelar
19	85	3,5	2,6	0,8	0,7	0,3	Lamelar
19	86	2,6	2,5	1,2	1,0	0,5	Lamelar
19	87	4,7	2,3	1,6	0,5	0,7	Alongada
19	88	4,2	3,0	1,4	0,7	0,5	Lamelar
19	89	3,8	2,4	1,2	0,6	0,5	Cúbica
19	90	3,2	3,0	1,4	0,9	0,5	Lamelar
19	91	4,5	2,3	1,5	0,5	0,6	Cúbica
19	92	2,8	1,9	1,7	0,7	0,9	Cúbica
19	93	3,8	2,0	1,5	0,5	0,7	Cúbica
19	94	3,3	2,3	1,3	0,7	0,6	Cúbica
19	95	3,5	2,2	1,6	0,6	0,8	Cúbica
19	96	3,7	2,1	2,0	0,6	1,0	Cúbica
19	97	4,2	2,0	1,8	0,5	0,9	Alongada
19	98	3,6	1,9	1,7	0,5	0,9	Cúbica
19	99	3,1	2,4	1,8	0,8	0,8	Cúbica
19	100	5,3	1,9	1,4	0,4	0,7	Alongada

Tabela 59 (cont.) – Forma dos grãos do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo A da ABNT (2011)).

		Relações		Classificação Individual
		b/a	c/b	
Média Aritmética		0,6	0,6	
Desvio Padrão		0,2	0,2	
Coeficiente de Variação (%)		28%	29%	
Nota:				Classes
b/a ≥	0,5	c/b ≥	0,5	Cúbica
b/a <	0,5	c/b ≥	0,5	Alongada
b/a ≥	0,5	c/b <	0,5	Lamelar
b/a <	0,5	c/b <	0,5	Alongada-lamelar
Forma Média das Partículas				Cúbica
Indivíduos Cúbicos (%)				48%
Indivíduos Não Cúbicos (%)				52%
Exigências do Lastro Ferroviário				
Forma Média das Partículas		Cúbica		Atende
Indivíduos Não Cúbicos (%)		≤ 15%		Não atende

Tabela 60 – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo B da ANBT (2011)).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Cápsula	Tara (g)	M. Seca + Tara (g)	M. Sat. + Tara (g)	Massa Subm. (g)	M. Esp. Aparente (g)	Porosidade Aparente (%)	Absorção (%)
1	202	9,56	96,46	96,88	54,10	2620	1,26	0,48
2	275	13,99	158,02	158,77	84,19	2380	1,24	0,52
3	227	9,68	172,70	173,66	99,41	2520	1,49	0,59
4	266	14,97	115,29	115,81	62,48	2620	1,36	0,52
5	292	13,16	117,51	118,07	64,69	2590	1,39	0,54

Tabela 60 (cont.) – Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água do casqueiro britado do cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo B da ABNT (2011).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Cápsula	Tara (g)	M. Seca + Tara (g)	M. Sat. + Tara (g)	Massa Subm. (g)	M. Esp. Aparente (g)	Porosidade Aparente (%)	Absorção (%)
6	258	10,87	106,98	107,46	58,16	2500	1,25	0,50
7	268	14,76	112,21	112,79	58,26	2450	1,46	0,60
8	256	10,75	87,47	87,98	48,09	2630	1,75	0,66
9	176	9,29	109,57	110,31	60,71	2490	1,84	0,74
10	229	8,7	128,11	128,81	75,68	2690	1,58	0,59
Média Aritmética						2550	1,46%	0,57%
Desvio Padrão						96	0,21%	0,08%
Coeficiente de Variação (%)						4%	14%	14%
Exigências do Lastro Ferroviário								
Massa Específica Aparente							≥ 2500	Atende
Porosidade							≤ 1,50%	Atende
Absorção							≤ 0,80%	Atende

Tabela 61 – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011).

Resistência à intempérie			
Amostra	Massa Inicial	Massa Final	Resistência à Intempérie (20 Ciclos)
1	76,72	75,81	1,19
2	86,9	86,68	0,25
3	96,11	95,83	0,29
4	97,45	96,18	1,30
5	100,28	99,75	0,53
6	100,32	99,87	0,45
7	104,35	103,98	0,35

Tabela 61 (cont.) – Resistência à intempérie do casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR 5564 - Anexo C da ABNT (2011).

Resistência à intempérie			
Amostra	Massa Inicial	Massa Final	Resistência à Intempérie (20 Ciclos)
8	119,41	119,23	0,15
9	144,03	142,74	0,90
10	163,02	161,86	0,71
Média			0,61%
Desvio Padrão			0,40%
Coeficiente de Variação (%)			65%
Exigências do Lastro Ferroviário			
Resistência à Intempérie (%)		≤ 10,0%	Atende

Tabela 62 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito cinza andorinha (NBR NM 45 da ABNT (2006).

Massa específica aparente, porosidade aparente e absorção de água								
Amostra	Tara (kg)	Agreg. + Tara (kg)	Temp. (°C)	M. Esp. da Águ (kg/m³)	M. Água + Tara (kg)	M. Agreg. (kg)	Volume (m³)	Dens. Apar. Seca (kg/m³)
1	9,35	27,90	23,5	997,43	24,25	18,55	0,015	1240
2	9,35	27,85	23,5	997,43	24,25	18,50	0,015	1240
3	9,35	28,10	23,5	997,43	24,25	18,75	0,015	1260
Média Aritmética								1250
Desvio Padrão								12
Coeficiente de Variação (%)								0,9%
Exigências do Lastro Ferroviário								
Massa Unitária no Estado Solto (kg/m³)							1250	Atende

Tabela 63 – Limite de massa unitária no estado solto para o casqueiro britado do granito amarelo (NBR NM 45 da ABNT (2006)).

Abrasão Los Angeles	
Massa Total da Amostra Seca (g)	5000
Massa da Amostra Lavada e Seca após Ensaio (g)	2598
Abrasão Los Angeles (%)	48%

Anexo 3

3. Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples dos casqueiros de granitos, segundo a norma NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011), realizados no laboratório da empresa BRASCONTEC ENGENHARIA E TECNOLOGIA LTDA, situada no município de Serra, ES.

Tabela 64 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão simples dos casqueiros dos granitos amarelo, cinza andorinha e verde pavão (NBR 5564 – Anexo D da ABNT (2011)).



Cert. n.º 01/2020
Rev.: 00

Cliente: MANANCIAL PROJETOS

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO UNIAXIAL DE ROCHAS NO ESTADO SATURADO (ABNT NBR 5564:2011 - ANEXO D)

Grupo ¹	Corpo de prova	Diâmetro (mm)				Área (mm²)	Altura (mm)	Volume (m³)	Relação H/d	Massa (kg)	Massa específica (kg/m³)	Carga de ruptura (kgf)	Tensão de ruptura (MPa)	Tipo de ruptura
		Ø ₁	Ø ₂	Ø ₃	Média									
GVP	V1	75,1	75,0	74,9	75,0	4.417,9	193,2	0,00087	2,5	2,375	2.740,0	57.320	127,2	Cônica
	V2	75,2	75,4	75,2	75,3	4.448,3	193,2	0,00096	2,6	2,336	2.717,5	50.600	111,5	Cônica bipartida
	V3	74,9	74,9	74,8	74,9	4.402,2	194,5	0,00086	2,6	2,353	2.747,6	52.440	116,8	Cisalhada
	V4	74,9	74,7	74,6	74,7	4.386,5	188,5	0,00083	2,5	2,253	2.709,9	31.570	70,6	Cisalhada
	V5	74,8	74,7	74,6	74,7	4.382,0	193,0	0,00086	2,6	2,334	2.722,7	50.670	113,4	Cônica cisalhada
GA	A1	75,2	75,3	75,1	75,2	4.441,5	183,6	0,00082	2,4	2,131	2.613,3	46.780	103,3	Colunar
	A2	75,1	75,2	75,1	75,1	4.433,5	183,4	0,00081	2,4	2,139	2.650,6	56.720	125,5	Cônica bipartida
	A3	74,7	74,9	74,8	74,8	4.396,3	196,3	0,00096	2,6	2,213	2.563,2	41.510	92,6	Cônica cisalhada
	A4	75,3	75,2	75,3	75,3	4.449,3	171,5	0,00076	2,3	1,953	2.558,9	43.580	95,1	Colunar
	A5	74,8	74,9	74,8	74,8	4.398,3	180,5	0,00079	2,4	2,040	2.570,1	36.500	81,6	Cônica cisalhada
GCA	C1	75,2	75,4	75,3	75,3	4.453,3	185,7	0,00084	2,5	2,239	2.650,4	62.350	137,3	Cônica bipartida
	C2	75,1	75,2	75,1	75,1	4.433,6	192,3	0,00085	2,5	2,271	2.653,7	44.910	99,3	Colunar
	C3	74,8	74,9	74,8	74,8	4.386,3	174,8	0,00077	2,3	2,036	2.647,4	38.500	85,8	Cônica cisalhada
	C4	74,9	74,8	74,9	74,9	4.402,2	173,7	0,00075	2,4	2,057	2.615,3	32.750	73,0	Colunar
	C5	74,9	74,8	74,7	74,8	4.394,3	176,5	0,00078	2,4	2,039	2.629,4	50.400	112,6	Colunar

a. GVP – Granito Verde Pavão, GA – Granito Amarelo e GCA – Granito Cinza Andorinha.

- Ensaio realizado na prensa hidráulica elétrica digital, da marca Contecno, modelo H200T, n.º de série 35 e faixa nominal 200 tf. Calibrada pela Ónix Metcologia, em 18 de novembro de 2019.

- Taxa de carregamento utilizada no ensaio: 0,45 MPa/s.

- Os corpos de prova foram fabricados em refil.

- Os ensaios foram realizados após 48h de saturação dos corpos de prova.

Os resultados apresentados neste documento referem-se única e exclusivamente às amostras ensaiadas, representativas das lotes.

lgt

Anexo 4

4. Resultados do ensaio de carga puntiforme (Point Load Test) nos casqueiros de granitos, realizados no laboratório do GTEP PUC/Rio.

Tabela 65 – Resultados do ensaio de carga puntiforme (Point Load Test) nos casqueiros de granitos, realizados no laboratório do GTEP PUC/Rio.

Grupo	Corpo de prova	P (kN)	D_e^2 (mm)	D_e (mm)	I_s (MPa)	F	$I_s^{(50)}$ (MPa)
GA	A1 _{PL}	7,41	1565,14	39,56	4,73	0,90	4,26
	A2_{PL}	5,31	1801,33	42,44	2,95	0,93	2,74
	A3 _{PL}	7,91	1808,70	42,53	4,37	0,93	4,07
	A4 _{PL}	4,98	1576,81	39,71	3,16	0,90	2,85
	A5_{PL}	8,34	1775,31	42,13	4,70	0,93	4,35
	A6 _{PL}	5,31	2221,94	47,14	2,39	0,97	2,33
	A7 _{PL}	6,27	1978,21	44,48	3,17	0,95	3,01
	A8 _{PL}	5,34	1827,08	42,74	2,92	0,93	2,72
	A9_{PL}	7,99	1598,69	39,98	5,00	0,90	4,52
	A10 _{PL}	7,51	1663,84	40,79	4,51	0,91	4,12
	A11 _{PL}	5,27	1743,54	41,76	3,02	0,92	2,79
	A12_{PL}	4,69	1568,55	39,60	2,99	0,90	2,69
GCA	C1 _{PL}	8,04	1717,09	41,44	4,68	0,92	4,30
	C2_{PL}	13,67	1835,12	42,84	7,45	0,93	6,95
	C3 _{PL}	7,35	1757,41	41,92	4,18	0,92	3,86
	C4 _{PL}	7,27	1733,64	41,64	4,19	0,92	3,86
	C5_{PL}	6,92	1982,06	44,52	3,49	0,95	3,31
	C6 _{PL}	9,4	1696,76	41,19	5,54	0,92	5,08
	C7 _{PL}	9,03	1737,11	41,68	5,20	0,92	4,79
	C8 _{PL}	10,3	1844,11	42,94	5,59	0,93	5,22
	C9 _{PL}	9,96	1847,75	42,99	5,39	0,93	5,04
	C10_{PL}	6,63	1920,05	43,82	3,45	0,94	3,25
	C11 _{PL}	9,95	1786,59	42,27	5,57	0,93	5,16

Tabela 65 (cont.) – Resultados do ensaio de carga puntiforme (Point Load Test) nos casqueiros de granitos, realizados no laboratório do GTEP PUC/Rio.

Grupo	Corpo de prova	P (kN)	D_e^2 (mm)	D_e (mm)	I_s (MPa)	F	$I_s(50)$ (MPa)
GCA	C12_{PL}	11,3	1804,42	42,48	6,26	0,93	5,82
	V1 _{PL}	6,54	1791,99	42,33	3,65	0,93	3,39
	V2 _{PL}	6,5	2042,49	45,19	3,18	0,96	3,04
	V3_{PL}	8,38	2119,06	46,03	3,95	0,96	3,81
	V4 _{PL}	8,27	1807,06	42,51	4,58	0,93	4,25
	V5 _{PL}	6,09	1669,36	40,86	3,65	0,91	3,33
	V6 _{PL}	6,47	1797,08	42,39	3,60	0,93	3,34
GVP	V7_{PL}	8,8	2216,60	47,08	3,97	0,97	3,86
	V8 _{PL}	5,17	2014,54	44,88	2,57	0,95	2,44
	V9 _{PL}	7,64	2083,14	45,64	3,67	0,96	3,52
	V10 _{PL}	8,2	1838,07	42,87	4,46	0,93	4,16
	V11_{PL}	4,81	1908,52	43,69	2,52	0,94	2,37
	V12_{PL}	6,01	2330,07	48,27	2,58	0,98	2,54

Nota: Os valores em negrito correspondem aos valores extremos da carga puntiforme aplicada (P), isto é, os dois maiores e os dois menores valores para cada grupo de granitos, que foram descartados, conforme sugere a norma ISRM (1985).

Anexo 5

5. Resultados das caracterizações químicas dos casqueiros de granitos amarelo, cinza andorinha e verde pavão, triturados na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004) quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, realizados no Laboratório TOMMASI AMBIENTAL, situado no município de Serra, ES.

Tabela 66 – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).

 Tommasi ambiental	CONSIDERAÇÕES DE RELATÓRIOS ANALÍTICOS	FO-ANL-141
		Revisão: 01
		Emissão: 02/10/2017
		Página: 1/1

INFORMAÇÕES DO CLIENTE

Cliente.....: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli

Endereço....: Rod. BR 101 Norte, Nova Carapina – Serra ES

CONSIDERAÇÕES

Relatório(s) Referenciado(s): 12617-1, 12617-2 e 12617-3.

Levando em consideração somente os parâmetros analisados nos relatórios acima referenciados, utilizando como comparativo os valores referenciais da Norma ABNT 10004:2004, sugere-se para esta matriz de resíduo, a classificação de Resíduo não inerte classe IIA.

Serra/ES, 16 de Julho de 2018,



Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Identificação do Cliente	
Cliente: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli (Filial 2)	CNPJ/CPF: 06.265.214/0003-38
Contato: Júlio C. S. Prezotti	Telefone: (27) 3229-2671
Endereço: Rodovia BR 101 Norte, KM 259, Nova Carapina, Serra, ES - Nova Carapina - Espírito Santo - Brazil	

Informações da Amostra - N°: 12617-1/2018.0 - Casqueiro de Granito Amarelo	
Tipo de Amostra: Resíduo Massa Bruta	ID Amostra: 46859
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:49
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO AMARELO
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Observações:	Latitude: -
Longitude: -	

Resultados Analíticos					
Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
pH (Suspensão 1:1)	9,05	2 a 12,5	2,00 - 14,00	EPA 9045 D	7,11%
Porcentagem Sólidos	99,82 %	NA	0,05 %	SMWW 22ª Edição, Método 2540 B	-
Teor de Umidade	< 1 %	NA	1 %	MANUAL MÉTODOS ANÁLISE SOLO EMBRAPA, 2ª ED., 1997	-

Análises Terceirizadas					
BIOAGRI					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
Cianeto	0,1 mg/kg	Máx 250 mg/kg	0,1 mg/kg	EPA 9213	-
Sulfeto	10,8 mg/kg	Máx 500 mg/kg	1 mg/kg	EPA 9034/9030 B	-

Informações da Amostra - N°: 12617-2/2018.0 - Casqueiro de Granito Amarelo	
Tipo de Amostra: Resíduo Solubilizado	ID Amostra: 46860
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:49
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO AMARELO
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Coordenadas Geográficas: 361285.51ME/775699.23MS	Observações:
Latitude: -	Longitude: -

Resultados Analíticos	

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,00060 mg/L	Máx. 0,0006 mg/L	0,00060 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,02 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,0002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,000030 mg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,000030 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
pH Final do Solubilizado	7,97	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-082 Rev.01	7,11%
Cianeto Total	< 0,05 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,05 mg/L	POP-FQ-052 Anexo V Rev. 16	6,20%
Cloreto Total	29 mg/L	Máx. 250 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo VI Rev. 16	14,00%
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 1,5 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
Nitrato	0,32 mg/L	Máx. 10,0 mg/L	0,23 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XX Rev. 16	7,70%
Sulfato Total	10,0 mg/L	Máx. 250 mg/L	2,0 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXVII Rev. 16	9,00%
Surfactantes	< 0,10 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXIX Rev. 16	20,80%
Fenóis Totais	< 0,003 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,003 mg/L	POP-FQ-106 Rev. 00	29,33%

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Alumínio Total	0,229 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	5,13%
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%
Bário Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,7 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cobre Total	0,0147 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	4,59%
Cromo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Zinco Total	< 0,010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	9,27%
Ferro Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,3 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	10,91%
Manganês Total	0,022 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Mercurio Total	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Sódio Total	7,22 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,10 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	3,82%

Informações da Amostra - N°: 12617-3/2018.0 - Casqueiro de Granito Amarelo	
Tipo de Amostra: Resíduo Lixiviado	ID Amostra: 46861
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:49
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO AMARELO
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Coordenadas Geográficas: 361285,51ME/7775699,23MS	Observações:
Latitude: -	Longitude: -

Resultados Analíticos					
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4-Dinitrotolueno	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,13 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,77%
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Fenol					
		ABNT NBR 10.004, de 30 de			

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Análise	Resultado	Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 400 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	31,12%
2,4,6-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 20,0 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Cresol total	< 0,00010 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	34,80%
Pentaclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,9 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	25,13%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - HPA

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Benzo(a)pireno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,81%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,06 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Outros

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Nitrobenzeno	< 0,0000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,0000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Hexacloroetano	< 0,000010 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,00001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%

Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) - VOC					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
1,1,2-Tricloroetano	< 0,00200 mg/L	NA	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	23,74%
1,1-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	NA	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,70%
1,2-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,32%
1,4-Diclorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 7,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	19,77%
2-Butanona	< 0,00200 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Benzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	29,36%
Cloreto de Vinila	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	23,82%
Clorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 100 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,04%
Clorofórmio	0,00405 mg/L	Máx. 6,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,52%
Hexaclorobutadieno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,15%
Pinidina	< 0,00200 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Tetracloreto de Carbono	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,34%
Tetracloreto	< 0,00200 mg/L	Máx. 4,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,26%

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 150 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
pH Final do Lixiviado	4,74	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-083 Rev.01	7,11%
Tempo de Lixiviação	18,00 h	NA	1,00 h	ABNT 10005/2004	-
Volume do Extrato	2.000,0 L	NA	0,1 L	ABNT 10005/2004	-

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Bário Total	0,159 mg/L	Máx. 70 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cromo Total	0,293 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Mercurio Total	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%

Controle de Qualidade				
Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
2,4,5-T	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4,5-TP	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4-D	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Aldrin + dieldrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4,6-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4-Dinitrotolueno	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Benzo(a)pireno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Cresol total	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Endrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexaclorobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexacloroetano	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Lindano (gama-HCH)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Metoxicloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Nitrobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Pentaclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Clordano (cis + trans)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Toxaleno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Aldrin + dieldrin	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-Triclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4,6-Triclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4-Dinitrotolueno	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Benzo(a)pireno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Cresol total	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Endrin	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexaclorobenzeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexacloroetano	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Lindano (gama-HCH)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Metoxicloro	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Nitrobenzeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Pentaclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Clordano (cis + trans)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Toxafeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-T	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4,5-TP	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4-D	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0

Branco - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
1,1,2-Tricloroetano	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,1-Dicloroetano	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,2-Dicloroetano	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,4-Diclorobenzeno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
2-Butanona	CQ682-1/2018.0	< 20	µg/L	20,0
Benzeno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Cloreto de Vinila	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorobenzeno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorofórmio	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Hexaclorobutadieno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Piridina	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloroeto de Carbono	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloroetano	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0

Branco - Físico-Químico				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Fenóis Totais	CQ814-1/2018.0	< 0,003	mg/L	0,003
Cianeto Total	CQ781-1/2018.0	< 0,002	mg/L	0,002
Nitrato	CQ786-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,23
Sulfato Total	CQ791-1/2018.0	< 2	mg/L	2,0
Cloreto Total	CQ788-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,10
Surfactantes	CQ807-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,01

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Alumínio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Arsênio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Alumínio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Arsênio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Recuperação - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Hexaclorobenzeno	CQ1040-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	94
Lindano (gama-HCH)	CQ1040-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	123
Hexaclorobenzeno	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	90
Lindano (gama-HCH)	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	80

Recuperação - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
1,1-Dicloroetano	CQ683-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	99
Benzeno	CQ683-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	100
Cloreto de Vinila	CQ683-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	106

Recuperação - Físico-Químico					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Surfactantes	CQ808-1/2018.0	1	mg/L	Entre 75 e 125	90
Cloreto Total	CQ789-1/2018.0	0,5	mg/L		100
Sulfato Total	CQ790-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	100
Nitrato	CQ787-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cianeto Total	CQ782-1/2018.0	0,1	mg/L	Entre 75 e 125	94

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Alumínio Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	101
Arsênio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	95
Bário Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	93
Cádmio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	95
Chumbo Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	98
Cobre Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	102
Cromo Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Ferro Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	104
Manganês Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	98
Mercurio Total	CQ658-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	100
Prata Total	CQ658-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	77
Selênio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Sódio Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	120
Zinco Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Alumínio Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	99
Arsênio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Bário Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Cádmio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Chumbo Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cobre Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	105
Cromo Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Ferro Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	102
Manganês Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Mercurio Total	CQ822-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	102
Prata Total	CQ822-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	106
Selênio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	108
Sódio Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	87
Zinco Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	106

Declaração de Conformidade
A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos para os parâmetros analisados.
A presente amostra NÃO ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G, no(s) parâmetro(s) Alumínio Total
A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F para os parâmetros analisados.

Notas
Legendas NA: Não se aplica. LQ: Limite de Quantificação. SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd. Edition. Máx: Máximo Valor Permitido. Mín: Mínimo Valor Permitido. IL: Impossível Leitura. mg/kg: Miligrama por Kilo mg/L: Miligrama por Litro %: Porcentagem h: Hora mg/kg: Miligrama por Kilo mg/L: Miligrama por Litro

Embalagens e Preservantes			
46859 - Casqueiro de Granito Amarelo			
Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	300 g	Refrigeração	pH (Suspensão 1 para 1), Porcentagem de Sólidos, Teor de Umidade.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	400 g	Refrigeração	Sulfeto (B*).
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	500 g	Refrigeração	Cianeto (B*).

Embalagens e Preservantes			
46860 - Casqueiro de Granito Amarelo			
Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	401 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Cloreto Total (Kit), Nitrato (Kit), pH Final do Solubilizado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Pesticida.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Fenóis Totais.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Pote Plástico	100 g	Refrigeração	Cianeto Total (FQ).
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Tabela 66 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito amarelo na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12617/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

46860 - Casqueiro de Granito Amarelo			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Embalagens e Preservantes

46861 - Casqueiro de Granito Amarelo			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Pote Plástico	203 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Volume do Extrato, Tempo de Lixiviação, pH Final do Lixiviado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	200 g	Refrigeração	Pesticida, VOC.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Considerações Gerais

-O(s) resultado(s) se referem somente à(s) amostra(s) analisada(s).
 - Este Relatório Analítico só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 - A cadeia de custódia está à disposição para ser solicitada a qualquer momento pelo interessado.
 - Este Relatório Analítico está de acordo com a IN 02/2009 do IEMA.

- Quando a coleta é realizada pelo cliente o plano de amostragem e todas as informações de campo, tais como, identificação da amostra, data e hora da coleta, tipo de coleta, condições climáticas nas últimas 48 horas e no momento da coleta, coordenadas geográficas, local da coleta além dos resultados de ensaios realizados em campo, são de responsabilidade do mesmo. Neste caso, os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.

- Quando o Tommasi Ambiental é responsável pela coleta, o plano de amostragem é realizado no FO-ANL-074 baseado na NIT-DICLA-057. Para a retirada das amostras o Tommasi Ambiental utiliza o "POP-ANL-010 Procedimento de amostragem" e o "POP-ANL-011 Procedimento de Amostragem em Poços de Monitoramento" baseados no Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, CETESB, 2011, no SMWW 23 ed., 2017 e na ABNT NBR 15847-Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento-Métodos de Purga, 07/2010.

- Para as amostras ambientais, o Tommasi Ambiental garante que todas as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro, de acordo com cada matriz, segundo: Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras, Cetesb 2011; ABNT NBR 10007 Amostragem de Resíduos Sólidos; Projeto CETESB - GTZ - Amostragem do solo (6300 e 6310 de 11/1999) e SMEWW 23 ed., 2017, quando todo o trâmite analítico (retirada de amostra, transporte e análise) é de responsabilidade do Tommasi Ambiental. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, caso haja algum desvio, o cliente é imediatamente consultado sobre a disposição das amostras e a continuidade do processo analítico.

Chave de Validação: f8a6dba2a2ea43059e313a69a36401e2

Tabela 67 – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).

 Tommasi ambiental	CONSIDERAÇÕES DE RELATÓRIOS ANALÍTICOS	FO-ANL-141
		Revisão: 01
		Emissão: 02/10/2017
		Página: 1/1

INFORMAÇÕES DO CLIENTE

Cliente.....: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli

Endereço....: Rod. BR 101 Norte, Nova Carapina – Serra ES

CONSIDERAÇÕES

Relatório(s) Referenciado(s): 12614-1, 12614-2 e 12614-3.

Levando em consideração somente os parâmetros analisados nos relatórios acima referenciados, utilizando como comparativo os valores referenciais da Norma ABNT 10004:2004, sugere-se para esta matriz de resíduo, a classificação de Resíduo não inerte classe IIA.

Serra/ES, 16 de Julho de 2018,



Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Identificação do Cliente	
Cliente: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli (Filial 2)	CNPJ/CPF: 06.265.214/0003-38
Contato: Júlio C. S. Prezotti	Telefone: (27) 3229-2671
Endereço: Rodovia BR 101 Norte, KM 259, Nova Carapina, Serra, ES - Nova Carapina - Espírito Santo - Brazil	

Informações da Amostra - N°: 12614-1/2018.0 - Casqueiro de Granito Cinza	
Tipo de Amostra: Resíduo Massa Bruta	ID Amostra: 46856
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:48
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO CINZA
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Observações:	Latitude: -
Longitude: -	

Resultados Analíticos

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
pH (Suspensão 1:1)	9,54	2 a 12,5	2,00 - 14,00	EPA 9045 D	7,11%
Porcentagem Sólidos	99,82 %	NA	0,05 %	SMWW 22ª Edição, Método 2540 B	-
Teor de Umidade	< 1 %	NA	1 %	MANUAL MÉTODOS ANÁLISE SOLO EMBRAPA, 2ª ED., 1997	-

Análises Terceirizadas

BIOAGRI					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
Cianeto	0,1 mg/kg	Máx 250 mg/kg	0,1 mg/kg	EPA 9213	-
Sulfeto	<1,0 mg/kg	Máx 500 mg/kg	1 mg/kg	EPA 9034/9030 B	-

Informações da Amostra - N°: 12614-2/2018.0 - Casqueiro de Granito Cinza	
Tipo de Amostra: Resíduo Solubilizado	ID Amostra: 46857
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:48
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO CINZA
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Coordenadas Geográficas: 361285.51ME/7775699.23MS	Observações:
Latitude: -	Longitude: -

Resultados Analíticos

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,00060 mg/L	Máx. 0,0006 mg/L	0,00060 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,02 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,0002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,000030 mg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,000030 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
pH Final do Solubilizado	7,96	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-082 Rev.01	7,11%
Cianeto Total	0,002 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,002 mg/L	POP-FQ-052 Anexo V Rev. 16	6,20%
Cloreto Total	6,4 mg/L	Máx. 250 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo VI Rev. 16	14,00%
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 1,5 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
Nitrato	< 0,23 mg/L	Máx. 10,0 mg/L	0,23 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XX Rev. 16	7,70%
Sulfato Total	< 2,0 mg/L	Máx. 250 mg/L	2,0 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXVII Rev. 16	9,00%
Surfactantes	< 0,10 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXIX Rev. 16	20,80%
Fenóis Totais	< 0,003 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,003 mg/L	POP-FQ-106 Rev. 00	29,33%

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Alumínio Total	0,405 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	5,13%
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%
Bário Total	0,012 mg/L	Máx. 0,7 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cobre Total	0,0020 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	4,59%
Cromo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Zinco Total	< 0,010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	9,27%
Ferro Total	0,108 mg/L	Máx. 0,3 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	10,91%
Manganês Total	0,062 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Mercurio Total	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Sódio Total	7,47 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,10 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	3,82%

Informações da Amostra - N°: 12614-3/2018.0 - Casqueiro de Granito Cinza

Tipo de Amostra: Resíduo Lixiviado	ID Amostra: 46858
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:48
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO CINZA
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Coordenadas Geográficas: 361285.51ME/7775699.23MS	Observações:
Latitude: -	Longitude: -

Resultados Analíticos

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4-Dinitrotolueno	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,13 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,77%
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Fenol					
		ABNT NBR 10.004, de 30 de			

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Análise	Resultado	Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 400 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	31,12%
2,4,6-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 20,0 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Cresol total	< 0,00010 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	34,80%
Pentaclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,9 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	25,13%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - HPA

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Benzo(a)pireno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,81%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,06 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Outros

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Nitrobenzeno	< 0,0000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,0000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Hexacloroetano	< 0,000010 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,000010 mg/L	Máx 0,00001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,000010 mg/L	Máx 0,001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%

Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) - VOC					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
1,1,2-Tricloroetano	< 0,00200 mg/L	NA	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	23,74%
1,1-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	NA	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,70%
1,2-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,32%
1,4-Diclorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 7,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	19,77%
2-Butanona	< 0,00200 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Benzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	29,36%
Cloreto de Vinila	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	23,82%
Clorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 100 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,04%
Clorofórmio	< 0,00200 mg/L	Máx. 6,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,52%
Hexaclorobutadieno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,15%
Piridina	< 0,00200 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Tetracloreto de Carbono	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,34%
Tetracloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 4,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,26%

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 150 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
pH Final do Lixiviado	5,00	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-083 Rev.01	7,11%
Tempo de Lixiviação	18,00 h	NA	1,00 h	ABNT 10005/2004	-
Volume do Extrato	2.000,0 L	NA	0,1 L	ABNT 10005/2004	-

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Bário Total	0,324 mg/L	Máx. 70 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	0,021 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cromo Total	0,096 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Mercurio Total	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%

Controle de Qualidade

Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Aldrin + dieldrin	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-Triclorofenol	CQ965-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4,6-Triclorofenol	CQ965-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4-Dinitrotolueno	CQ965-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Benzo(a)pireno	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Cresol total	CQ965-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Endrin	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexaclorobenzeno	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexacloroetano	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Lindano (gama-HCH)	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Metoxicloro	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Nitrobenzeno	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Pentaclorofenol	CQ965-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Clordano (cis + trans)	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Toxafeno	CQ965-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-T	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4,5-TP	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4-D	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4,5-T	CQ749-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4,5-TP	CQ749-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4-D	CQ749-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Aldrin + dieldrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4,6-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4-Dinitrotolueno	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Benzo(a)pireno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Cresol total	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Endrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Hexaclorobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexacloroetano	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Lindano (gama-HCH)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Metoxicloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Nitrobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Pentaclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Clordano (cis + trans)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Toxafeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01

Branco - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
1,1,2-Tricloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,1-Dicloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,2-Dicloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,4-Diclorobenzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
2-Butanona	CQ802-1/2018.0	< 20	µg/L	20,0
Benzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Cloreto de Vinila	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorobenzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorofórmio	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Hexaclorobutadieno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Piridina	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloroeto de Carbono	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0

Branco - Físico-Químico				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Surfactantes	CQ651-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,01
Nitrato	CQ632-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,23
Cloreto Total	CQ638-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,10
Fenóis Totais	CQ629-1/2018.0	< 0,003	mg/L	0,003
Sulfato Total	CQ641-1/2018.0	< 2	mg/L	2,0
Cianeto Total	CQ647-1/2018.0	< 0,002	mg/L	0,002

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Alumínio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Arsênio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Alumínio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Arsênio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ703-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ703-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Recuperação - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Hexaclorobenzeno	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	90
Lindano (gama-HCH)	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	80
Hexaclorobenzeno	CQ966-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	124
Lindano (gama-HCH)	CQ966-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	105

Recuperação - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
1,1-Dicloroetano	CQ803-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	94
Benzeno	CQ803-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	102
Cloreto de Vinila	CQ803-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	92

Recuperação - Físico-Químico					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Cianeto Total	CQ648-1/2018.0	0,1	mg/L	Entre 75 e 125	92
Nitrato	CQ631-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	110
Cloreto Total	CQ639-1/2018.0	7,5	mg/L		100
Sulfato Total	CQ640-1/2018.0	7,5	mg/L	Entre 75 e 125	98
Surfactantes	CQ652-1/2018.0	1	mg/L	Entre 75 e 125	100

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Alumínio Total	CQ704-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	99
Arsênio Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Bário Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Cádmio Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Chumbo Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cobre Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	105
Cromo Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Ferro Total	CQ704-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	102
Manganês Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Mercurio Total	CQ704-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	102
Prata Total	CQ704-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	106
Selênio Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	108
Sódio Total	CQ704-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	87
Zinco Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	106

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Alumínio Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	101
Arsênio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	95
Bário Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	93
Cádmio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	95
Chumbo Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	98
Cobre Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	102
Cromo Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Ferro Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	104
Manganes Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	98
Mercúrio Total	CQ658-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	100
Prata Total	CQ658-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	77
Selênio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Sódio Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	120
Zinco Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100

Declaração de Conformidade

A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos para os parâmetros analisados.

A presente amostra NÃO ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G, no(s) parâmetro(s) Alumínio Total

A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F para os parâmetros analisados.

Notas

Legendas

NA: Não se aplica.
 LQ: Limite de Quantificação.
 SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd. Edition.
 Máx: Máximo Valor Permitido.
 Mín: Mínimo Valor Permitido.
 IL: Impossível Leitura.

mg/kg: Miligrama por Kilo
 mg/L: Miligrama por Litro
 mg/L: Miligrama por Litro
 %: Porcentagem
 h: Hora
 mg/kg: Miligrama por Kilo
 mg/L: Miligrama por Litro

Embalagens e Preservantes

46856 - Casqueiro de Granito Cinza			
Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	300 g	Refrigeração	pH (Suspensão 1 para 1), Porcentagem de Sólidos, Teor de Umidade.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	400 g	Refrigeração	Sulfeto (B*).
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	500 g	Refrigeração	Cianeto (B*).

Embalagens e Preservantes

46857 - Casqueiro de Granito Cinza			
Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	401 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Cloreto Total (Kit), Nitrato (Kit), pH Final do Solubilizado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Pesticida.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Fenóis Totais.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Pote Plástico	100 g	Refrigeração	Cianeto Total (FQ).
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Tabela 67 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito cinza andorinha na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12614/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

46857 - Casqueiro de Granito Cinza			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Embalagens e Preservantes

46858 - Casqueiro de Granito Cinza			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Pote Plástico	203 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Volume do Extrato, Tempo de Lixiviação, pH Final do Lixiviado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	200 g	Refrigeração	Pesticida, VOC.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Considerações Gerais

-O(s) resultado(s) se referem somente à(s) amostra(s) analisada(s).
 -Este Relatório Analítico só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 -A cadeia de custódia está à disposição para ser solicitada a qualquer momento pelo interessado.
 -Este Relatório Analítico está de acordo com a IN 02/2009 do IEMA.

- Quando a coleta é realizada pelo cliente o plano de amostragem e todas as informações de campo, tais como, identificação da amostra, data e hora da coleta, tipo de coleta, condições climáticas nas últimas 48 horas e no momento da coleta, coordenadas geográficas, local da coleta além dos resultados de ensaios realizados em campo, são de responsabilidade do mesmo. Neste caso, os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.

- Quando o Tommasi Ambiental é responsável pela coleta, o plano de amostragem é realizado no FO-ANL-074 baseado na NIT-DICLA-057. Para a retirada das amostras o Tommasi Ambiental utiliza o "POP-ANL-010 Procedimento de amostragem" e o "POP-ANL-011 Procedimento de Amostragem em Poços de Monitoramento" baseados no Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, CETESB, 2011, no SMWW 23 ed., 2017 e na ABNT NBR 15847-Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento-Métodos de Purga, 07/2010.

- Para as amostras ambientais, o Tommasi Ambiental garante que todas as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro, de acordo com cada matriz, segundo: Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras, Cetesb 2011; ABNT NBR 10007 Amostragem de Resíduos Sólidos; Projeto CETESB - GTZ - Amostragem do solo (6300 e 6310 de 11/1999) e SMEWW 23 ed., 2017, quando todo o trâmite analítico (retirada de amostra, transporte e análise) é de responsabilidade do Tommasi Ambiental. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, caso haja algum desvio, o cliente é imediatamente consultado sobre a disposição das amostras e a continuidade do processo analítico.

Chave de Validação: 4466a7f129fc412b920db42fd4702a90

Tabela 68 – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).

 Tommasi ambiental	CONSIDERAÇÕES DE RELATÓRIOS ANALÍTICOS	FO-ANL-141
		Revisão: 01
		Emissão: 02/10/2017
		Página: 1/1

INFORMAÇÕES DO CLIENTE

Cliente.....: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli

Endereço....: Rod. BR 101 Norte, Nova Carapina – Serra ES

CONSIDERAÇÕES

Relatório(s) Referenciado(s): 12620-1, 12620-2 e 12620-3.

Levando em consideração somente os parâmetros analisados nos relatórios acima referenciados, utilizando como comparativo os valores referenciais da Norma ABNT 10004:2004, sugere-se para esta matriz de resíduo, a classificação de Resíduo inerte classe IIB.

Serra/ES, 16 de Julho de 2018,



Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Identificação do Cliente	
Cliente: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli (Filial 2)	CNPJ/CPF: 06.265.214/0003-38
Contato: Júlio C. S. Prezotti	Telefone: (27) 3229-2671
Endereço: Rodovia BR 101 Norte, KM 259, Nova Carapina, Serra, ES - Nova Carapina - Espírito Santo - Brazil	

Informações da Amostra - N°: 12620-1/2018.0 - Casqueiro de Granito Verde Pavão	
Tipo de Amostra: Resíduo Massa Bruta	ID Amostra: 46862
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:50
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO VERDE PAVÃO
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Observações:	Latitude: -
Longitude: -	

Resultados Analíticos

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
pH (Suspensão 1:1)	9,05	2 a 12,5	2,00 - 14,00	EPA 9045 D	7,11%
Porcentagem Sólidos	99,82 %	NA	0,05 %	SMWW 22ª Edição, Método 2540 B	-
Teor de Umidade	< 1 %	NA	1 %	MANUAL MÉTODOS ANÁLISE SOLO EMBRAPA, 2ª ED., 1997	-

Análises Terceirizadas

BIOAGRI					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
Cianeto	<0,1 mg/kg	Máx 250 mg/kg	0,1 mg/kg	EPA 9213	-
Sulfeto	<1,0 mg/kg	Máx 500 mg/kg	1 mg/kg	EPA 9034/9030 B	-

Informações da Amostra - N°: 12620-2/2018.0 - Casqueiro de Granito Verde Pavão	
Tipo de Amostra: Resíduo Solubilizado	ID Amostra: 46863
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:50
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO VERDE PAVÃO
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Coordenadas Geográficas: 361285,51ME/7775699,23MS	Observações:
Latitude: -	Longitude: -

Resultados Analíticos

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,00060 mg/L	Máx. 0,0006 mg/L	0,00060 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,02 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,0002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,000030 mg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,000030 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
pH Final do Solubilizado	7,03	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-082 Rev.01	7,11%
Cianeto Total	< 0,05 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,05 mg/L	POP-FQ-052 Anexo V Rev. 16	6,20%
Cloreto Total	10 mg/L	Máx. 250 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo VI Rev. 16	14,00%
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 1,5 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
Nitrato	< 0,23 mg/L	Máx. 10,0 mg/L	0,23 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XX Rev. 16	7,70%
Sulfato Total	5,0 mg/L	Máx. 250 mg/L	2,0 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXVII Rev. 16	9,00%
Surfactantes	< 0,10 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXIX Rev. 16	20,80%
Fenóis Totais	< 0,003 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,003 mg/L	POP-FQ-106 Rev. 00	29,33%

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Alumínio Total	0,154 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	5,13%
Arsênio Total	0,0035 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%
Bário Total	0,010 mg/L	Máx. 0,7 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cobre Total	0,0062 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	4,59%
Cromo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Zinco Total	0,010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	9,27%
Ferro Total	0,214 mg/L	Máx. 0,3 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	10,91%
Manganês Total	0,062 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Mercurio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Sódio Total	7,88 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,10 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	3,82%

Informações da Amostra - N°: 12620-3/2018.0 - Casqueiro de Granito Verde Pavão

Tipo de Amostra: Resíduo Lixiviado	ID Amostra: 46864
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 10/05/2018 16:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:50
Data de Recebimento: 10/05/2018	Data de Início das Análises: 10/05/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: CASQUEIRO DE GRANITO VERDE PAVÃO
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): -
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): -
Coordenadas Geográficas: 361285.51ME/7775699.23MS	Observações:
Latitude: -	Longitude: -

Resultados Analíticos

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4-Dinitrotolueno	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,13 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,77%
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Fenol					
		ABNT NBR 10.004, de 30 de			

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Análise	Resultado	Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 400 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	31,12%
2,4,6-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 20,0 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Cresol total	< 0,00010 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	34,80%
Pentaclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,9 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	25,13%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - HPA

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Benzo(a)pireno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,81%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,06 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Outros

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Nitrobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Hexacloroetano	< 0,000010 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,00001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%

Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) - VOC					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
1,1,2-Tricloroetano	< 0,00200 mg/L	NA	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	23,74%
1,1-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	NA	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,70%
1,2-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,32%
1,4-Diclorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 7,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	19,77%
2-Butanona	< 0,00200 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Benzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	29,36%
Cloreto de Vinila	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	23,82%
Clorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 100 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,04%
Clorofórmio	< 0,00200 mg/L	Máx. 6,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,52%
Hexaclorobutadieno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,15%
Piridina	< 0,00200 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Tetracloreto de Carbono	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,34%
Tetracloreto	< 0,00200 mg/L	Máx. 4,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,26%

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 150 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
pH Final do Lixiviado	4,94	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-083 Rev.01	7,11%
Tempo de Lixiviação	18,00 h	NA	1,00 h	ABNT 10005/2004	-
Volume do Extrato	2.000,0 L	NA	0,1 L	ABNT 10005/2004	-

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Bário Total	0,283 mg/L	Máx. 70 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cromo Total	0,131 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Mercúrio Total	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%

Controle de Qualidade

Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
2,4,5-T	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4,5-TP	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4-D	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Aldrin + dieldrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4,6-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4-Dinitrotolueno	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Benzo(a)pireno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Cresol total	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Endrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexaclorobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexacloroetano	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Lindano (gama-HCH)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Metoxicloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Nitrobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Pentaclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Clordano (cis + trans)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Toxafeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-T	CQ1029-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4,5-TP	CQ1029-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4-D	CQ1029-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Aldrin + dieldrin	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-Triclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4,6-Triclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
2,4-Dinitrotolueno	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Benzo(a)pireno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Cresol total	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Endrin	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Hexaclorobenzeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexacloroetano	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Lindano (gama-HCH)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Metoxicloro	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Nitrobenzeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Pentaclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Clordano (cis + trans)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Toxafeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01

Branco - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
1,1,2-Tricloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,1-Dicloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,2-Dicloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,4-Diclorobenzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
2-Butanona	CQ802-1/2018.0	< 20	µg/L	20,0
Benzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Cloreto de Vinila	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorobenzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorofórmio	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Hexaclorobutadieno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Piridina	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloreto de Carbono	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloreto	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0

Branco - Físico-Químico				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Sulfato Total	CQ791-1/2018.0	< 2	mg/L	2,0
Fenóis Totais	CQ814-1/2018.0	< 0,003	mg/L	0,003
Cianeto Total	CQ781-1/2018.0	< 0,002	mg/L	0,002
Nitrato	CQ786-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,23
Cloreto Total	CQ788-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,10
Surfactantes	CQ807-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,01

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Alumínio Total	CQ893-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Arsênio Total	CQ893-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ893-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ893-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ893-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ893-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ893-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ893-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ893-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ893-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ893-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ893-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ893-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ893-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Alumínio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Arsênio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercúrio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Recuperação - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Hexadecilbenzeno	CQ1040-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	94
Lindano (gama-HCH)	CQ1040-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	123
Hexadecilbenzeno	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	90
Lindano (gama-HCH)	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	80

Recuperação - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
1,1-Dicloroetano	CQ803-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	94
Benzeno	CQ803-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	102
Cloreto de Vinila	CQ803-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	92

Recuperação - Físico-Químico					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Surfactantes	CQ808-1/2018.0	1	mg/L	Entre 75 e 125	90
Cloreto Total	CQ789-1/2018.0	0,5	mg/L		100
Sulfato Total	CQ790-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	100
Nitrato	CQ787-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cianeto Total	CQ782-1/2018.0	0,1	mg/L	Entre 75 e 125	94

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Alumínio Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	99
Arsênio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Bário Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Cádmio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Chumbo Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cobre Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	105
Cromo Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Ferro Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	102
Manganês Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Mercúrio Total	CQ822-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	102
Prata Total	CQ822-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	106
Selênio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	108
Sódio Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	87
Zinco Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	106

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Alumínio Total	CQ892-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	103
Arsênio Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Bário Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	90
Cádmio Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	93
Chumbo Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	90
Cobre Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	91
Cromo Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	92
Ferro Total	CQ892-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	87
Manganês Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	82
Mercurio Total	CQ892-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	102
Prata Total	CQ892-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	97
Selênio Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	102
Sódio Total	CQ892-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	100
Zinco Total	CQ892-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101

Declaração de Conformidade	
A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos para os parâmetros analisados.	
A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G para os parâmetros analisados.	
A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F para os parâmetros analisados.	

Notas	
Legendas NA: Não se aplica. LQ: Limite de Quantificação. SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd. Edition. Máx: Máximo Valor Permitido. Mín: Mínimo Valor Permitido. IL: Impossível Leitura. mg/kg: Miligrama por Kilo mg/L: Miligrama por Litro mg/L: Miligrama por Litro %: Porcentagem h: Hora mg/kg: Miligrama por Kilo mg/L: Miligrama por Litro	

Embalagens e Preservantes			
46862 - Casqueiro de Granito Verde Pavão			
Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	300 g	Refrigeração	pH (Suspensão 1 para 1), Porcentagem de Sólidos, Teor de Umidade.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	400 g	Refrigeração	Sulfeto (B*).
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	500 g	Refrigeração	Cianeto (B*).

Embalagens e Preservantes			
46863 - Casqueiro de Granito Verde Pavão			
Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	401 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Cloreto Total (Kit), Nitrato (Kit), pH Final do Solubilizado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Pesticida.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Fenóis Totais.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Pote Plástico	100 g	Refrigeração	Cianeto Total (FQ).
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Tabela 68 (cont.) – Resultados laboratoriais do casqueiro do granito verde pavão na forma de rocha moída, comparados com os valores orientadores da NBR 10004 da ABNT (2004).



Relatório Analítico 12620/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

46863 - Casqueiro de Granito Verde Pavão			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Embalagens e Preservantes

46864 - Casqueiro de Granito Verde Pavão			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Pote Plástico	203 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Volume do Extrato, Tempo de Lixiviação, pH Final do Lixiviado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	200 g	Refrigeração	Pesticida, VOC.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Considerações Gerais

- O(s) resultado(s) se referem somente à(s) amostra(s) analisada(s).
 - Este Relatório Analítico só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 - A cadeia de custódia está à disposição para ser solicitada a qualquer momento pelo interessado.
 - Este Relatório Analítico está de acordo com a IN 02/2009 do IEMA.

- Quando a coleta é realizada pelo cliente o plano de amostragem e todas as informações de campo, tais como, identificação da amostra, data e hora da coleta, tipo de coleta, condições climáticas nas últimas 48 horas e no momento da coleta, coordenadas geográficas, local da coleta além dos resultados de ensaios realizados em campo, são de responsabilidade do mesmo. Neste caso, os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.

- Quando o Tommasi Ambiental é responsável pela coleta, o plano de amostragem é realizado no FO-ANL-074 baseado na NIT-DICLA-057. Para a retirada das amostras o Tommasi Ambiental utiliza o "POP-ANL-010 Procedimento de amostragem" e o "POP-ANL-011 Procedimento de Amostragem em Poços de Monitoramento" baseados no Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, CETESB, 2011, no SMWW 23 ed., 2017 e na ABNT NBR 15847-Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento-Métodos de Purga, 07/2010.

- Para as amostras ambientais, o Tommasi Ambiental garante que todas as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro, de acordo com cada matriz, segundo: Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras, Cetesb 2011; ABNT NBR 10007 Amostragem de Resíduos Sólidos; Projeto CETESB - GTZ - Amostragem do solo (6300 e 6310 de 11/1999) e SMEWW 23 ed., 2017, quando todo o trâmite analítico (retirada de amostra, transporte e análise) é de responsabilidade do Tommasi Ambiental. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, caso haja algum desvio, o cliente é imediatamente consultado sobre a disposição das amostras e a continuidade do processo analítico.

Chave de Validação: b4b79fbf4a284fbbaa88ab604dd87ee4

Anexo 6

6. Resultados da caracterização química da lama do beneficiamento de granitos pesquisada como barreira mineral, comparados com os valores orientadores estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004) quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, realizados no Laboratório TOMMASI AMBIENTAL, situado no município de Serra, ES.

Tabela 69 – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).

	CONSIDERAÇÕES DE RELATÓRIOS ANALÍTICOS	FO-ANL-141
		Revisão: 01
		Emissão: 02/10/2017
		Página: 1/1

INFORMAÇÕES DO CLIENTE

Cliente.....: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli
Endereço....: Rod. BR 101 Norte, Nova Carapina – Serra ES

CONSIDERAÇÕES

Relatório(s) Referenciado(s): 12608-1, 12608-2 e 12608-3.

Levando em consideração somente os parâmetros analisados nos relatórios acima referenciados, utilizando como comparativo os valores referenciais da Norma ABNT 10004:2004, sugere-se para esta matriz de resíduo, a classificação de Resíduo não inerte classe IIA.

Serra/ES, 16 de Julho de 2018,



Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Identificação do Cliente	
Cliente: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli (Filial 2)	CNPJ/CPF: 06.265.214/0003-38
Contato: Júlio C. S. Prezotti	Telefone: (27) 3229-2671
Endereço: Rodovia BR 101 Norte, KM 259, Nova Carapina, Serra, ES - Nova Carapina - Espírito Santo - Brazil	

Informações da Amostra - Nº: 12608-1/2018.0 - Lama desidratada (20% de umidade)	
Tipo de Amostra: Resíduo Lixiviado	ID Amostra: 42297
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 11/04/2018 14:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:44
Data de Recebimento: 11/04/2018	Data de Início das Análises: 11/04/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: LAMA ABRASIVA VITÓRIA STONE (TEAR MULTIFIO)
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): 30
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): 27.2
Coordenadas Geográficas: 371349.44ME/777085.65MS	Observações:

Resultados Analíticos

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4-Dinitrotolueno	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,13 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,77%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Fenol					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 400 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	31,12%
2,4,6-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 20,0 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Cresol total	< 0,00010 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	34,80%
Pentaclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,9 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	25,13%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - HPA					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Benzo(a)pireno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,81%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos	LQ	Referência	Incerteza

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

		- Anexo F (Lixiviado)			
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,06 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Outros

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Nitrobenzeno	< 0,0000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,0000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Hexacloroetano	< 0,000010 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,010 µg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,010 µg/L	Máx 0,00001 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,010 µg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,010 µg/L	Máx 0,001 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%

Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) - VOC

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
1,1,1-Tricloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 7,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,71%
1,1-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,47%
1,2-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,32%
1,4-Diclorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 7,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	19,77%
2-Butanona	< 0,00200 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Benzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	29,36%
Cloreto de Vinila	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	23,82%

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) - VOC					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Clorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 100 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,04%
Clorofórmio	< 0,00200 mg/L	Máx. 6,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,52%
Hexaclorobutadieno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,15%
Piridina	< 0,00200 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Tetracloreto de Carbono	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,34%
Tetracloreto de Eteno	< 0,00200 mg/L	Máx. 4,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,26%

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 150 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
pH Final do Lixiviado	5,02	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-083 Rev.01	7,11%
Tempo de Lixiviação	18,00 h	NA	1,00 h	ABNT 10005/2004	-
Volume do Extrato	2.000,0 L	NA	0,1 L	ABNT 10005/2004	-

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%
Bário Total	2,227 mg/L	Máx. 70 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cromo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Mercúrio Total	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%

Informações da Amostra - Nº: 12608-2/2018.0 - Lama desidratada (20% de umidade)	
Tipo de Amostra: Resíduo Solubilizado	ID Amostra: 42236
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 11/04/2018 14:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:44
Data de Recebimento: 11/04/2018	Data de Início das Análises: 11/04/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: LAMA ABRASIVA VITÓRIA STONE (TEAR MULTIFIO)
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): 30
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): 27.2
Coordenadas Geográficas: 371349.44ME/777085.65MS	Observações:

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Resultados Analíticos					
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,00060 mg/L	Máx. 0,0006 mg/L	0,00060 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,02 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,010 µg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,010 µg/L	Máx. 0,0002 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,030 µg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,030 µg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,010 µg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%
Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
pH Final do Solubilizado	7,93	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-082 Rev.01	7,11%
Cianeto Total	< 0,05 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,05 mg/L	POP-FQ-052 Anexo V Rev. 16	6,20%
Cloreto Total	30 mg/L	Máx. 250 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo VI Rev. 16	14,00%
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 1,5 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
Nitrato	< 0,23 mg/L (como N)	Máx. 10,0 mg/L	0,23 mg/L (como N)	POP-FQ-052 Anexo XX Rev. 16	7,70%
Sulfato Total	15,0 mg/L	Máx. 250 mg/L	2,0 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXVII Rev. 16	9,00%
Surfactantes	< 0,10 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXIX Rev. 16	20,80%

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Fenóis Totais	< 0,003 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,003 mg/L	POP-FQ-106 Rev. 00	29,33%

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Alumínio Total	0,733 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	5,13%
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%
Bário Total	0,015 mg/L	Máx. 0,7 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cobre Total	0,1460 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	4,59%
Cromo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Zinco Total	0,015 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	9,27%
Ferro Total	0,044 mg/L	Máx. 0,3 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	10,91%
Manganês Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Mercurio Total	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	0,0160 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Sódio Total	28,22 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,10 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	3,82%

Informações da Amostra - N°: 12608-3/2018.0 - Lama desidratada (20% de umidade)	
Tipo de Amostra: Resíduo Massa Bruta	ID Amostra: 42299
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 11/04/2018 14:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:44
Data de Recebimento: 11/04/2018	Data de Início das Análises: 11/04/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: LAMA ABRASIVA VITÓRIA STONE (TEAR MULTIFIO)
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): 30
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): 27,2
Coordenadas Geográficas: 371349.44ME/777085.65MS	Observações:

Resultados Analíticos					
Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
pH (Suspensão 1:1)	8,69	2 a 12,5	2,00 - 14,00	EPA 9045 D	7,11%

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
Porcentagem Sólidos	72,93 %	NA	0,05 %	SMWW 22ª Edição, Método 2540 B	-
Teor de Umidade	27 %	NA	1 %	MANUAL MÉTODOS ANÁLISE SOLO EMBRAPA, 2ª ED., 1997	-

Análises Terceirizadas					
BIOAGRI					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
Cianeto	<0,1 mg/kg	Máx 250 mg/kg	0,1 mg/kg	EPA 9213	-
Sulfeto	<1,0 mg/kg	Máx 500 mg/kg	1 mg/kg	EPA 9034/9030 B	-

Controle de Qualidade					
Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação	
2,4,5-T	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
2,4,5-TP	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
2,4-D	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Aldrin + dieldrin	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
2,4,5-Triclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
2,4,6-Triclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
2,4-Dinitrotolueno	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Benzo(a)pireno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Cresol total	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Endrin	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Hexaclorobenzeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Hexacloroetano	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Lindano (gama-HCH)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Metoxicloro	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Nitrobenzeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Pentaclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Clordano (cis + trans)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Toxafeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Aldrin + dieldrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
2,4,5-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
2,4,6-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
2,4-Dinitrotolueno	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Benzo(a)pireno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Cresol total	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Endrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Hexaclorobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Hexacloroetano	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Lindano (gama-HCH)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Metoxicloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Nitrobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Pentaclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Clordano (cis + trans)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Toxaleno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
2,4,5-T	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4,5-TP	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0
2,4-D	CQ804-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0

Branco - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
1,1,1-Tricloroetano	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,1-Dicloroetano	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,2-Dicloroetano	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,4-Diclorobenzeno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
2-Butanona	CQ682-1/2018.0	< 20	µg/L	20,0
Benzeno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Cloreto de Vinila	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorobenzeno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorofórmio	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Hexaclorobutadieno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Piridina	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloroeto de Carbono	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloroeteno	CQ682-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0

Branco - Físico-Químico				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Cloreto Total	CQ788-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,10
Nitrato	CQ786-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,23
Cianeto Total	CQ781-1/2018.0	< 0,002	mg/L	0,002
Surfactantes	CQ807-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,01
Sulfato Total	CQ723-1/2018.0	< 2	mg/L	2,0
Fenóis Totais	CQ814-1/2018.0	< 0,003	mg/L	0,003

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Alumínio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Arsênio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ821-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ821-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ821-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Alumínio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Arsênio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Recuperação - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Hexadecorbenzeno	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	90
Lindano (gama-HCH)	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	80
Hexadecorbenzeno	CQ1040-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	94
Lindano (gama-HCH)	CQ1040-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	123

Recuperação - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Benzeno	CQ683-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	100
Cloreto de Vinila	CQ683-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	106

Recuperação - Físico-Químico					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Surfactantes	CQ808-1/2018.0	1	mg/L	Entre 75 e 125	90
Sulfato Total	CQ722-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cianeto Total	CQ782-1/2018.0	0,1	mg/L	Entre 75 e 125	94
Nitrato	CQ787-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cloreto Total	CQ789-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	100

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Alumínio Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	101
Arsênio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	95
Bário Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	93
Cádmio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	95
Chumbo Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	98
Cobre Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	102
Cromo Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Ferro Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	104
Manganês Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	98
Mercurio Total	CQ658-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	100
Prata Total	CQ658-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	77
Selênio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Sódio Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	120
Zinco Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Alumínio Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	99

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Arsênio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Bário Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Cádmio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Chumbo Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cobre Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	105
Cromo Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Ferro Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	102
Manganes Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Mercúrio Total	CQ822-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	102
Prata Total	CQ822-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	106
Selênio Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	108
Sódio Total	CQ822-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	87
Zinco Total	CQ822-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	106

Declaração de Conformidade

A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F para os parâmetros analisados.

A presente amostra NÃO ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G, no(s) parâmetro(s) Alumínio Total

A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos para os parâmetros analisados.

Notas

Legendas

NA: Não se aplica.
LQ: Limite de Quantificação.
SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd. Edition.
Máx: Máximo Valor Permitido.
Min: Mínimo Valor Permitido.
IL: Impossível Leitura.

mg/L: Miligrama por Litro
mg/L: Miligrama por Litro
mg/kg: Miligrama por Kilo
%: Porcentagem
µg/L: Micrograma por Litro
h: Hora
mg/kg: Miligrama por Kilo
mg/L: Miligrama por Litro

Embalagens e Preservantes

42297 - Lama desidratada (20% de umidade)

Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	203 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Volume do Extrato, Tempo de Lixiviação, pH Final do Lixiviado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	200 g	Refrigeração	Pesticida, VOC.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Embalagens e Preservantes

42298 - Lama desidratada (20% de umidade)

Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	401 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Cloreto Total (Kit), Nitrato (Kit), pH Final do Solubilizado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Pesticida.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Fenóis Totais.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Pote Plástico	100 g	Refrigeração	Cianeto Total (FQ).

Tabela 69 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química da lama do beneficiamento de granito pesquisada com barreira mineral (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12608/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

42298 - Lama desidratada (20% de umidade)			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Embalagens e Preservantes

42299 - Lama desidratada (20% de umidade)			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Pote Plástico	300 g	Refrigeração	pH (Suspensão 1 para 1), Porcentagem de Sólidos, Teor de Umidade.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	400 g	Refrigeração	Sulfeto (B*).
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	500 g	Refrigeração	Cianeto (B*).

Considerações Gerais

-O(s) resultado(s) se referem somente à(s) amostra(s) analisada(s).
 -Este Relatório Analítico só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 -A cadeia de custódia está à disposição para ser solicitada a qualquer momento pelo interessado.
 -Este Relatório Analítico está de acordo com a IN 02/2009 do IEMA.

- Quando a coleta é realizada pelo cliente o plano de amostragem e todas as informações de campo, tais como, identificação da amostra, data e hora da coleta, tipo de coleta, condições climáticas nas últimas 48 horas e no momento da coleta, coordenadas geográficas, local da coleta além dos resultados de ensaios realizados em campo, são de responsabilidade do mesmo. Neste caso, os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.

- Quando o Tommasi Ambiental é responsável pela coleta, o plano de amostragem é realizado no FO-ANL-074 baseado na NIT-DICLA-057. Para a retirada das amostras o Tommasi Ambiental utiliza o "POP-ANL-010 Procedimento de amostragem" e o "POP-ANL-011 Procedimento de Amostragem em Poços de Monitoramento" baseados no Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, CETESB, 2011, no SMWW 23 ed., 2017 e na ABNT NBR 15847-Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento-Métodos de Purga, 07/2010.

- Para as amostras ambientais, o Tommasi Ambiental garante que todas as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro, de acordo com cada matriz, segundo: Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras, Cetesb 2011; ABNT NBR 10007 Amostragem de Resíduos Sólidos; Projeto CETESB - GTZ - Amostragem do solo (6300 e 6310 de 11/1999) e SMEWW 23 ed., 2017, quando todo o trâmite analítico (retirada de amostra, transporte e análise) é de responsabilidade do Tommasi Ambiental. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, caso haja algum desvio, o cliente é imediatamente consultado sobre a disposição das amostras e a continuidade do processo analítico.

Chave de Validação: 6307c5d26e7248d6be8e4a65bfe8dedc

Anexo 7

- 7. Resultados da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado, comparados com os valores orientadores estabelecidos pela norma NBR 10004 da ABNT (2004) quanto aos potenciais riscos ao meio ambiente e à saúde do homem, realizados no Laboratório TOMMASI AMBIENTAL, situado no município de Serra, ES.**

Tabela 70 – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).

 Tommasi ambiental	CONSIDERAÇÕES DE RELATÓRIOS ANALÍTICOS	FO-ANL-141
		Revisão: 01
		Emissão: 02/10/2017
		Página: 1/1

INFORMAÇÕES DO CLIENTE

Cliente.....: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli
Endereço....: Rod. BR 101 Norte, Nova Carapina – Serra ES

CONSIDERAÇÕES

Relatório(s) Referenciado(s): 12611-1, 12611-2 e 12611-3.

Levando em consideração somente os parâmetros analisados nos relatórios acima referenciados, utilizando como comparativo os valores referenciais da Norma ABNT 10004:2004, sugere-se para esta matriz de resíduo, a classificação de Resíduo inerte classe IIB.

Serra/ES, 16 de Julho de 2018,



Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Identificação do Cliente	
Cliente: Manancial Projetos e Consultoria Ambiental Eireli (Filial 2)	CNPJ/CPF: 06.265.214/0003-38
Contato: Júlio C. S. Prezotti	Telefone: (27) 3229-2671
Endereço: Rodovia BR 101 Norte, KM 259, Nova Carapina, Serra, ES - Nova Carapina - Espírito Santo - Brazil	

Informações da Amostra - Nº: 12611-1/2018.0 - Solo argiloso	
Tipo de Amostra: Resíduo Lixiviado	ID Amostra: 42300
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 11/04/2018 10:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:46
Data de Recebimento: 11/04/2018	Data de Início das Análises: 11/04/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: SOLO ARGILOSO DA RADEM NCI
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): 30
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): 27.5
Coordenadas Geográficas: 366221.97ME/7770636.56MS	Observações:

Resultados Analíticos

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4-Dinitrotolueno	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,13 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,77%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Fenol					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 400 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	31,12%
2,4,6-Triclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 20,0 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Cresol total	< 0,00010 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	34,80%
Pentaclorofenol	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,9 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	25,13%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - HPA					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Benzo(a)pireno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,81%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos	LQ	Referência	Incerteza

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

		- Anexo F (Lixiviado)			
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,00100 mg/L	POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,06 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Outros

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Nitrobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-

Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Hexacloroetano	< 0,000010 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,010 µg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,010 µg/L	Máx. 0,00001 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,010 µg/L	Máx. 0,003 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,010 µg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%

Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) - VOC

Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
1,1,1-Tricloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 7,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,71%
1,1-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 3,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,47%
1,2-Dicloroetano	< 0,00200 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,32%
1,4-Diclorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 7,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	19,77%
2-Butanona	< 0,00200 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Benzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	29,36%
Cloreto de Vinila	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	23,82%

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs) - VOC					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Clorobenzeno	< 0,00200 mg/L	Máx. 100 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,04%
Clorofórmio	< 0,00200 mg/L	Máx. 6,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,52%
Hexaclorobutadieno	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	22,15%
Piridina	< 0,00200 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	-
Tetracloreto de Carbono	< 0,00200 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	20,34%
Tetracloroeteno	< 0,00200 mg/L	Máx. 4,0 mg/L	0,00200 mg/L	POP-CR-002 Rev. 09	21,26%

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Fluoreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 150 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
pH Final do Lixiviado	4,96	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-083 Rev.01	7,11%
Tempo de Lixiviação	18,00 h	NA	1,00 h	ABNT 10005/2004	-
Volume do Extrato	2.000,0 L	NA	0,1 L	ABNT 10005/2004	-

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado)	LQ	Referência	Incerteza
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%
Bário Total	0,265 mg/L	Máx. 70 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cromo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Mercúrio Total	< 0,00010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 1,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10005: 2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%

Informações da Amostra - Nº: 12611-2/2018.0 - Solo argiloso	
Tipo de Amostra: Resíduo Solubilizado	ID Amostra: 42301
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado) , ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 11/04/2018 10:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:46
Data de Recebimento: 11/04/2018	Data de Início das Análises: 11/04/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: SOLO ARGILOSO DA RADEM NCI
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): 30
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): 27,5
Coordenadas Geográficas: 366221.97ME/7770636.56MS	Observações:

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Resultados Analíticos					
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticida Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
2,4,5-T	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	22,32%
2,4,5-TP	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	29,16%
2,4-D	< 0,00100 mg/L	Máx. 0,03 mg/L	0,00100 mg/L	ABNT NBR 10006 : 2004/POP-CR-004 Rev. 08	26,16%
Endrin	< 0,00060 mg/L	Máx. 0,0006 mg/L	0,00060 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	23,81%
Lindano (gama-HCH)	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	21,57%
Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC) - Pesticidas Organoclorados					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Heptacloro epóxido + heptacloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Hexaclorobenzeno	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	20,94%
Metoxicloro	< 0,000010 mg/L	Máx. 0,02 mg/L	0,000010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	13,19%
Toxafeno	< 0,010 µg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	18,73%
Clordano (cis + trans)	< 0,010 µg/L	Máx. 0,0002 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
Aldrin + dieldrin	< 0,030 µg/L	Máx. 0,00003 mg/L	0,030 µg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	-
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	< 0,010 µg/L	Máx. 0,002 mg/L	0,010 µg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-CR-001 Rev. 08	26,10%
Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
pH Final do Solubilizado	6,70	NA	2,00 a 14,00	POP-FQ-082 Rev.01	7,11%
Cianeto Total	0,004 mg/L	Máx. 0,07 mg/L	0,002 mg/L	POP-FQ-052 Anexo V Rev. 16	6,20%
Cloreto Total	59 mg/L	Máx. 250 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo VI Rev. 16	14,00%
Floreto Total	< 0,4 mg/L	Máx. 1,5 mg/L	0,4 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XVII Rev. 16	18,25%
Nitrato	0,74 mg/L (como N)	Máx. 10,0 mg/L	0,23 mg/L (como N)	POP-FQ-052 Anexo XX Rev. 16	7,70%
Sulfato Total	40,0 mg/L	Máx. 250 mg/L	2,0 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXVII Rev. 16	9,00%
Surfactantes	< 0,10 mg/L	Máx. 0,5 mg/L	0,10 mg/L	POP-FQ-052 Anexo XXIX Rev. 16	20,80%

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Fenóis Totais	< 0,003 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,003 mg/L	POP-FQ-106 Rev. 00	29,33%

Metais Totais					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado)	LQ	Referência	Incerteza
Alumínio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,2 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	5,13%
Arsênio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	23,24%
Bário Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,7 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,27%
Cádmio Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,005 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	8,92%
Chumbo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Cobre Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 2,0 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	4,59%
Cromo Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	7,82%
Zinco Total	< 0,010 mg/L	Máx. 5,0 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	9,27%
Ferro Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,3 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	10,91%
Manganês Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,1 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Mercurio Total	0,00044 mg/L	Máx. 0,001 mg/L	0,00010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	14,19%
Prata Total	< 0,0010 mg/L	Máx. 0,05 mg/L	0,0010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	15,00%
Selênio Total	< 0,010 mg/L	Máx. 0,01 mg/L	0,010 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	6,91%
Sódio Total	1,13 mg/L	Máx. 200 mg/L	0,10 mg/L	ABNT NBR 10006:2004/POP-FQ-081 Rev. 07	3,82%

Informações da Amostra - Nº: 12611-3/2018.0 - Solo argiloso	
Tipo de Amostra: Resíduo Massa Bruta	ID Amostra: 42302
Critério de Conformidade: ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F (Lixiviado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G (Solubilizado), ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	
Data Coleta: 11/04/2018 10:00	Data de Publicação: 18/07/2018 14:46
Data de Recebimento: 11/04/2018	Data de Início das Análises: 11/04/2018
Tipo de Coleta: Simples	Local da Coleta: SOLO ARGILOSO DA RADEM NCI
Responsabilidade da Amostragem: Cliente	Condições Climáticas no Momento da Coleta: Sol
Condições Climáticas nas Últimas 48 horas: Sol	Temperatura Ambiente (°C): 30
pH: -	Temperatura da Amostra (°C): 27,5
Coordenadas Geográficas: 366221.97ME/7770636.56MS	Observações:

Resultados Analíticos					
Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
pH (Suspensão 1:1)	5,83	2 a 12,5	2,00 - 14,00	EPA 9045 D	7,11%

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Físico-Químico					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
Porcentagem Sólidos	83,84 %	NA	0,05 %	SMWW 22ª Edição, Método 2540 B	-
Teor de Umidade	16 %	NA	1 %	MANUAL MÉTODOS ANÁLISE SOLO EMBRAPA, 2ª ED., 1997	-
Análises Terceirizadas					
BIOAGRI					
Análise	Resultado	ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - (Massa Bruta)	LQ	Referência	Incerteza
Cianeto	0,2 mg/kg	Máx 250 mg/kg	0,1 mg/kg	EPA 9213	-
Sulfeto	<1,0 mg/kg	Máx 500 mg/kg	1 mg/kg	EPA 9034/9030 B	-
Controle de Qualidade					
Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação	
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Aldrin + dieldrin	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
2,4,5-Triclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
2,4,6-Triclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
2,4-Dinitrotolueno	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Benzo(a)pireno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Cresol total	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Endrin	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Hexaclorobenzeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Hexacloroetano	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Lindano (gama-HCH)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Metoxicloro	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Nitrobenzeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Pentaclorofenol	CQ1039-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Clordano (cis + trans)	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Toxafeno	CQ1039-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
2,4,5-T	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
2,4,5-TP	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
2,4-D	CQ685-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
2,4,5-T	CQ749-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
2,4,5-TP	CQ749-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
2,4-D	CQ749-1/2018.0	< 1	µg/L	1,0	
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Heptacloro epóxido + heptacloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Aldrin + dieldrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
2,4,5-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
2,4,6-Triclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
2,4-Dinitrotolueno	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Benzo(a)pireno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	
Cresol total	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1	
Endrin	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01	

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Hexaclorobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Hexacloroetano	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Lindano (gama-HCH)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Metoxicloro	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Nitrobenzeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Pentaclorofenol	CQ766-1/2018.0	< 0,1	µg/L	0,1
Clordano (cis + trans)	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01
Toxafeno	CQ766-1/2018.0	< 0,01	µg/L	0,01

Branco - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
1,1,1-Tricloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,1-Dicloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,2-Dicloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
1,4-Diclorobenzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
2-Butanona	CQ802-1/2018.0	< 20	µg/L	20,0
Benzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Cloreto de Vinila	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorobenzeno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Clorofórmio	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Hexaclorobutadieno	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Piridina	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloreto de Carbono	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0
Tetracloroetano	CQ802-1/2018.0	< 2	µg/L	2,0

Branco - Físico-Químico				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Surfactantes	CQ651-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,01
Nitrato	CQ632-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,23
Cloreto Total	CQ638-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,10
Fenóis Totais	CQ629-1/2018.0	< 0,003	mg/L	0,003
Sulfato Total	CQ641-1/2018.0	< 2	mg/L	2,0
Cianeto Total	CQ647-1/2018.0	< 0,002	mg/L	0,002

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Alumínio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Arsênio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ657-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ657-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ657-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Alumínio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Branco - Metais Totais				
Parâmetros	Número do CQ	Resultado	Unidade	Limite de Quantificação
Arsênio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Bário Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cádmio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Chumbo Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Cobre Total	CQ703-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Cromo Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Ferro Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Manganês Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Mercurio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,0001	mg/L	0,0001
Prata Total	CQ703-1/2018.0	< 0,001	mg/L	0,001
Selênio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01
Sódio Total	CQ703-1/2018.0	< 0,1	mg/L	0,1
Zinco Total	CQ703-1/2018.0	< 0,01	mg/L	0,01

Recuperação - Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (SVOC)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Hexadecano	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	90
Lindano (gamma-HCH)	CQ767-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	80
Hexadecano	CQ1040-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	94
Lindano (gamma-HCH)	CQ1040-1/2018.0	0,5	µg/L	Entre 75 e 125	123

Recuperação - Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs)					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Benzeno	CQ803-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	102
Cloreto de Vinila	CQ803-1/2018.0	100	µg/L	Entre 75 e 125	92

Recuperação - Físico-Químico					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Cianeto Total	CQ848-1/2018.0	0,1	mg/L	Entre 75 e 125	92
Nitrato	CQ631-1/2018.0	0,5	mg/L	Entre 75 e 125	110
Cloreto Total	CQ639-1/2018.0	7,5	mg/L		100
Sulfato Total	CQ840-1/2018.0	7,5	mg/L	Entre 75 e 125	98
Surfactantes	CQ652-1/2018.0	1	mg/L	Entre 75 e 125	100

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Alumínio Total	CQ704-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	99
Arsênio Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Bário Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Cádmio Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Chumbo Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Cobre Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	105
Cromo Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	101
Ferro Total	CQ704-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	102
Manganês Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	103
Mercurio Total	CQ704-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	102
Prata Total	CQ704-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	106
Selênio Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	108
Sódio Total	CQ704-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	87
Zinco Total	CQ704-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	106
Alumínio Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	101

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

Recuperação - Metais Totais					
Parâmetros	Número do CQ	Quantidade Adicionada	Unidade	Faixa de Aceitação	Recuperação (%)
Arsênio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	95
Bário Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	93
Cádmio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	95
Chumbo Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	98
Cobre Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	102
Cromo Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	104
Ferro Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	104
Manganês Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	98
Mercúrio Total	CQ658-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	100
Prata Total	CQ658-1/2018.0	0,025	mg/L	Entre 75 e 125	77
Selênio Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100
Sódio Total	CQ658-1/2018.0	2,5	mg/L	Entre 75 e 125	120
Zinco Total	CQ658-1/2018.0	0,25	mg/L	Entre 75 e 125	100

Declaração de Conformidade
A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo F para os parâmetros analisados.
A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos - Anexo G para os parâmetros analisados.
A presente amostra ATENDE aos padrões estabelecidos pela legislação vigente conforme ABNT NBR 10.004, de 30 de Novembro de 2004 - Resíduos Sólidos para os parâmetros analisados.

Notas
Legendas NA: Não se aplica. LQ: Limite de Quantificação. SMWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd. Edition. Máx: Máximo Valor Permitido. Mín: Mínimo Valor Permitido. IL: Impossível Leitura. mg/L: Miligrama por Litro mg/L: Miligrama por Litro mg/kg: Miligrama por Kilo %: Porcentagem µg/L: Micrograma por Litro h: Hora mg/kg: Miligrama por Kilo mg/L: Miligrama por Litro

Embalagens e Preservantes			
42300 - Solo argiloso			
Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	203 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Volume do Extrato, Tempo de Lixiviação, pH Final do Lixiviado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	200 g	Refrigeração	Pesticida, VOC.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Embalagens e Preservantes			
42301 - Solo argiloso			
Embalagem	Volume	Presevação	Métodos
Pote Plástico	401 g	Refrigeração	Fluoreto Total (Kit), Cloreto Total (Kit), Nitrato (Kit), pH Final do Solubilizado.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Pesticida.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	100 g	Refrigeração	Fenóis Totais.
Pote Plástico	200 g	Refrigeração	Metais Totais.
Pote Plástico	100 g	Refrigeração	Cianeto Total (FQ).

Tabela 70 (cont.) – Resultado laboratorial da caracterização química do solo utilizado na implantação da barreira mineral de fundo do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 10004 da ABNT (2004)).



Relatório Analítico 12611/2018.0

Proposta Comercial: PC1200/2018.4

42301 - Solo argiloso			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.
Vidro Âmbar	1000 mL	Refrigeração	SVOC.

Embalagens e Preservantes

42302 - Solo argiloso			
Embalagem	Volume	Preservação	Métodos
Pote Plástico	300 g	Refrigeração	pH (Suspensão 1 para 1), Porcentagem de Sólidos, Teor de Umidade.
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	400 g	Refrigeração	Sulfeto (B*).
Pote de Vidro com Tampa de Teflon	500 g	Refrigeração	Cianeto (B*).

Considerações Gerais

-O(s) resultado(s) se referem somente à(s) amostra(s) analisada(s).
 - Este Relatório Analítico só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.
 - A cadeia de custódia está à disposição para ser solicitada a qualquer momento pelo interessado.
 - Este Relatório Analítico está de acordo com a IN 02/2009 do IEMA.

- Quando a coleta é realizada pelo cliente o plano de amostragem e todas as informações de campo, tais como, identificação da amostra, data e hora da coleta, tipo de coleta, condições climáticas nas últimas 48 horas e no momento da coleta, coordenadas geográficas, local da coleta além dos resultados de ensaios realizados em campo, são de responsabilidade do mesmo. Neste caso, os resultados se aplicam à amostra conforme recebida.

- Quando o Tommasi Ambiental é responsável pela coleta, o plano de amostragem é realizado no FO-ANL-074 baseado na NIT-DICLA-057. Para a retirada das amostras o Tommasi Ambiental utiliza o "POP-ANL-010 Procedimento de amostragem" e o "POP-ANL-011 Procedimento de Amostragem em Poços de Monitoramento" baseados no Guia de Coleta e Preservação de Amostras de Água, CETESB, 2011, no SMWW 23 ed., 2017 e na ABNT NBR 15847-Amostragem de Água Subterrânea em Poços de Monitoramento-Métodos de Purga, 07/2010.

- Para as amostras ambientais, o Tommasi Ambiental garante que todas as análises foram executadas dentro do prazo de validade de cada parâmetro, de acordo com cada matriz, segundo: Guia Nacional de Coletas e Preservação de Amostras, Cetesb 2011; ABNT NBR 10007 Amostragem de Resíduos Sólidos; Projeto CETESB - GTZ - Amostragem do solo (6300 e 6310 de 11/1999) e SMEWW 23 ed., 2017, quando todo o trâmite analítico (retirada de amostra, transporte e análise) é de responsabilidade do Tommasi Ambiental. Quando a coleta é de responsabilidade do interessado, caso haja algum desvio, o cliente é imediatamente consultado sobre a disposição das amostras e a continuidade do processo analítico.



Chave de Validação: 912c67272cf74becbee77b278e384b16

Anexo 8

8. Resultado do ensaio de permeabilidade a carga variável, segundo a norma NBR 14545 da ABNT (2000), para a amostra indeformada de solo coletada da barreira mineral de fundo implantada na célula do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado, realizado no Laboratório MS SOLOS EIRELI, situado no município de Vitória, ES.



MC SOLOS Ltda.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº 01

Material	: Argila silto-arenosa, cor variegada.
Bloco nº	: 01
Profundidade	: 0,37m.
Ensaio	: Ensaio de Permeabilidade - Carga Variável NBR 14.545/00.
Procedência/Obra	: Nova Carapina - Serra ES.
Interessado	: MANANCIAL PROJETOS E CONSULTORIA AMBIENTAL.
Endereço	: Rua Henrique Moscoso, nº 1.019, Ed. Centro da Vila Shopping, Sala 509 - Centro - Vila Velha ES.

RESULTADOS

Densidade Total da amostra	: 1,899 g/cm ³ .
Densidade seca da Amostra	: 1,539 g/cm ³ .
Diâmetro	: 12,36 cm.
Altura	: 08,10 cm.

MÉTODO DE ENSAIO:

Carga Variável

Permeabilidade (20°) : $7,868 \times 10^{-7}$ m/s

Umidade de moldagem : 21,7 %

Obs.: Amostra Compactada no campo para determinar a densidade seca e saturada no laboratório para determinar o coeficiente de permeabilidade.

Vitória-ES, 03 de janeiro de 2014.

Figura 161 – Resultado laboratorial do ensaio de permeabilidade à carga variável, para a amostra indeformada de solo coletada da barreira mineral de fundo implantada na célula do aterro de rejeitos de rochas ornamentais monitorado (NBR 14545 da ABNT (2000)).

Anexo 9

9. Curvas de Tensão de Cisalhamento x Deformação Horizontal, Deformação Vertical x Deformação Horizontal e Envoltórias de Ruptura para cada uma das 5 amostras coletadas em diferentes profundidades do aterro de resíduos industrial monitorado.

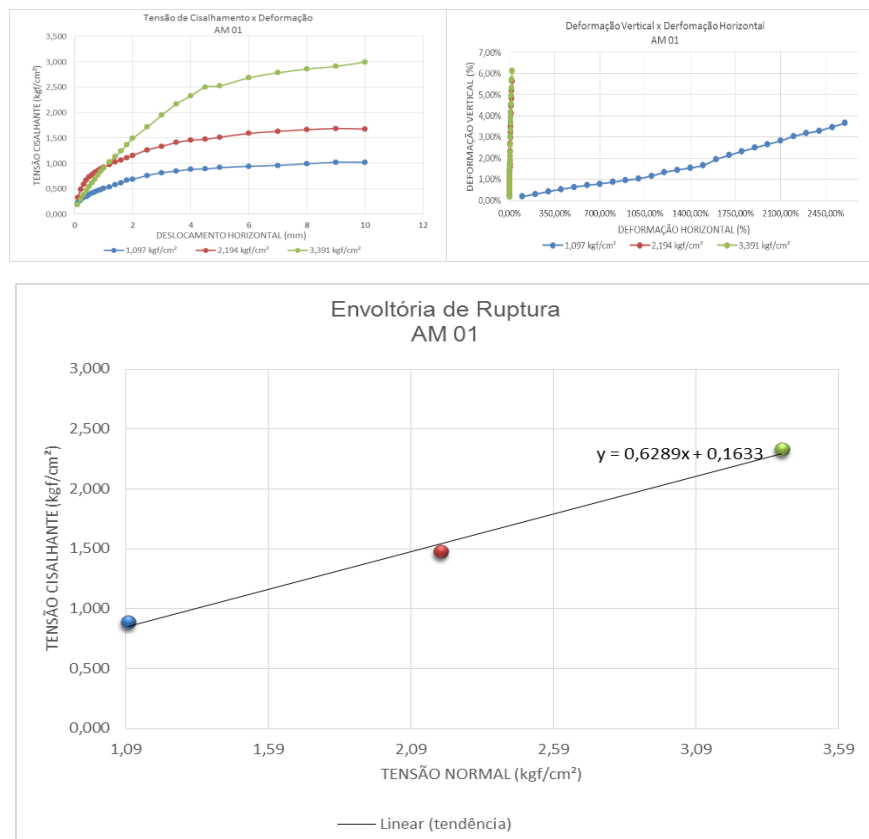


Figura 162 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 01.

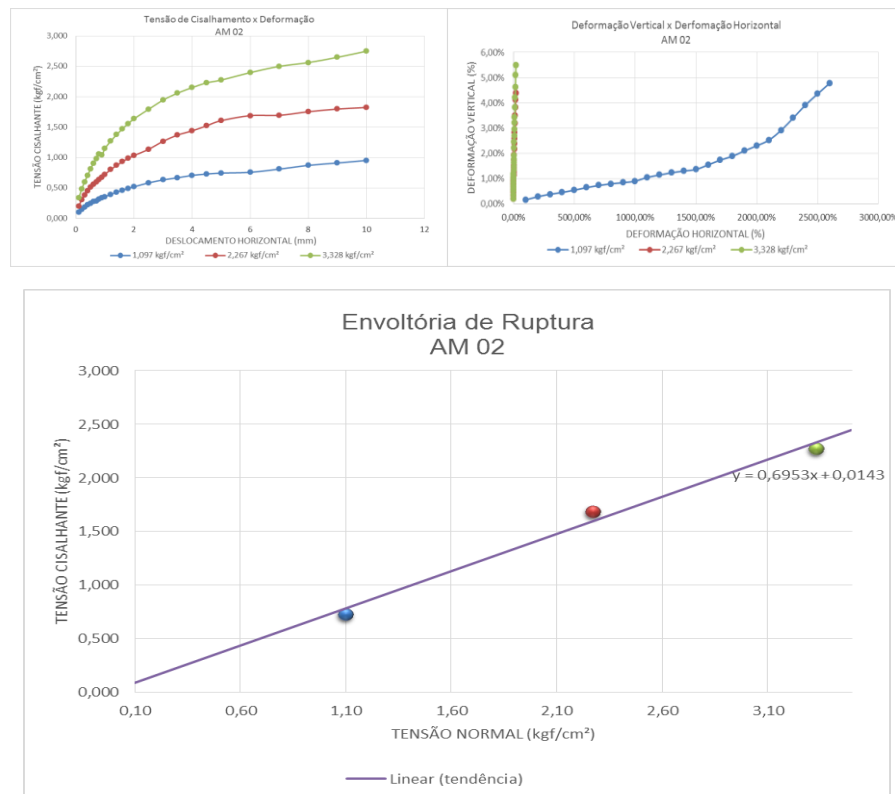


Figura 163 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 02.

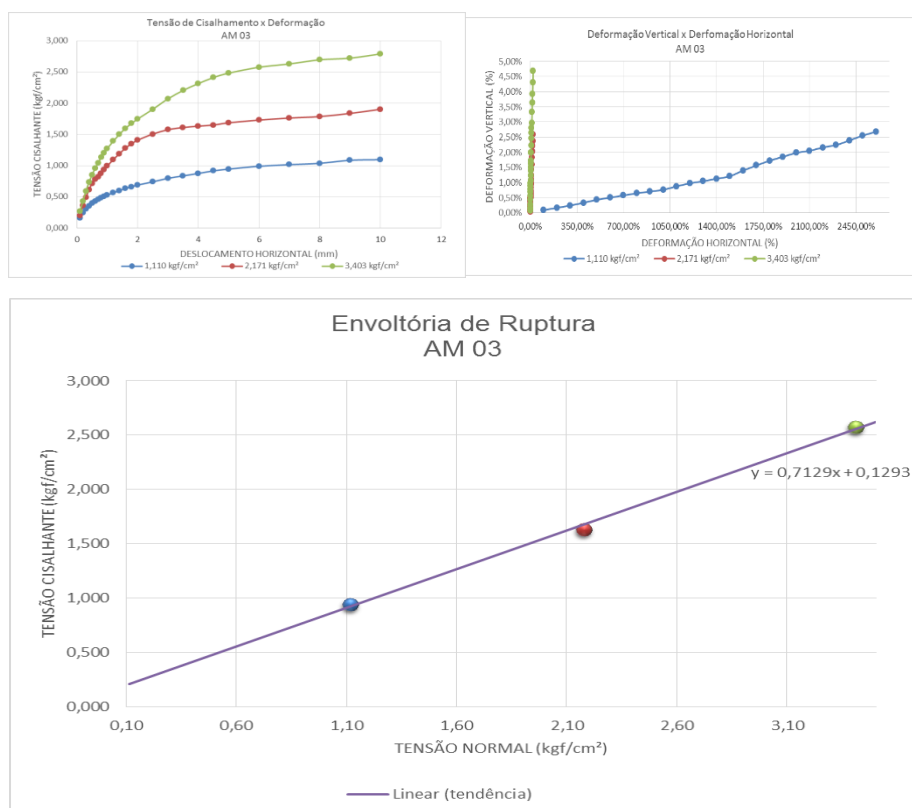


Figura 164 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 03.

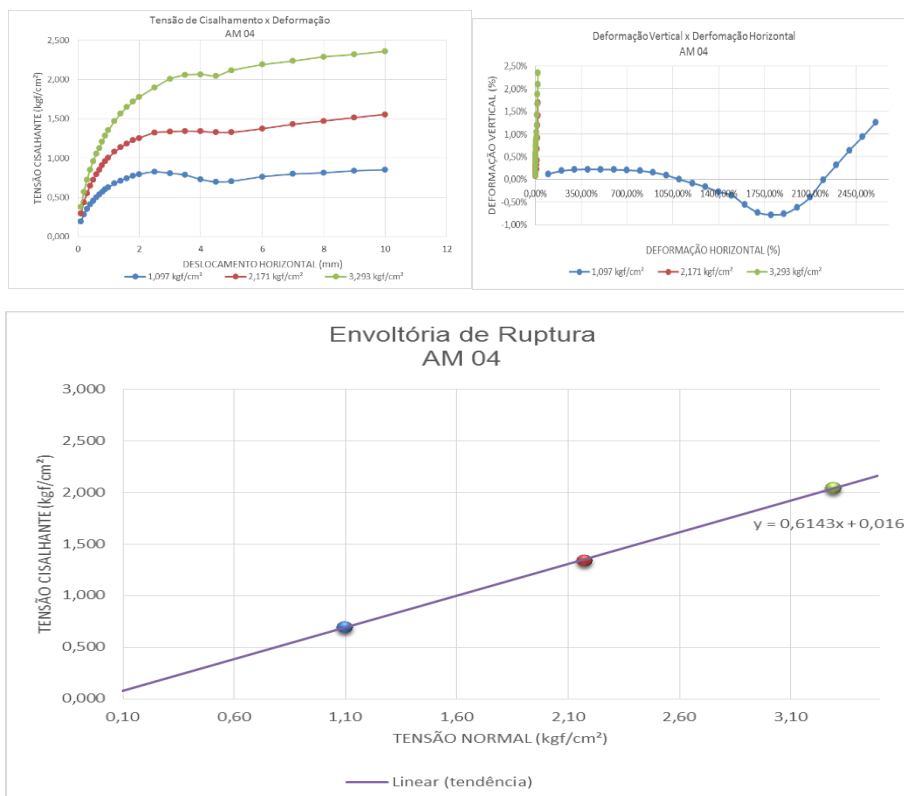


Figura 165 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 04.

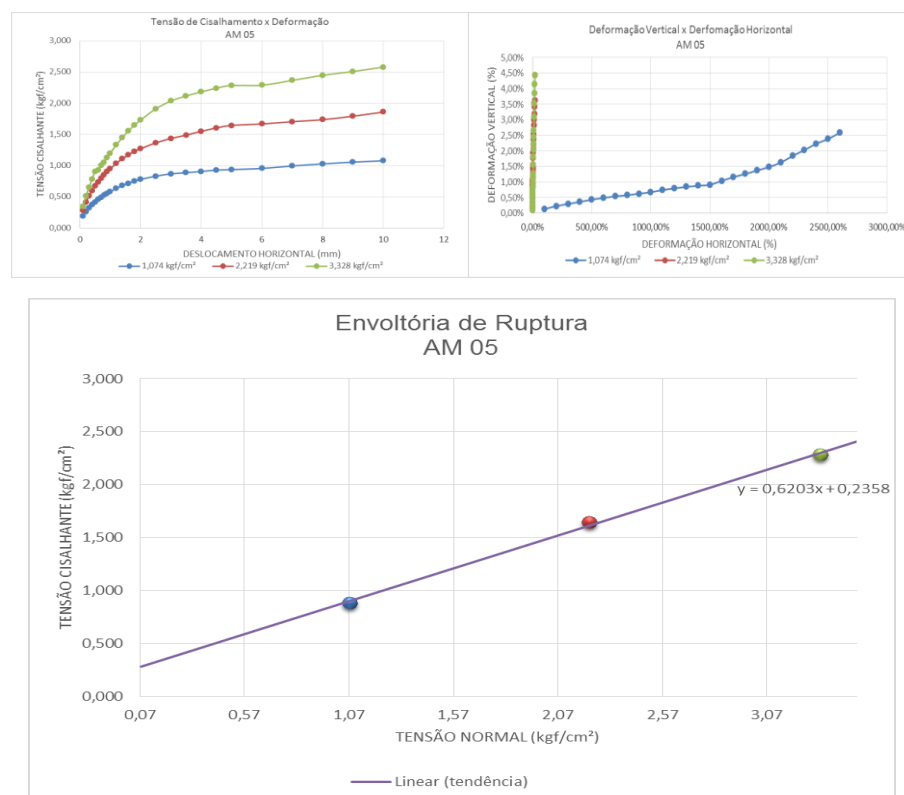


Figura 166 – Gráficos gerados a partir dos dados do ensaio de cisalhamento direto – amostra AM 05.