CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas

FERNANDA VIEIRA BORGES CAIXETA

CONTROLE TECNOLÓGICO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM: ESTUDO DE CASO APLICADO À BARRAGEM DE MINERAÇÃO

Araxá - MG
2023

FERNANDA VIEIRA BORGES CAIXETA

CONTROLE TECNOLÓGICO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM: ESTUDO DE CASO APLICADO À BARRAGEM DE MINERAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Minas.

Orientadora: Profa. Titular Dra. Denise Urashima de Carvalho

Araxá - MG

2023

ATA DA 26ª DEFESA DE DISSERTAÇÃO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS – MESTRADO PROFISSIONAL

Aos 27 (vinte e sete) dias do mês de novembro do ano de 2023 (dois mil e vinte três), às 14h00min (quatorze horas e zero minutos), por meio da ConferênciaWeb RNP no link: https://conferenciaweb.rnp.br/sala/denise-de-carvalho-urashima, foi instalada a Sessão Pública para a Defesa de Dissertação da Mestranda FERNANDA VIEIRA BORGES CAIXETA, *sob a forma totalmente remota (Resolução CPPG 08/2020, de 09/07/2020; Resolução CEPE 09/2020, de 17/11/2020)*, sendo a banca examinadora composta pela Profa. Dra. Denise de Carvalho Urashima (Presidente) – CEFET- MG, Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido (Membro externo) – Universidade Federal de Lavras – UFLA, Prof. Dr. Lucas Deleon Ferreira (Membro externo) – Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP e Prof. Dr. Luiz Pinheiro da Guia (membro externo) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET- MG.

Dando início aos trabalhos a Presidente, com base no Regulamento do Programa e nas Normas que regem as Sessões de Defesa de Dissertação, concedeu a Mestranda FERNANDA VIEIRA BORGES CAIXETA, até 40 (quarenta) minutos para a apresentaçãodo seu trabalho intitulado "CONTROLE TECNOLÓGICO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM: ESTUDO DE CASO APLICADO À BARRAGEM" na Área de Concentração: *Engenharia de Minas* e Linha de Pesquisa *Processamento de Minério e Rejeitos*. Terminada a exposição, a Presidente da Banca examinadora passou a arguição da candidata pelos membros da banca examinadora. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a Sessão, a Presidente solicitou aos presentes que se retirassem do recinto para que a banca examinadora procedesse a análise e decisão, anunciando, a seguir publicamente, que a Mestranda foi aprovada, por unanimidade. Para constar, foi lavrada a presente ATA que, após aprovada, vai assinada pelos membros da Banca Examinadora e pela Mestranda.

Araxá, 27 de novembro de 2023

_____
Profa. Dra. Denise de Carvalho Urashima
Presidente (CEFET-MG)

_____
Prof. Dr. Eduardo Souza Cândido
Membro externo (UFLA)

_____
Prof. Dr. Lucas Deleon Ferreira
Membro externo (UFOP)

_____
Prof. Dr. Luiz Pinheiro da Guia
Membro externo (CEFET-MG)

_____
Enga. Fernanda Vieira Borges Caixeta
Discente

Emitido em 28/11/2023

ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 1/2023 - DCECVG (11.64.04)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 28/11/2023 07:37)
DENISE DE CARVALHO URASHIMA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DCECVG (11.64.04)
Matrícula: ###293#3

(Assinado digitalmente em 28/11/2023 08:00)
LUIZ PINHEIRO DA GUIA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DMCVG (11.64.05)
Matrícula: ###913#4

(Assinado digitalmente em 28/11/2023 08:31)
FERNANDA VIEIRA BORGES CAIXETA
DISCENTE
Matrícula: 2021######4

(Assinado digitalmente em 28/11/2023 13:09)
EDUARDO SOUZA CANDIDO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.686-##

(Assinado digitalmente em 28/11/2023 09:28)
LUCAS DELEON FERREIRA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: ###.###.146-##

Visualize o documento original em https://sig.cefetmg.br/documentos/ informando seu número: **1**, ano: **2023**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **28/11/2023** e o código de verificação: **4855c898b6**

FERNANDA VIEIRA BORGES CAIXETA

CONTROLE TECNOLÓGICO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM: ESTUDO DE CASO APLICADO À BARRAGEM DE MINERAÇÃO

Dissertação analisada e julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração Geologia de Engenharia na Mineração e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Minas – PPGEMIM do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, Campus Araxá.

Aprovada em 27/11/2023 pela banca examinadora:

_____

Profa. Dra. Denise de Carvalho Urashima (CEFET-MG)
(Orientadora)

_____

Prof. Dr. Eduardo Souza Candido (UFLA)

_____

Prof. Dr. Lucas Deleon Ferreira (UFOP)

_____

Prof. Dr. Luiz Pinheiro da Guia – (CEFET-MG)

Caixeta, Fernanda Vieira Borges
C138c Controle tecnológico em obras de terraplenagem: estudo de caso aplicado à barragem de mineração / Fernanda Vieira Borges Caixeta. – 2023.
87 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Denise Urashima de Carvalho.

Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Araxá, 2023.
Bibliografia.

1. Mineração – Controle – Teses. 2. Barragem – Teses. 3. Terraplenagem – Teses. I. Carvalho, Denise Urashima de. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Título.

CDU 622

Ficha elaborada pela Biblioteca – *Campus* Araxá – CEFET-MG
Bibliotecária: Márcia Martins da Silva CRB-6/2578

RESUMO

O controle tecnológico, frequentemente utilizado na gestão da qualidade para obras da construção civil com foco no atendimento aos procedimentos normativos, são utilizados para garantir a rastreabilidade das informações ao longo de todo período construtivo com o objetivo de determinar as causas e responsabilidades por falhas e posteriormente, evidenciar as tratativas com atendimento aos requisitos estabelecidos em projeto. Comumente, as obras de terras eram executadas de forma a seguir os procedimentos normativos em relação aos ensaios de solos, porém se limitava a estes registros, sem retroalimentação das informações do projeto na elaboração de como construído e, com o acervo das informações mantida de modo temporário. As adequações referentes ao controle tecnológico e rastreabilidade das informações para as obras de terra foram implementadas, principalmente para as obras de terra destinadas a área de mineração para contenção de rejeitos, em virtude do atendimento de legislações e exigências estabelecidas na Política Nacional de Segurança em Barragens (PNSB), onde por meio de um dos seus instrumentos, o Plano de Segurança da Barragem (PSB), estabelece a periodicidade de execução ou atualização, qualificação dos responsáveis técnicos, conteúdo mínimo e o nível de detalhamento. A pesquisa teve como objetivo principal apresentar os controles tecnológicos desenvolvidos para um estudo de caso de obra de adequação da metodologia construtiva de uma barragem de mineração a fim de garantir a qualidade executiva da estrutura, rastreabilidade e confiabilidade dos dados, perante os procedimentos normativos e especificações técnicas. A metodologia aplicada foi a implementação de fichas de verificação das etapas construtivas, vinculados aos ensaios de liberação junto a evidência fotográfica e posteriormente, compilados com uma capa resumo e vinculados no modelo, através do hyperlink, *Building Information Modeling* (BIM), plataforma de gerenciamento das informações que possibilita a visualização dos dados estruturados e multidisciplinares em três dimensões de modo ágil e interativo. Os resultados obtidos foram controles assertivos, evidência e validação de todas as partes envolvidas na execução das atividades realizadas no aterro, elementos drenantes (filtro vertical e tapete horizontal), drenagens superficiais e alterações de projeto. Conclui-se que os controles desenvolvidos e compilados no BIM são promissores para assegurar a rastreabilidade e confiabilidade das informações de maneira célere, visto que os metadados estão disponíveis em três dimensões (3D) de forma a facilitar a visualização dos resultados.

Palavras-chave: mineração; barragem; controle tecnológico; qualidade; legislação; BIM.

ABSTRACT

Technological control, frequently used in quality management for civil construction works with a focus on compliance with regulatory procedures, is used to ensure the traceability of information throughout the entire construction period with the aim of determining the causes and responsibilities for failures and subsequently, highlight the negotiations that meet the requirements established in the project. Commonly, land works were carried out in order to follow the normative procedures in relation to soil tests, but it was limited to these records, without feedback of project information in the preparation of as built and, with the collection of information maintained in a temporary. The adjustments relating to technological control and traceability of information for earthworks were implemented, mainly for earthworks intended for the mining area to contain tailings, due to compliance with legislation and requirements established in the National Dam Safety Policy (PNSB), where through one of its instruments, the Dam Safety Plan (PSB), establishes the periodicity of execution or updating, qualification of those responsible, minimum content and level of detail. The main objective of the research was to present the technological controls developed for a case study of work to adapt the construction methodology of a mining dam in order to guarantee the executive quality of the structure, traceability and reliability of data, in light of regulatory procedures and specifications. techniques. The methodology applied was the implementation of verification sheets for the construction stages, linked to the release tests together with photographic evidence and later, compiled with a summary cover and linked to the model, through the hyperlink, *Building Information Modeling* (BIM), a management platform information system that enables the visualization of structured and multidisciplinary data in three dimensions in an agile and interactive way. The results obtained were assertive controls, evidence and validation of all parties involved in the execution of activities carried out at the landfill, drainage elements (vertical filter and horizontal mat), surface drainage and design changes. It is concluded that the controls developed and compiled in BIM are promising for ensuring the traceability and reliability of information quickly, as the metadata is available in three dimensions (3D) in order to facilitate the visualization of the results.

Key-words: mining; dam; technological control; quality; legislation; BIM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferença entre as metodologias construtivas de barragens de rejeitos.....19
Figura 2 – Dimensões do *Building Information Modeling (BIM).*.....24
Figura 3 - Critérios para enquadramento de barragens na PNSB.....26
Figura 4 – Vista frontal do objeto de estudo. 32
Figura 5 – Vista lateral direita do objeto de estudo.....32
Figura 6 – Vista superior da lateral esquerda do objeto de estudo.....33
Figura 7 - Obra: alteração da metodologia construtiva da barragem. 34
Figura 8 – Fluxograma aplicado para criação e validação das Fichas de Verificação de Serviço.....36
Figura 9 – Hierarquia de processo aplicado no controle tecnológico da obra: solos. 40
Figura 10 – Hierarquia de processo aplicado no controle tecnológico da obra: concreto.....41
Figura 11 - Fluxograma recebimento de agregados. 42
Figura 12 - Fluxograma entrega dos resultados dos ensaios 43
Figura 13 - Fluxograma validação dos ensaios por todos os envolvidos 44
Figura 14 – Modelo expandido Ficha de Verificação de Serviços (FVS).....48
Figura 15 – Modelo expandido ficha de ensaio (Hilf).....49
Figura 16 – Modelo expandido relatório fotográfico 50
Figura 17 – Modelo *croqui* informativo área de empréstimo.....52
Figura 18 – Modelo *croqui* esquemático para atividade de liberação de aterro.....53
Figura 19 – Histograma com estatística descritiva contendo os valores obtidos para grau de compactação 61
Figura 20 –Histograma com estatística descritiva contendo os valores obtidos para desvio de umidade 61
Figura 21 –Histograma com estatística descritiva contendo os valores obtidos para compacidade relativa executada no tapete drenante 62
Figura 22 – Modelo expandido capa resumo inserida no BIM 67
Figura 23 – Modelo BIM contemplando metadados em todas as camadas e estruturas. 69
Figura 24 – Modelo BIM – Evidência dos pontos de coleta dos ensaios.....70
Figura 25 – Modelo BIM – Imagem tridimensional da estrutura.....71
Figura 26 – Evidência dos controles aplicados na área de empréstimo e pátio de agregados miúdos e graúdos.....72

Figura 27 – Vista superior do modelo tridimensional dos instrumentos (diferenciados por cor) 74
Figura 28 – Vista lateral do modelo tridimensional dos instrumentos (diferenciados por cor) e drenagem interna, composta de tapete vertical tipo sanduiche e filtro horizontal. 75

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo comparativo dos principais métodos construtivos de barragens de rejeito. 20
Quadro 2 - Barragens de aterro. Grandezas a monitorar. 21
Quadro 3 – Ensaios a serem realizados no controle tecnológico de solos e pavimentação asfáltica 22
Quadro 4 – Relação das normas utilizadas para controle tecnológico de solos e agregados ... 29
Quadro 5 – Relação das normas utilizadas para controle tecnológico de concreto 30
Quadro 6 – Limites de especificação do projeto. 38
Quadro 7 – Resistências a compressão a serem obtidas 38
Quadro 8 – Caracterizações completas da área de empréstimo reprovadas. 55
Quadro 9 – Caracterizações completas da área de empréstimo aprovadas 56
Quadro 10 – Controle liberação de camadas | Aprovadas 58
Quadro 11 – Controle liberação de camadas | Reprovadas 59
Quadro 12 – Controle liberação de camadas | Aprovadas 60
Quadro 13 – Controle liberação de camadas | Aprovadas 60
Quadro 14 – Modelo padronização cadastramento individual das amostras 64
Quadro 15 – Modelo quadro resumo dos resultados obtidos. 64
Quadro 16 – Modelo planilha de controle resultados dos ensaios. 65
Quadro 17 – Modelo planilha de controle espessura de camada e volume acumulado 66
Quadro 18 - Legenda de instrumentação. 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Volumes aplicados no aterro e tapete do maciço da barragem de terra.....33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
ANM	Agência Nacional de Mineração
ASTM	*American Society of Testing and Materials*
ATO	Acompanhamento Técnico de Obra
BIM	*Building Information Modeling*
CEP	Controle Estatístico do Processo
CR	Compacidade Relativa
CMG	Centro de Monitoramento Geotécnico
DPA	Dano Potencial Associado
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
EoR	Engenheiro de Registro
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GC	Grau de compactação
IP	Índice de plasticidade
FVS	Ficha de Verificação de Serviço
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de plasticidade
PDCA	*Plan, Development, Control, Action*
ZAS	Zona de Autossalvamento
ZSS	Zona de Salvamento Secundário
3D	Três Dimensões

LISTA DE SÍMBOLOS

§	Parágrafo
w	Teor de umidade
γ	Peso específico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.1. Justificativa 15

1.2. Objetivo 16

1.2.1. Objetivo Geral 16

1.2.2. Objetivos Específicos 16

1.3. Estrutura da dissertação 16

2. REFERENCIAL TEÓRICO 18

2.2. Barragens: conceituação e caracterização 18

2.2.1. Métodos construtivos de barragens 18

2.3. Barragens de aterro (terra e enrocamento) 20

2.4. Terraplanagem 21

2.5. *Building Information Modeling* (BIM) 23

2.6. A evolução da segurança de barragens: controle tecnológico e regulamentações 25

2.7. Normas Regulamentadoras 28

2.7.1. Solos e concreto 29

3. MATERIAIS E MÉTODOS 32

3.1. Delimitação do estudo de caso 32

3.2. Procedimentos metodológicos 35

3.2.1. Criação e validação das Fichas de Verificação de Serviço 35

3.2.2. Aplicação de controle tecnológico na obra 37

3.2.3. Caracterização dos agregados 39

3.2.4. Controle estatístico do processo do controle de compactação 45

3.2.5. Criação de folha de rosto e elaboração de croquis 45

4. RESULTADOS E ANÁLISES 47

This content is Public.

4.1. Fichas de Verificação de Serviço (FVS), ficha de ensaio e relatório fotográfico 47

4.2. Croquis da praça de trabalho 50

4.3. Análise e caraterização das áreas de empréstimo utilizadas para construção do aterro e dos Agregados miúdos aplicados na drenagem interna 54

4.4. Apresentação dos resultados por meio do BIM 67

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS 76

5.1. Conclusões 76

5.2. Sugestões para futuras pesquisas 76

REFERÊNCIAS 78

This content is Public.

1. INTRODUÇÃO

Controles de produtos e processos são amplamente utilizados desde o século 20, no período da Segunda Guerra Mundial, no qual os países afetados utilizaram dos modelos e metodologias desenvolvidas pelos precursores da qualidade, que dedicaram a melhorar as empresas e criar padrões que foram replicados e reproduzidos a fim de garantir um ciclo de melhoria contínua e desenvolvimento por meio de controles estatísticos dos processos, e desta forma, reduzir o índice de retrabalho (Bendell; Penson; Carr, 1995).

Alguns profissionais se destacaram mundialmente como precursores da Qualidade por desempenharem papéis fundamentais na evolução e aplicação de vários conceitos e princípios desta área ao longo do tempo, como: Walter Shewart, responsável pelo desenvolvimento da ferramenta Planejar, Desenvolver, Controlar e Agir (PDCA) e Controle Estatístico do Processo (CEP); William Edwards Deming, responsável pela reconstrução do Japão pós-guerra e difundir a ferramenta PDCA, considerada atualmente a ferramenta mais utilizada no mundo para melhoria contínua; Joseph Moses Juran, responsável pelo desenvolvimento da Trilogia de Juran composta pelos conceitos Planejar, Controlar e Aperfeiçoar; Kaoru Ishikawa, responsável pela organização das sete ferramentas da qualidade e criação do diagrama de causa e efeito; Armand Vallin Feigenbaum, responsável por disseminar o lema “Qualidade é responsabilidade de Todos” para garantir apoio principalmente da liderança; e, Philip Crosby, responsável por solicitar o cumprimento da qualidade como requisito pré-estabelecido e Defeito Zero a fim de evitar retrabalho, otimizar custo e prazo e atender as necessidades do cliente (Oliveira, 2017).

O processo que garante a veracidade das informações depende da rastreabilidade, confiabilidade e validação dos dados pelo corpo técnico envolvido (Zhong; Wu; Ding, 2020).

A disciplina da qualidade em obras de engenharia, possui o Sistema de Gestão Integrada (SGI) com o objetivo de assegurar o controle dos produtos a serem utilizados e, os processos aplicados a fim de certificar o atendimento aos procedimentos normativos, bem como atender os requisitos mínimos de projetos através dos resultados obtidos em rompimentos de concreto, caracterização de agregados e solos para aplicação dos materiais (Massad, 2010).

O controle tecnológico, amplamente utilizado em obras de edificações para garantir as etapas construtivas conforme projeto, atualmente, em virtude dos rompimentos das estruturas de terra, especificamente das barragens de mineração, apesar de solicitado desde 2010, através da Lei 12.334 (Brasil, 2010) a necessidade de realizar os projetos nomeados de *as is* que informa como as estruturas existentes estão e o, *as built* das novas estruturas que apresentam

This content is Public.

como foram construídas, a Resolução Nº 95 (ANM, 2022) intensificou a cobrança e atendimento a Portaria 70.389 (DNPM, 2017), alterada pela Resolução Nº 32 (ANM, 2020) no qual solicita nos parágrafos §5º e §6º, respectivamente, o Plano de Segurança de Barragem (PSB) de toda barragem de mineração construída antes da promulgação da Lei 12.334, de 2010, deve conter o projeto "como construído" – *as built* e "como está" – *as is* no prazo máximo de três anos a partir da data de início de vigência da portaria.

Desta forma, fichas de verificação de serviços devidamente validadas pelas partes envolvidas e *croquis* informativos, foram criados e anexados junto aos ensaios com evidências fotográficas a fim de garantir a rastreabilidade e confiabilidade das informações de maneira a certificar que todas as atividades foram executadas com acompanhamento do corpo técnico (Rocha, 2007).

Com o objetivo de utilizar a inovação digital a favor do controle tecnológico implementado e apresentar maior agilidade para encontrar as informações, foi aplicada a metodologia *Building Information Modeling* (BIM), recurso que proporciona facilidade de integração dos dados e processos, pois permite a colaboração entre todas as disciplinas em um sistema único e compartilhado, visto que o modelo é mantido na nuvem e o banco de dados atualizado conforme a evolução da obra. (Sacks *et al*., 2018).

1.1. Justificativa

Em virtude dos acidentes em grande proporção ocorridos em Minas Gerais envolvendo barragens para acumulação de rejeitos de mineração, nas cidades de Mariana (2015) e Brumadinho (2019), o Estado têm buscado um nível de maturidade no que tange a gestão de barragens, por meio de instrumentos legais, com o objetivo de erradicar acidentes (Silva, 2022) e obter maiores informações sobre a construção, qualidade dos materiais aplicados e confiabilidade nos resultados obtidos e disponibilizados, quando solicitado.

Desta forma, com a finalidade de atender às solicitações acerca das normativas relacionados a segurança de barragens (Resolução ANM Nº 95/2022), principalmente sobre a Estrutura e Documentação Técnica do Empreendimento (Anexo II, Volume I, Tomo II – Documentação Técnica do Empreendimento), foram desenvolvidos controles que possibilitaram integrar todas as informações com confiabilidade nos resultados apresentados, referente a obra de adequação da metodologia construtiva da estrutura, objeto do estudo de caso apresentado.

This content is Public.

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo Geral

Apresentar a metodologia de controle tecnológico e rastreabilidade das informações aplicada à execução obra de adequação da metodologia construtiva da barragem de mineração, bem como disponibilizar a metodologia construtiva para demais obras de aterro em barragens de terra.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar Fichas de Verificação de Serviços (FVS) para execução do aterro, tapete drenante, estruturas de concreto, instalação dos instrumentos e demais atividades;
- Elaborar *Croquis* informativos para representar as praças de trabalho;
- Apresentar os controles aplicados no *Building Information Modeling* (BIM), processo utilizado para gerenciar as informações durante o período executivo da obra e obter a descrição digital de cada etapa construída.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, onde, no Capítulo 1, trata da Introdução, onde se apresenta a contextualização geral do tema abordado, assim como o objeto da pesquisa, a justificativa entorno do tema da pesquisa, os objetivos gerais e específicos, assim como a apresentação da estrutura deste documento.

No Capítulo 2, traz o referencial teórico, no qual foi explanado os principais conceitos sobre barragens e suas metodologias construtivas, principais legislações e normas técnicas auxiliares acerca da segurança de barragens, assim como revisado a importância do controle tecnológico e da técnica de movimentação de solos.

No Capítulo 3, são abordados os materiais e métodos utilizados para realização deste estudo, com a natureza e classificação da pesquisa, a descrição do objeto de estudo de caso, assim como a descrição concisa dos procedimentos metodológicos realizados, e neste, os fluxogramas de processo utilizados e os *software*s Civil 3D e Navisworks utilizados para construção, visualização e gerenciamento do modelo referente ao objeto de estudo.

This content is Public.

O Capítulo 4, apresenta os resultados e análises deste estudo, em consonância com os objetivos e natureza e classificação desta pesquisa. Este Capítulo está subdivido na apresentação das Fichas de Verificação de Serviço (FVS), dos croquis da praça de trabalho, análise e caracterização da área de empréstimo utilizadas para construção do aterro e dos agregados miúdos aplicados na drenagem interna, e apresentação dos resultados por meio do emprego do BIM (visualização tridimensional).

E o Capítulo 5, apresenta as conclusões entorno deste estudo, assim como sugestões para futuras pesquisas, a fim de contribuir para estudos que envolvam este campo da ciência, de forma a motivar a comunidade acadêmica e científica por meio de estudos que possam ser aperfeiçoados.

Desta forma, essa dissertação apresenta-se como de natureza aplicada, pois envolve a utilização de metodologias para controle tecnológico das informações fornecidas acerca do projeto executivo de alteração da metodologia construtiva de uma barragem de terra caracterizada inicialmente como montante para jusante. Desta forma, contribui através do estudo e das práticas adotadas, o atendimento aos procedimentos normativos e recomendações relacionadas às legislações atuais do setor minerário no Brasil.

Em relação aos objetivos, trata-se de um estudo descritivo, pois descreve as características de uma estrutura e estabelece uma relação com as leis e normas estudadas (Gil, 2020). Em virtude disso, possui método de estudo de caso e documental, pois trata-se de uma análise investigativa sobre a obra onde o intuito é padronizar através das informações fornecidas a melhor e completa caracterização de seus dados técnicos, de forma a pensar na segurança dos envolvidos.

Quanto a abordagem, classifica-se como quali-quantitativa, pois foram realizados levantamentos e acompanhamento das informações disponíveis sobre a estrutura, além de uma análise sobre os materiais constituintes da estrutura para averiguação junto aos parâmetros estabelecidos por normas técnicas e utilização destes resultados de construção para a realização de modelagem em *software* de visualização tridimensional.

This content is Public.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.2. Barragens: conceituação e caracterização

A indústria da mineração é responsável por gerar significativas quantidades de resíduos sólidos, como rejeitos e estéreis, e estes devem ser adequadamente confinados em instalações de armazenamento (Coulibaly; Belem; Cheng, 2017).

Conforme Art. 2º, barragem é definida como qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas (Brasil, 2020), ou entendidas ainda como as maiores estruturas geotécnicas construídas pela humanidade, com diversas finalidades como a retenção de rejeitos, armazenagem de água e geração de energia hidrelétrica (Cardozo; Pimenta; Zingano, 2016).

As barragens podem ser classificadas de acordo com o seu objetivo hidráulico e quanto ao tipo de material utilizado na construção, podem ser caracterizadas como convencionais – de terra (homogênea ou zonada), enrocamento, concreto (de gravidade, em arco, em contrafortes) ou mistas - ou não convencionais (de gabião, madeira, alvenaria ou pedra) (Costa, 2016; Shaene *et al*., 2019).

O dimensionamento de barragens é resultado de um trabalho que envolve vários setores industriais e comerciais, como a engenharia, elétrica, hidráulica, estrutural, geotécnica e hidrologia (Shaene *et al*., 2019). Devido a magnitude destas estruturas, faz-se necessário um alto nível de segurança referentes às análises de estabilidade interna e externa do maciço, e as perdas materiais e ambientais (Passos, 2009).

Nesse sentido, a gestão de barragens envolve a fiscalização por parte dos agentes fiscalizadores e dos empreendedores, a fim de garantir a segurança da sociedade e evitar acidentes (Jesus, 2021), pois "as tipologias de barragens de rejeito estão relacionadas aos processos construtivos e materiais utilizados nos alteamentos" (Vidal; Leão, 2022, p. 2).

2.2.1. Métodos construtivos de barragens

"As barragens de rejeito podem ser construídas com terra ou enrocamento, compactadas (material de empréstimo) ou com o próprio rejeito da usina de beneficiamento (Victorino, 2007 *apud* Passos, 2009, p. 19), e devem possuir um dique de partida. Diante disso, destaca-se na

This content is Public.

mineração, a metodologia construtiva para estas categorias de barragens, que podem ser caracterizadas em três métodos: jusante, montante e linha de centro.

O método de montante consiste no alteamento contínuo das barragens através da utilização e predisposição de rejeitos sobre o próprio corpo da barragem (camadas de rejeito sucessivas) (ANA, 2022).

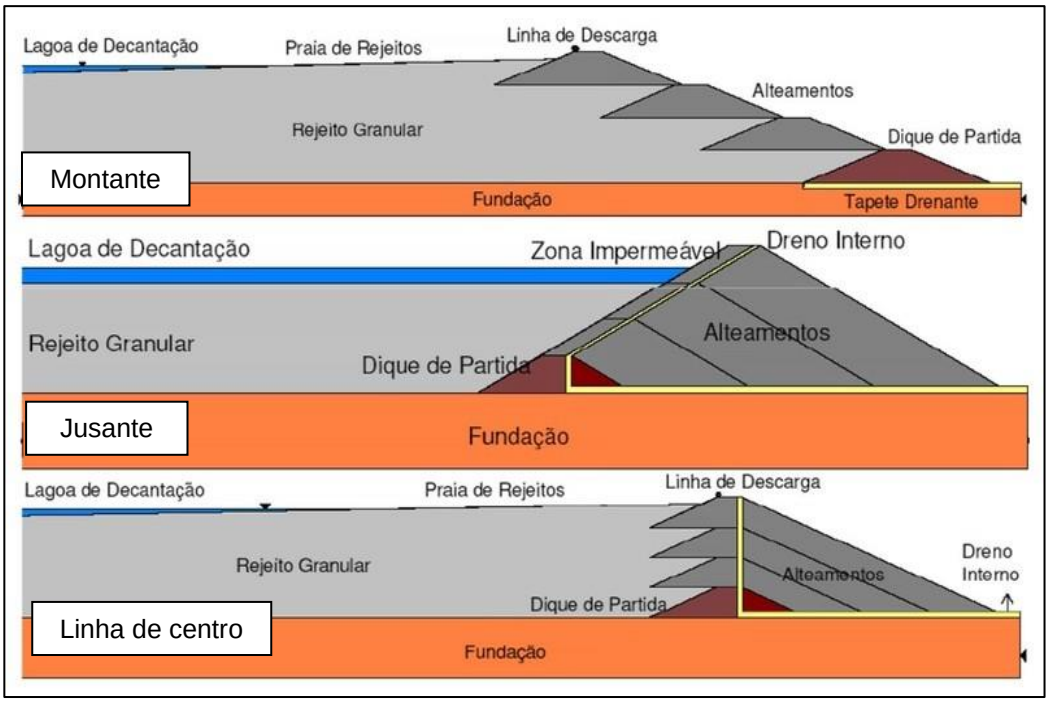
Ainda sobre esta metodologia construtiva, cabe enfatizar a Lei Federal nº 14.066 (Brasil, 2020), que determinou a proibição de barragens construídas e alteadas por esse método, assim como exigido aos empreendedores minerários a descaracterização destas barragens em suas propriedades, devido aos desastres ocorridos anteriormente no Brasil.

O método de jusante, contrário ao anterior, consiste no alteamento contínuo sempre através de um dique primário e do talude à jusante (ANA, 2022).

Por fim, o método linha de centro, conforme Cardozo, Pimenta e Zingano (2016) "consiste de construção e alteamento do barramento tanto à montante quanto à jusante, acompanhando um eixo vertical, chamado de linha de centro, sobre o rejeito depositado a montante e sobre o próprio barramento à jusante".

A Figura 1 apresenta as principais diferenças estruturais entre estas metodologias construtivas de barragens.

Figura 1 - Diferença entre as metodologias construtivas de barragens de rejeitos.



Fonte: Comitê Brasileiro de Barragens, [s. d].

This content is Public.

Estas três categorias de construção de barragens apresentam vantagens e desvantagens, seja no âmbito econômico, social ou ambiental. Alguns destes pontos são destacados pelo Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo comparativo dos principais métodos construtivos de barragens de rejeito.

	Montante	Jusante	Linha de centro
Tipo de rejeito	Baixa densidade para que ocorra segregação	Qualquer tipo	Areias de lamas de baixa plasticidade
Descarga de rejeitos	Periférica	Independe	Periférica
Armazenamento de água	Não recomendável para grandes volumes	Bom	Aceitável
Resistência a abalos sísmicos	Baixa	Boa	Aceitável
Alteamentos	Ideal menos 10 m/ano	Nenhuma restrição	Pouca restrição
Vantagens	Menor custo, utilizado onde há restrição de área	Maior segurança	Flexibilidade construtiva
Desvantagens	Baixa segurança suscetibilidade a liquefação e piping	Grande quantidade de material requerido proteção do talude a jusante apenas na configuração final	Custo elevado; Não possibilita a proteção com cobertura vegetal e tampouco drenagem superficial durante a fase construtiva.

Fonte: Cardozo, Pimenta e Zingano (2016, p. 82).

2.3. Barragens de aterro (terra e enrocamento)

"As barragens de aterro são estruturas essencialmente constituídas por materiais naturais ou processados, podendo ter diferentes tipos, de acordo com os fatores condicionantes locais, em seguida indicados" (ANA, 2016, p 50).

Estas estruturas podem ser do tipo de terra ou de enrocamento, ou uma mistura destes dois métodos.

Conforme Miranda (2016), as barragens de terra, são constituídas – em mais de 50% de seu volume – por aterramentos de material terroso (solos e material rochoso com granulometria igual ou menor que pedregulho).

Já as barragens de enrocamento, de acordo com Miranda (2016), são formadas - em mais de 50% de seu volume - por material rochoso de granulometria similares entre si e maior que pedras de mãos.

This content is Public.

De acordo com a ANA (2016), alguns parâmetros destas barragens devem ser analisados periodicamente de acordo com o material, a fim de evitar deslocamentos, vazões de infiltração e subpressões. Estas grandezas são apresentadas pelo Quadro 2.

Quadro 2 - Barragens de aterro. Parâmetros a serem monitorados.

Parâmetros	Instrumentos mais comuns	Tipo de Estrutura			
		Terra/Enrocamento	Enrocamento com face de concreto	Terra	Terra com galeria enterrada
Pressões neutras no aterro (poropressões)	Piezômetros hidráulicos, pneumáticos e elétricos	x	x	x	x
Recalques do aterro	Medidores de recalque Inclinômetros	x	x	x	x
Deslocamentos superficiais (planialtimétricos)	Marcos geodésicos	x	x	x	x
Subpressões na fundação	Piezômetros de fundação	x	-	x	x
Vazões de percolação	Medidores de vazão	x	x	x	x
Materiais sólidos carreados pelas águas de percolação	Medidores de turbidez	x	-	x	x
Pressões totais e poropressões nas interfaces	Células de pressão total e piezômetros hidráulicos, elétricos ou pneumáticos	x	-	x	x
Deslocamentos diferenciais da junta perimetral	Medidores triortogonais de juntas	-	x	-	-
Deslocamentos entre lajes na região das ombreiras	Medidores de juntas	-	x	-	-
Tensões internas no concreto	Extensômetros e deformímetros	-	x(*)	-	-
Deflexão da laje de montante	Eletronível	-	x	-	-
Tensões na interface solo-concreto da galeria	Células de pressão	-	-	-	x
Recalques ao longo da galeria	Extensômetros de fundação	-	-	-	x

(*) Barragem de altura superior a 100m.

Fonte: ELETROBRAS (2003) adaptado por ANA (2016).

2.4. Terraplanagem

A terraplanagem se destaca como uma técnica de movimentação de massas, que pode ser compreendida como um “conjunto de operações necessárias para remover o solo dos locais em que se encontra em excesso para aqueles em que há falta, tendo em vista um determinado

This content is Public.

projeto a ser implantado." (Nichols; David, 2010 *apud* Reis *et al*., 2020, p. 6). Ainda é destacado por Nascimento e Sampaio (2020):

> O comportamento dos cortes e aterros está intimamente relacionado com as características do solo utilizado nas obras de terraplenagem, pois, o solo é um material de construção que exige um amplo conhecimento de suas características geotécnicas (Nascimento; Sampaio, 2020, p.1).

Projetos que incorporam essa técnica devem seguir as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), exigindo profissionais qualificados para sua execução (Reis *et al*., 2020), ou seja, em obras de terraplanagem há a necessidade de todo um controle tecnológico, desde o planejamento e alocação recursos, até o levantamento, acompanhamento e correção de procedimentos que validem todos os resultados (Souza, 2014).

A gestão da qualidade em obras rodoviárias, devem seguir os procedimentos mínimos determinados pelo Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte que determina o procedimento a ser utilizado desde o planejamento, implantação, implementação e verificação da gestão da qualidade em obras rodoviárias conforme procedimento 011/2004 (DNIT, 2004)

Conforme Quadro 3, é apresentado os ensaios mínimos a serem realizados para o controle tecnológico em obras de estradas, a saber que podem ser ajustados conforme as necessidades e particularidades da obra.

Quadro 3 – Ensaios a serem realizados no controle tecnológico de solos e pavimentação asfáltica

Ensaio	Finalidade	Norma de Referência	Equipamentos utilizados	Frequências
Ensaio de Granulometria	Avaliação da distribuição granulométrica do solo	ABNT NBR NM 248	Peneiras, Balança	A cada 500 m³ de material
Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR)	Determinação da capacidade de suporte do solo	DNER-ME 049/94	Cilindro compactador, Moldes, Equipamento de medição	A cada camada compactada
Ensaio de Densidade In Situ	Medição da densidade do solo no local	ABNT NBR 7182	Sand cone, Balança, Bandeja de coleta	A cada camada compactada
Ensaio de Umidade	Determinação do teor de umidade do solo	ABNT NBR 7181	Estufa, Balança	Regularmente durante a compactação
Ensaio de Penetração com Cone Dinâmico Leve (DCP)	Avaliação da resistência do solo	ABNT NBR 13250	Cone dinâmico leve, Martelo, Hastes	A cada 100 m ou conforme projeto

This content is Public.

Ensaio de Granulometria do Agregado	Avaliação da distribuição granulométrica do agregado	ABNT NBR NM 248	Peneiras, Balança	A cada lote de agregado
Ensaio de Densidade e Absorção do Agregado	Determinação da densidade e absorção do agregado	ABNT NBR NM 53	Picnômetro, Balança, Estufa	Inicial e periodicamente durante a obra
Ensaio de Marcação de Faixa	Verificação da correta marcação da faixa	ABNT NBR 14755	Trena, Equipamento de marcação	Antes da aplicação da camada asfáltica
Ensaio de Compactação (Proctor Modificado)	Determinação da densidade máxima seca e teor de umidade	ABNT NBR 7182	Compactador, Moldes, Equipamento de medição	A cada camada de base e sub-base
Ensaio de Abrasão Los Angeles	Avaliação da resistência ao desgaste do agregado	ABNT NBR NM 53	Máquina de ensaio de abrasão, Peneiras	Regularmente durante a obra
Ensaio de Drenagem Superficial	Verificação da capacidade de drenagem da pavimentação	ABNT NBR 9781	Equipamento de teste de infiltração de água	Após a conclusão da pavimentação

Fonte: DNIT (2004)

2.5. *Building Information Modeling* (BIM)

Considerado a base da transformação digital para os setores da arquitetura, engenharia e construção civil (AEC) o Modelagem de Informação da Construção – em inglês *Building Information Modeling* (BIM) - é o conjunto de tecnologias e processos integrados que permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, que sirva a todos os participantes do empreendimento, em qualquer etapa do ciclo de vida da construção (Brasil, 2020). Algumas das ferramentas que auxiliam nas etapas de modelagem, visualização e gerenciamento das informações são o Civil 3D e Navisworks.

Desta maneira, o modelo da estrutura é habilitado em um diretório na nuvem e integra os dados estruturados e multidisciplinares entre si, o que possibilita reproduzir a representação digital da estrutura com todas as etapas do projeto (Autodesk, 2023).

O conceito de metadados é introduzido pela plataforma, e consiste em elementos virtuais dentro da representação tridimensional da estrutura aos quais são vinculadas as informações coletadas pelas partes envolvidas.

Segundo Gomes e outros (2021), o BIM promove maior familiaridade entre os colaboradores responsáveis por modelar e gerenciar as informações de diferentes disciplinas, visto que o ambiente é colaborativo e permite um plano de ampla visão em cada etapa do projeto.

A criação de um modelo digital de informações de construção permite que aqueles que interagem com a construção otimizem suas ações, resultando em um maior valor para o ativo.

This content is Public.

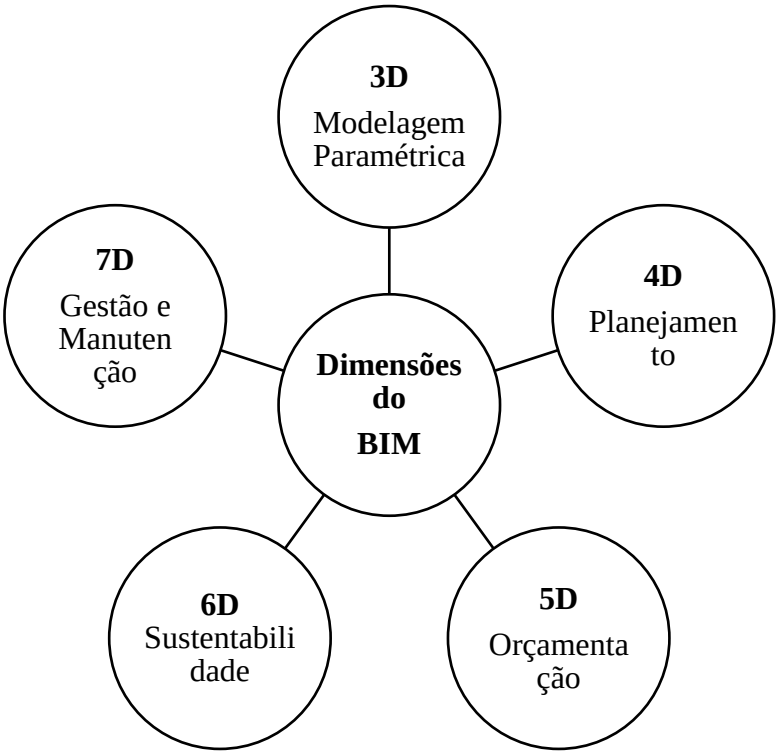
A efetiva implantação da metodologia BIM na organização está baseada em três dimensões fundamentais: tecnologia, pessoas e processos, integradas entre si por procedimentos e está em constante desenvolvimento (DNIT, 2021)

As informações técnicas referente construção e instalação dos instrumentos em geral podem ser consultados (Gomes *et al*., 2021), se o modelo for vinculado ao Centro de Monitoramento Geotécnico (CMG) aos *softwares* utilizados para controlar e monitorar os dados de leitura dos instrumentos automatizados.

O recurso de modelagem e gerenciamento das informações está em processo de implantação nas estruturas de barragens destinadas à mineração, seja para obras de implantação, adequação da metodologia construtiva ou descaraterização, Wahyuningrm, Sari e Kresnanto (2019) mencionam que as estruturas de barragens possuem complexidades e particularidades em virtude das condições topográficas e locais de construção, e o *BIM* possui a capacidade de integrar todas as etapas de implementação e desta forma, superar os problemas bem como estimar os custos e através da visualização em três dimensões, 3D, monitorar as alterações e desvios.

Conforme Figura 2, está apresentado as dimensões do BIM e a capacidade de utilização nas áreas da Arquitetura, Engenharia e Construção.

Figura 2 – Dimensões do *Building Information Modeling (BIM).*



Fonte: Azhar, 2011

This content is Public.

2.6. A evolução da segurança de barragens: controle tecnológico e regulamentações

Coulibaly, Belem e Cheng (2017) destacam a probabilidade de poluição ambiental, a depender da composição do rejeito/resíduo disposto, seja por drenagem ácida ou contaminada quando expostos a condições atmosféricas.

A ocorrência de colapsos de barragens de rejeitos na sociedade culminou no aperfeiçoamento e trabalho em conjunto das esferas de segurança, inovação tecnológica e atualização de legislações e regulamentações para análises e gestões de risco (Komljenovic *et al*., 2020).

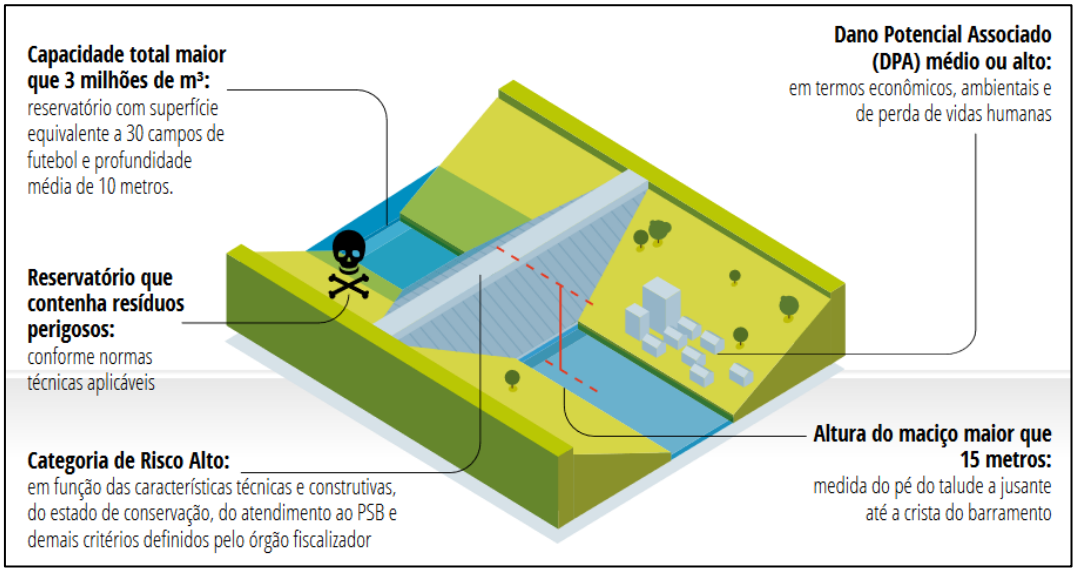
Em virtude da segurança social e ambiental, segundo Vidal e Leão (2022), o controle tecnológico de qualquer obra requer a validação de procedimentos operacionais por técnicos devidamente habilitados e direcionados a tratativa de problemas, logo, a segurança das barragens está diretamente relacionada ao controle tecnológico a que são submetidas, pois mesmo que, atualmente, haja quarenta e três órgãos fiscalizadores de seguranças de barragens no Brasil, nas esferas estadual e federal (ANA, 2018), a Política Nacional de Segurança em Barragens (PNBS) (Brasil, 2020) dá ênfase na responsabilidade social e ambiental por parte dos empreendedores no que se refere à garantia da segurança de barragens e seus potenciais efeitos para um ecossistema.

Ainda sobre segurança, a PNSB indica ações de manutenção da segurança, e dentre estas indicações está o Plano de Segurança de Barragem (PSB), definido como um instrumento "de elaboração e implementação obrigatória pelo empreendedor, de atualização constante e que se trata de um repositório de dados, informações e documentos da estrutura" (Brasil, 2020).

Conforme o último Relatório de Segurança de Barragens elaborado pela Agência Nacional de Águas (2022), o cadastramento de barragens é a base da PNSB, e neste cadastro deve haver informações suficientes para o seu enquadramento, permitindo assim um diagnóstico preciso em relação à sua situação atual para o apontamento de ações preventivas e corretivas relativas à segurança. A Figura 2 apresenta alguns critérios para enquadramento de barragens em consonância à PNSB.

This content is Public.

Figura 3 - Critérios para enquadramento de barragens na PNSB.



Fonte: ANA (2022).

Conforme Souza (2014, p. 9):

> Controle Tecnológico pode ser definido como a utilização de qualquer aspecto do conhecimento humano, quer seja na forma de métodos e procedimentos ou ainda ferramentas, dispositivos ou equipamentos, de forma a viabilizar a execução e/ou otimizar os resultados de uma determinada atividade (Souza, 2014, p. 9).

Em vista disso, contempla-se então os projetos como está e como construído, previstos na Resolução nº 95 da Agência Nacional de Mineração (ANM), e devem estar inclusos no PSB. Trata-se de relatórios técnicos detalhados com "estudos geológico-geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos, instrumentação, análises de estabilidades e os desenhos técnicos da estrutura" (ANM, 2022). Os projetos *as is* "como está" são essenciais para resgatar aspectos construtivos e auxiliar na avaliação da situação atual dos empreendimentos (Jesus, 2021). Ainda conforme o mesmo autor (2021), em casos em que os empreendimentos já possuam *as built* "como construído", o intuito é "verificar as informações apresentadas e validar, quando necessário, de acordo com as normas e padrões vigentes".

Com o objetivo de atender à Lei nº 12.334[1] (Brasil, 2010), que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens para armazenamento de água e disposição de resíduos industriais, juntamente com a Resolução nº 95 (ANM, 2022) que define a periodicidade de

[1] Alguns parágrafos e incisos da Lei nº 12.334 foram atualizados e incluídos pela Lei nº 14.066.

This content is Public.

execução e atualização, qualificação dos responsáveis técnicos e conteúdo mínimo do Plano Nacional de Segurança de Barragens, e consolida os regulamentos sobre segurança de barragens de mineração, e a Resolução nº 122 (ANM, 2022), que trata dos procedimentos e sanções em caso de não cumprimento das obrigações na legislação mineral, foram utilizados como referência as fichas e controles aplicados em obras de edificações e estradas, a fim de garantir junto aos ensaios realizados, a rastreabilidade das informações relacionadas a execução das obras e atividades realizadas. Os controles têm com o objetivo garantir que todas as informações estejam detalhadas no projeto como construído, de forma a facilitar o acesso e a conformidade com as normas de segurança de barragens.

As portarias junto a leis, entraram em vigor, com intuito principal de assegurar a segurança da população localizada a jusante da estrutura, nomeadas de Zona de Autossalvamento (ZAS)[2] e Zona de Salvamento Secundário (ZSS)[3] e penalizar as mineradoras em caso de descumprimento, conforme ações e prazos acordados conforme classificação de Dano Potencial Associado (DPA) de cada estrutura.

A qualidade, controle tecnológico, rastreabilidade e confiabilidade das informações em obras de terra destinadas às barragens de mineração estão diretamente relacionadas ao elevado nível de controle dos serviços e materiais em cada etapa do projeto (Cruz, 1996).

A qualidade requer melhoria contínua e controle dos processos, no qual possui como objetivo reduzir o índice de retrabalho e assegurar que envolvidos externos compreendam as informações sem necessidade de explicação e buscar inovação para obter ganhos no processamento e confiabilidade nos dados gerados (Rocha, 2007).

Os procedimentos que certificam um controle de qualidade assertivo e o atendimento a especificação técnica do projeto, são:

(I) Verificar os certificados de calibração dos equipamentos utilizados e controlar periodicamente as validades dos equipamentos;

(II) Elaborar planilhas de controle e/ou utilização de softwares para acompanhamento dos resultados;

(III) Gerar *croquis* informativos referentes as áreas de empréstimo, com controle de revisões, a fim de acompanhar o volume de material caracterizado e consumido junto a um quadro resumo que contenha a quantidade de amostras aprovadas, reprovadas, em análise com os respectivos volumes;

[2] "Trecho do vale a jusante da barragem em que não haja tempo suficiente para intervenção da autoridade competente em situação de emergência, conforme mapa de inundação" (Brasil, 2020).

[3] "Trecho constante do mapa de inundação não definido como ZAS (Brasil, 2020).

This content is Public.

(IV) Gerar c*roquis* informativos referentes ao aterro, com controle de revisões e atualizar em períodos semanais e/ou quinzenais com o objetivo de garantir a representatividade da estrutura e atendimento a especificação em relação a frequência dos ensaios a serem realizados;

(V) Compilar as informações e recolher validações dentro do período estabelecido para evitar acúmulo e perda de informações;

(VI) Acompanhar estatisticamente os resultados obtidos com o objetivo de verificar a consistência dos processos executados, principalmente o índice de reprovação das camadas do aterro.

(VII) Obter através da modelagem e gerenciamento colaborativo das disciplinas, a descrição digital de cada etapa construtiva vinculada aos controles e resultados dos ensaios no *Building Information Modeling* (BIM), através de hiperlinks gerados a fim de obter uma rápida visualização das informações referente às liberações.

O controle tecnológico em obras de terra aplicadas à mineração, seja para execução ou adequação da estrutura, consiste na montagem da estrutura de um laboratório de solos e concreto a fim de garantir a execução dos ensaios, conforme evolução da obra e obtenção dos resultados em tempo hábil.

Os ensaios realizados durante o processo construtivo para avaliação do atendimento aos parâmetros estabelecidos devem ser realizados conforme procedimentos estabelecidos pelas normas técnicas (Das; Sobhan, 2015).

2.7. Normas Regulamentadoras

As Normas Regulamentadoras (NRs) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) são responsáveis por instruir de forma padronizada procedimentos técnicos que envolva a garantia da qualidade de um serviço produto ou processo, além da segurança para os profissionais envolvidos e para a sociedade contemplada pelos seus resultados.

No que se refere ao ensaio de solos e concretos, a ABNT oferta um grupo de NRs que ditarão procedimentos recomendados para testes e ensaios com estes materiais, além de ditar parâmetros de conformidade.

Além disso, há normas internacionais que podem ser utilizadas de forma cooperativa, como as normas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), desde que sejam aceitáveis no mercado ou quando não há uma norma brasileira equivalente disponível.

This content is Public.

2.7.1. Solos e concreto

As normas relacionadas aos ensaios de solos e concreto permitem avaliar os parâmetros de resistência, parâmetros físicos e de controle, granulometria e resistência dos materiais nesta pesquisa dado o tipo de obra em estudo. Nos Quadros 4 e 5, respectivamente, estão relacionadas as normas referentes aos ensaios para controle tecnológico de solos, agregados miúdos, graúdos e concreto:

Quadro 4 – Relação das normas utilizadas para controle tecnológico de solos e agregados

NORMA	DESCRIÇÃO	REVISÃO EM 2023
ABNT NBR 6457	Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e caracterização	2016
ABNT NBR 6458	Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água	2016
ABNT NBR 6459	Determinação do limite de liquidez	2017
ABNT NBR 7180	Determinação do limite de plasticidade	2016
ABNT NBR 7181	Análise granulométrica	2016
ABNT NBR 7182	Ensaio de compactação	2016
ABNT NBR 7185	Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego do frasco de areia	2016
ABNT NBR 9604	Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas;	2016
ABNT NBR 9813	Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego do cilindro de cravação	2016
ABNT NBR 12102	Controle de compactação pelo método de Hilf	2020

This content is Public.

ABNT NBR 13292	Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares a carga constante	2021
ABNT NBR 14545	Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável	2021
ABNT NBR 16840	Determinação do índice de vazios máximo em solos não coesivos	2020
ABNT NBR 16843	Determinação do índice de vazios mínimo em solos não coesivos	2020
ASTM 3080	Ensaio de cisalhamento direto	2011
ASTM D7181	Ensaios Triaxial CD (Adensado e Drenado)	2020
ASTM D4767	Ensaios Triaxial CU (Adensado e Não Drenado)	2020
ASTM D2850	Ensaios Triaxial UU (Não Adensado e Não Drenado)	2020
ASTM D1883	Índice de Suporte Califórnia	2021

Fonte: Autora, (2023)

Quadro 5 – Relação das normas utilizadas para controle tecnológico de concreto

NORMA	DESCRIÇÃO	REVISÃO EM 2023
ABNT NBR 5738	Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova	2015
ABNT NBR 5739	Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos	2018
ABNT NBR 16886	Amostragem de concreto fresco	2020

This content is Public.

ABNT NBR 16889	Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.	2020

Fonte: Autora (2023)

Em relação aos parâmetros de liberação materiais, devem ser avaliados se os resultados obtidos estão conforme o resultado mínimo especificado pela projetista disponibilizada na especificação técnica do projeto, visto que cada barragem tem sua particularidade, o que impossibilita a generalização dos parâmetros mínimos de liberação.

Para os ensaios de caracterização completa de solos coesivos, não coesivos e concreto, com o objetivo de avaliar se os resultados estão aderentes ao considerado na fase de projeto detalhado, deve ser verificado os resultados de:

1. umidade ótima e massa específica seca máxima;
2. densidade real dos grãos;
3. índice de plasticidade;
4. porcentagem de argila, silte, areia (fina, média e grossa) e pedregulho na amostra;
5. permeabilidade;
6. curva granulométrica;
7. índice de vazios;
8. teor de pulverulento;
9. resistência do material;
10. demais informações e resultados a serem obtidos conforme solicitados pela projetista no item de “controle tecnológico do aterro”

Considerando as obras de infraestrutura rodoviária, existem valores e frequências pré-estabelecidos pela Norma DNIT 108/2009 – Terraplenagem - Aterros, Especificação de Serviço, conforme itens 7.1 a 7.4 quanto ao controle de insumos, controle de execução, de verificação do produto e condições de conformidade e não conformidade (DNIT, 2009).

This content is Public.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Delimitação do estudo de caso

O objeto deste estudo de caso é uma barragem de terra para disposição de rejeito de minério de ferro localizada no quadrilátero ferrífero do estado de Minas Gerais. O foco principal foi a aplicação de controle tecnológico das informações relativas à obra de adequação da metodologia construtiva desta barragem, que teve sua metodologia construtiva alteada a montante, alterada para jusante além da garantia sobre a rastreabilidade e confiabilidade das informações levantadas. A estrutura desta barragem é ilustrada pelas Figuras 4, 5 e 6.

Figura 4 – Vista frontal do objeto de estudo.

Fonte: Autora (2023).

Figura 5 – Vista lateral direita do objeto de estudo.

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Figura 6 – Vista superior da lateral esquerda do objeto de estudo.

Fonte: Autora (2023).

Ao considerar todas as adequações da estrutura, é necessário compreender a magnitude de suas camadas construtivas, a Tabela 1 apresenta os volumes de tapete e aterro do objeto estudado.

Tabela 1 – Volumes aplicados no aterro e tapete do maciço da barragem de terra.

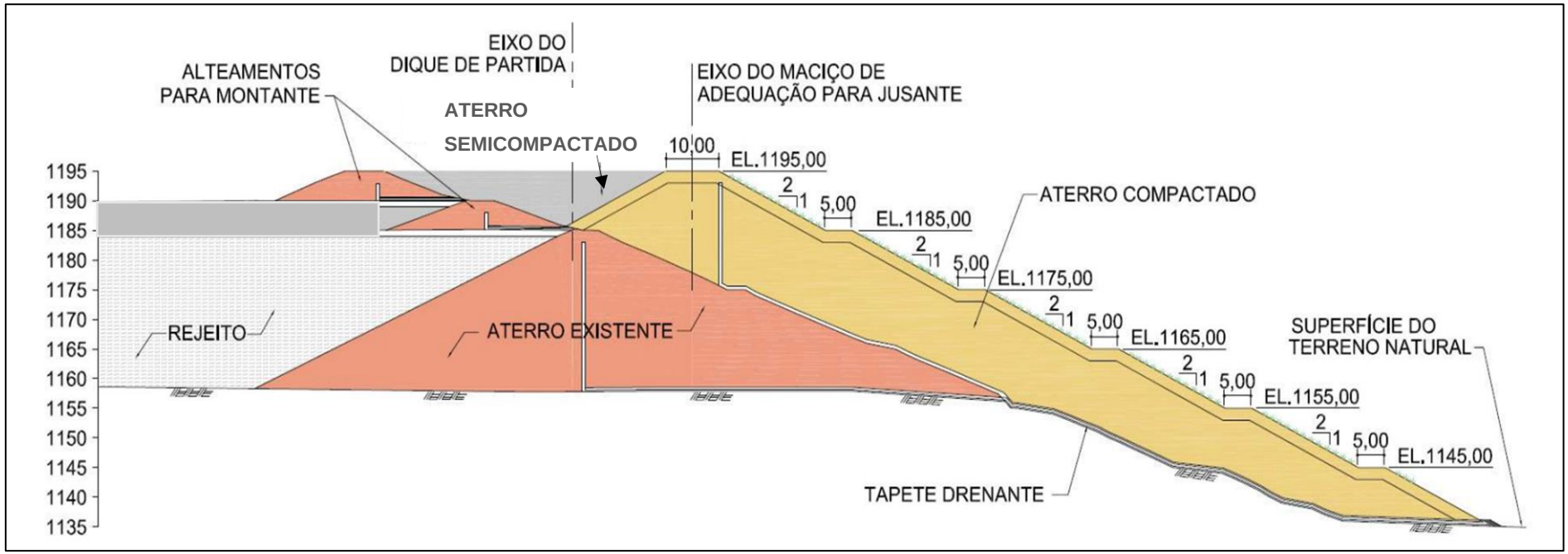
Material	Volume (m^3)
Areia	22.316,85
Brita 0 (Pedrisco)	6.733,36
Aterro semicompactado	49.813,71
Aterro compactado controlado	277.023,00

Fonte: Autora (2022).

A Figura 7 apresenta a seção transversal da estrutura da barragem de acordo com a alteração de sua metodologia construtiva.

This content is Public.

Figura 7 - Obra: alteração da metodologia construtiva da barragem.



Fonte: Autora (2022).

This content is Public.

3.2. Procedimentos metodológicos

3.2.1. Criação e validação das Fichas de Verificação de Serviço

Diante do desafio em executar a obra com tamanha magnitude e importância, a metodologia proposta para essa pesquisa consistiu na implantação de um sistema de gestão de informações integrada ao controle tecnológico de solos e concretos, posteriormente inseridos no modelo tridimensional da obra a fim de garantir a qualidade e rastreabilidade das informações realizadas durante as etapas construtivas, desde a limpeza da fundação até a instalação dos instrumentos, devidamente validadas pelos responsáveis envolvidos.

Posteriormente, todas os documentos e controles foram inseridos no Autodesk Construction Cloud (ACC), diretório da Autodesk que possibilita armazenar e alimentar todas as informações do modelo referente a estrutura. Para alimentar o modelo de modo colaborativo, foram utilizados os *softwares* Civil 3D e Navisworks, sendo que o Civil 3D atua nos recursos de modelagem do terreno, levantamentos topográficos, modelagem geotécnica, importação e exportação de arquivos do Autocad e elaborar relatórios volumes e demais quantitativos (Autodesk, 2020). Enquanto o Navisworks, realiza as etapas de navegação, integração dos modelos, gera animações, permite a visualização dos atributos dos projetos, aplica textura, iluminação, renderização dos objetos, simulação de planejamento, conhecida como simulação 4D, além de verificar as interferências dos projetos (Deskgraphics, 2022).

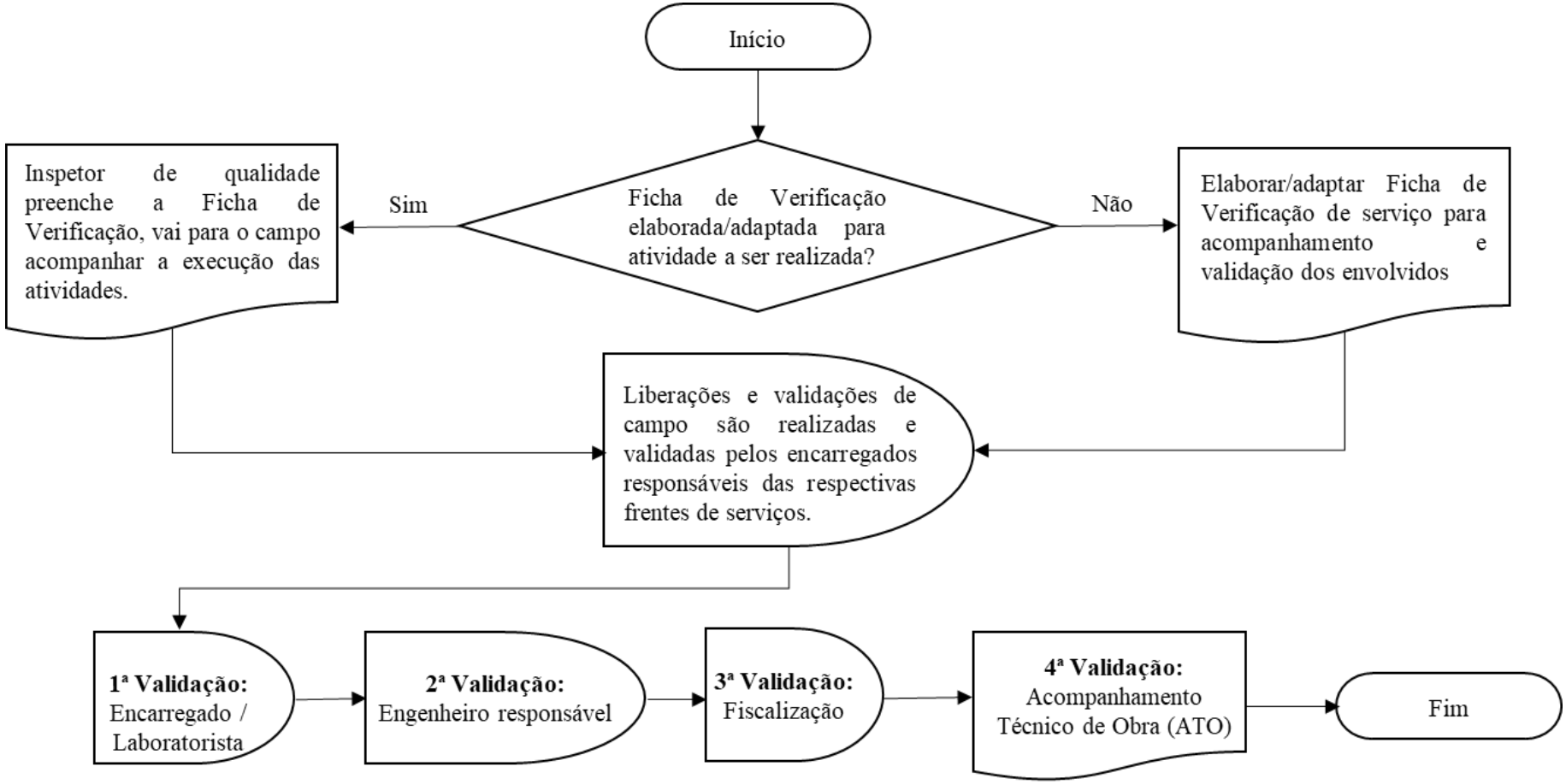
A implantação do sistema de gestão de informações iniciou-se por meio da implementação das Fichas de Verificação de Serviço (FVS) voltada para o controle tecnológico de solos, agregados, concreto e demais atividades como instalação e/ou alteamento dos instrumentos, elaboração de *croquis* informativos e inclusão de evidências fotográficas junto aos ensaios, no mesmo conjunto de documentos, com a finalidade de assegurar a execução e validação dos resultados obtidos por todas as partes envolvidas.

O fluxograma apresentado na Figura 8, contempla todas as etapas desde a criação e execução das Ficha de Verificação do Serviço (FVS) até o final do processo de validação por parte da empresa executora, fiscalizadora e projetista que realiza o Acompanhamento Técnico de Obra (ATO) de modo a garantir a confiabilidade dos resultados de ensaio quando comparados aos parâmetros de liberação determinado pela especificação técnica.

As liberações ocorrem através dos responsáveis executantes que devem avaliar e validar as etapas construtivas conforme procedimento, e posteriormente verificarem se os resultados alcançados atendem as especificações técnicas de projeto.

This content is Public.

Figura 8 – Fluxograma aplicado para criação e validação das Fichas de Verificação de Serviço.



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

3.2.2. Aplicação de controle tecnológico na obra

A automatização dos controles para obtenção informações é fundamental em todas as atividades da engenharia (Kozák, 2012), e há diversas metodologias que auxiliam no controle dos processos a fim de obter celeridade nas tomadas de decisões e acompanhar as atividades que estão em andamento.

Dentre todas as tecnologias disponíveis, foi aplicada a metodologia BIM *Building Information Modeling* de modo a obter o gerenciamento das etapas construtivas da obra e monitorar a inserção dos registros no modelo conforme evolução da obra, além de permitir o fácil acesso à informação, conferência das atividades e atendimento as frequências de ensaios estipuladas pela especificação técnica (Azhar; Hein; Sketo, 2008).

Após solicitação dos órgãos públicos, a estrutura teve sua metodologia construtiva alterada de montante para jusante e desta forma, foi aplicado o controle tecnológico de solos em todos as etapas do processo, conforme apresenta a Figura 9. Em consonância, o controle tecnológico do concreto também foi aplicado, visto a necessidade de garantir as resistências dos materiais conforme o projeto e monitorar variáveis como as tensões internas, pressões, recalques, vazões, entre outras. A Figura 10 apresenta as hierarquias de processo aplicada neste controle.

Em relação aos ensaios de caracterização completa da área de empréstimo e material aplicado no aterro compactado, foram realizados os ensaios de compactação, densidade real dos grãos, limites de Atterberg, granulometria por peneiramento e sedimentação e permeabilidade à carga variável.

As frequências e parâmetros de liberação para execução do maciço e elementos drenantes (filtro vertical e tapete horizontal) para adequação da metodologia construtiva da barragem de montante para jusante, foram realizados conforme Quadro 6.

This content is Public.

Quadro 6 – Limites de especificação do projeto.

Material	Ensaios	Frequência	Parâmetros
Aterro Compactado	Caracterização Completa	10.000 m³	-
	Umidade Natural	10.000 m³	-
	Hilf - Solo Argiloso	500 m³ ou 1 ensaio por camada	96% ≥ GC(1) ≤ 101% -2% ≤ Δw ≤ +1%
Filtro / Dreno	Granulometria	1.000 m³	Conforme faixas apresentadas na Especificação Técnica
	CR(2)	500 m³	CR min = 0,65 CR máx= 0,80
	Permeabilidade areia	200 m³	10^{-2} cm/s
	Permeabilidade B0	200 m³	5 cm/s

(1) Grau de compactação

(2) Compacidade relativa

Fonte: Autora (2023).

Em relação as resistências à compressão a serem obtidas nas estruturas de concreto estão relacionadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Resistências a compressão a serem obtidas

Estrutura	Resistência à compressão (MPa)	Frequência
Concreto magro	10	100%
Canal de desvio	35	100%
Descida em degraus	25	100%
Sump de enrocamento argamassado	15	100%
Canaletas de drenagem superficial	25	100%

Fonte: Autora (2023).

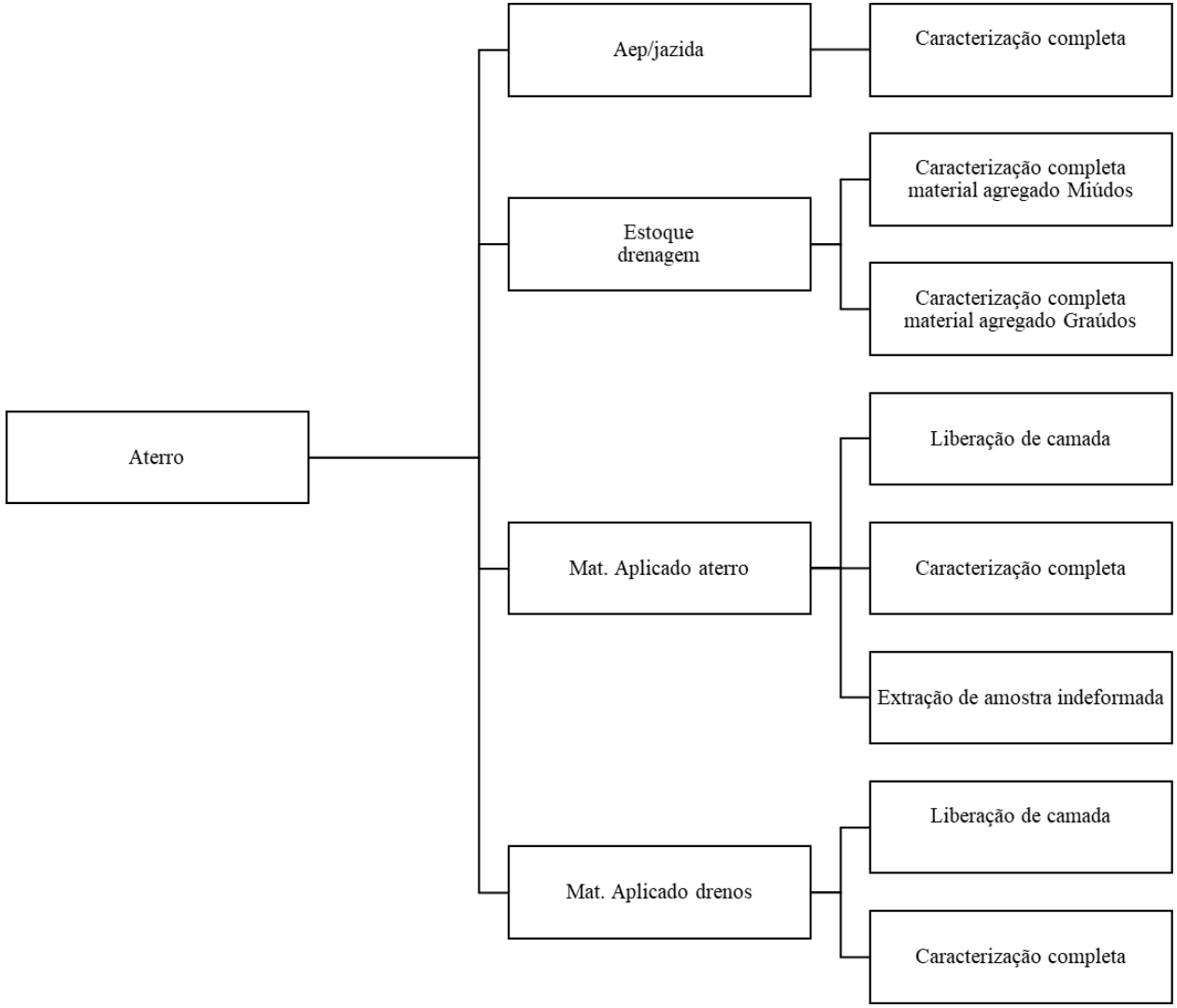
This content is Public.

3.2.3. Caracterização dos agregados

As atividades de recebimento e caracterização dos agregados são realizadas, no início da obra, de forma a assegurar que os materiais devem estar devidamente caracterizados em conformidade com a especificação técnica de projeto, curva granulométrica e permeabilidade, são aplicados os fluxogramas, conforme ilustrados nas Figuras 11, 12 e 13, respectivamente.

This content is Public.

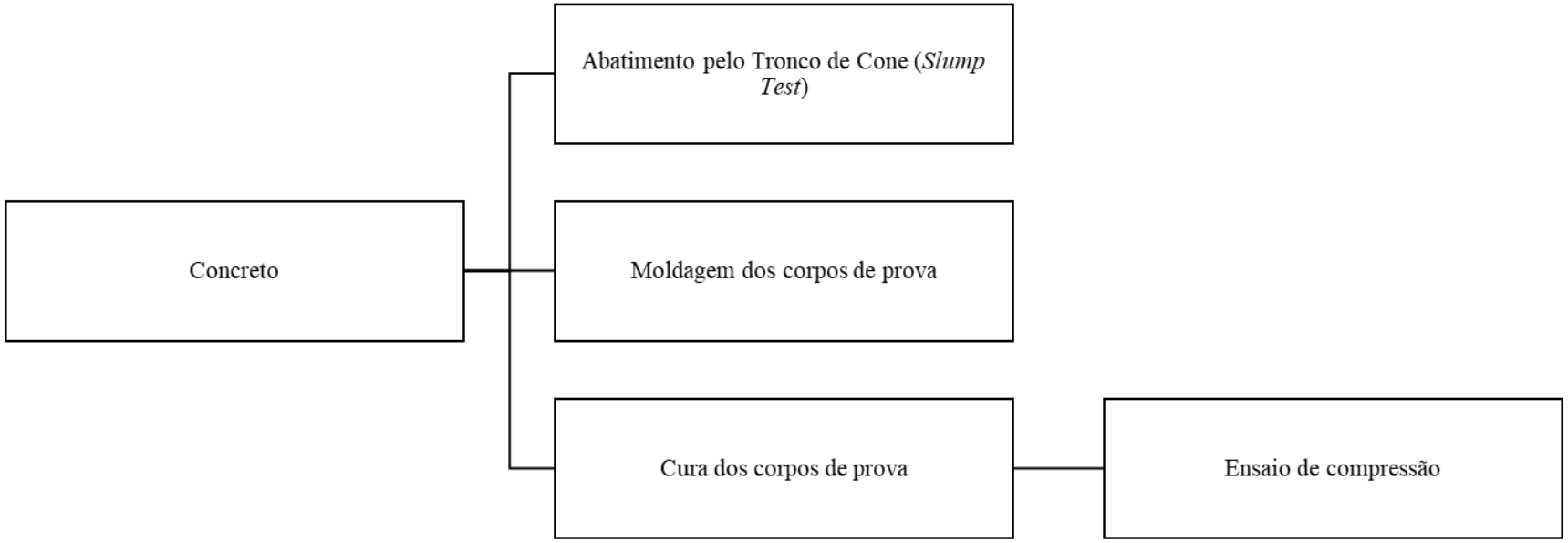
Figura 9 – Hierarquia de processo aplicado no controle tecnológico da obra: solos.



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

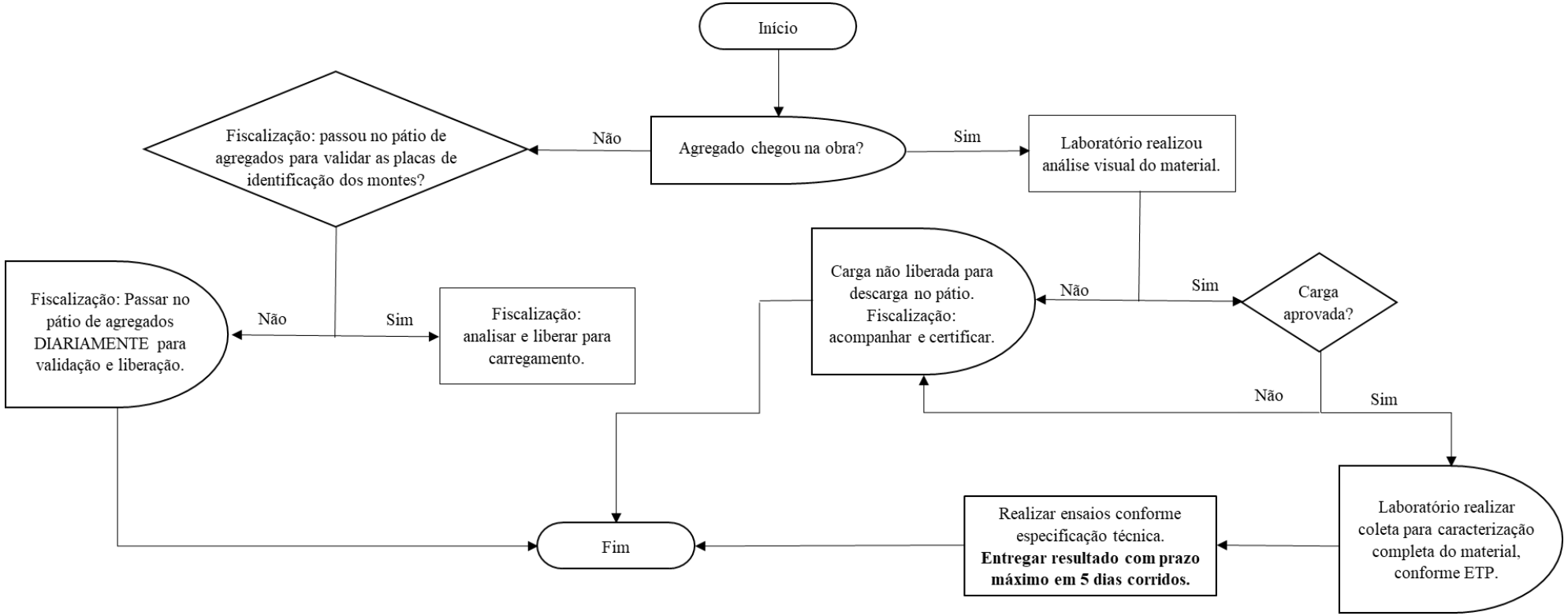
Figura 10 – Hierarquia de processo aplicado no controle tecnológico da obra: concreto.



Fonte: Autora.

This content is Public.

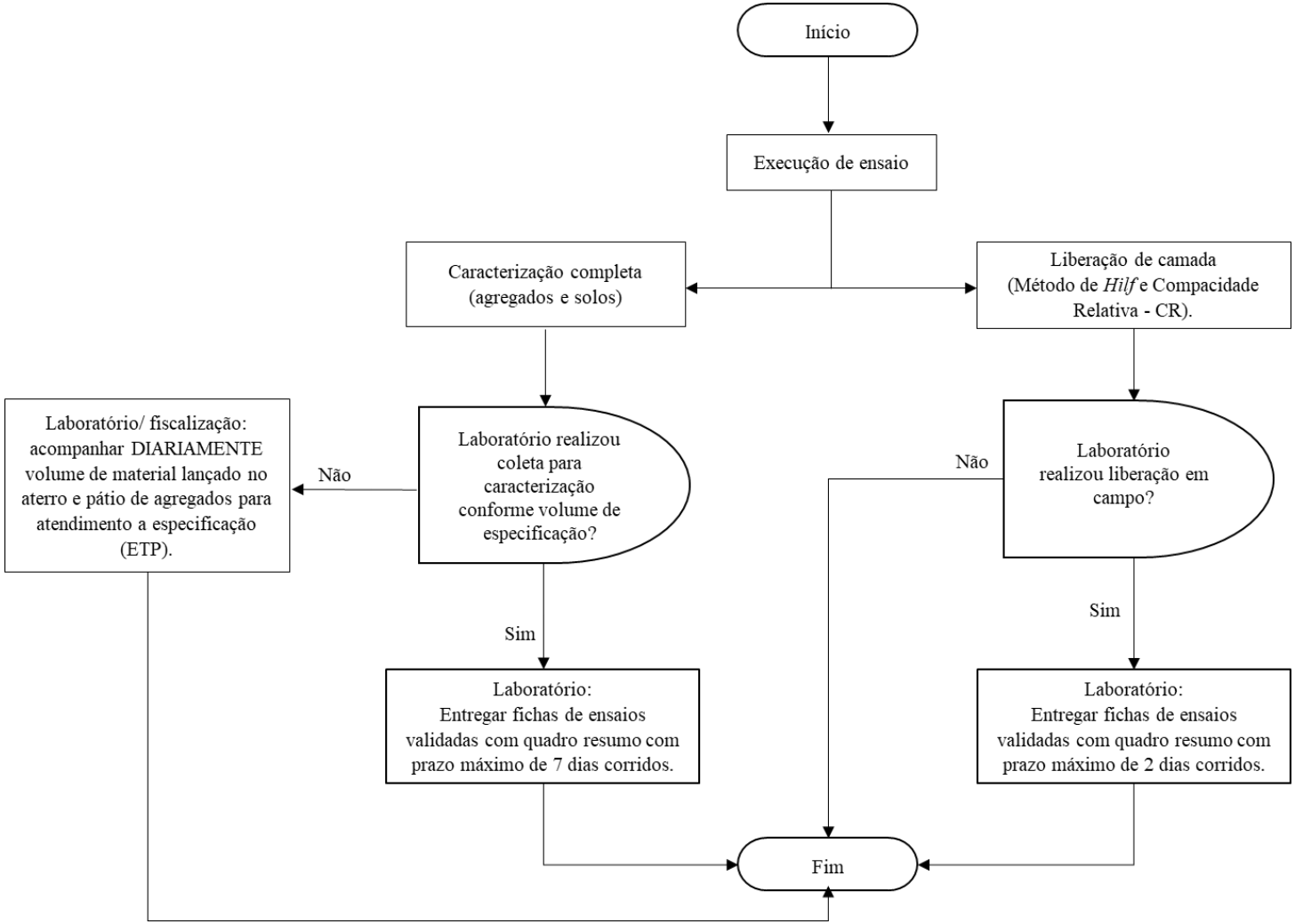
Figura 11 - Fluxograma recebimento de agregados.



Fonte: Autora

This content is Public.

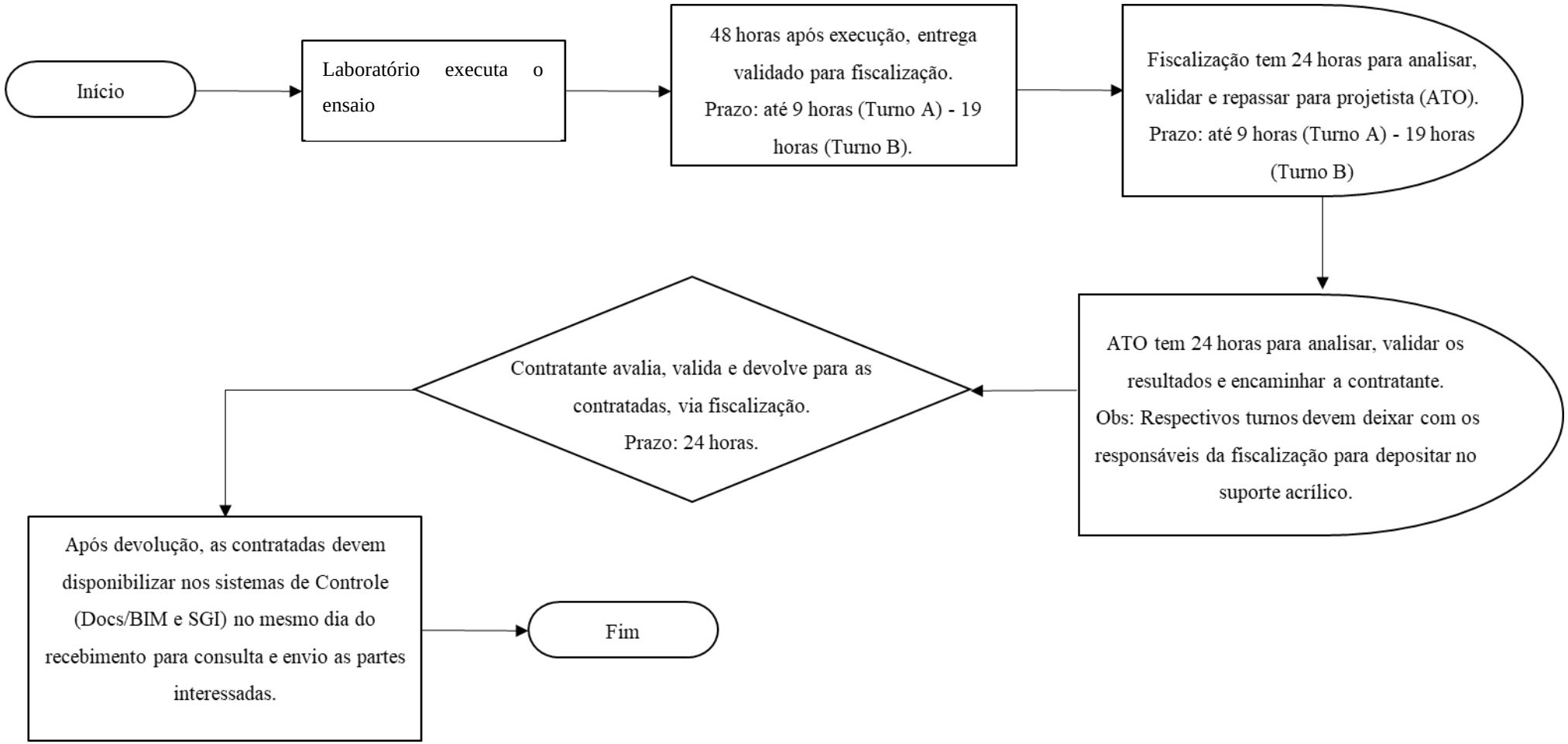
Figura 12 - Fluxograma entrega dos resultados dos ensaios



Fonte: Autora

This content is Public.

Figura 13 - Fluxograma validação dos ensaios por todos os envolvidos



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

3.2.4. Controle estatístico do processo do controle de compactação

O controle estatístico do processo é uma ferramenta utilizada para verificar e manter a qualidade do produto e/ou processo (Zhang; Martin; Morris, 1995).

Em vista disso, para a análise e interpretação dos resultados das amostragens obtidas, para o grau de compactação (GC) e para os desvios de umidade, foram utilizadas como métricas a média e desvio padrão e avaliação da dispersão dos resultados obtidos em relação aos limites de especificação técnica do projeto no *software* Microsoft Office Excel, através da opção de Análise de Dados de Estatística Descritiva, além da elaboração de histogramas para melhor visualização das distribuições dos resultados.

O Índice de Reprovação (IR) das amostras pode ser calculado através da Equação (1).

$$IR(\%) = \frac{Quantidade\ de\ camadas\ reprovadas}{Total\ de\ camadas\ executadas} x\ 100 \quad (1)$$

3.2.5. Criação de folha de rosto e elaboração de croquis

Com a intenção de garantir a organização dos dados, criou-se uma folha de rosto resumo, nomeada de CAPA BIM contendo as informações relevantes de maneira resumida a fim de facilitar o encontro das informações, sendo elas: (i) tipo de material, (ii) local de aplicação, (iii) camada, (iv) hora inicial e final do ensaio, (v) registro do ensaio, (vi) número da FVS, (vii) faixa, (viii) quadrante, (ix) altura da camada, (x) campo de seleção sobre o ensaio - referente a liberação de camada ou coleta de caracterização completa de material aplicado -, (xi) responsáveis pela atividade - a considerar o encarregado da frente de serviço, laboratorista responsável e engenheiro geotécnico.

Seguido da folha de rosto resumo, foi contemplada a Ficha de Verificação do Serviço (FVS) referente a atividade realizada, a saber que as capas e FVS's são compatíveis com as frentes de serviço visto que as informações a serem obtidas são particulares de cada tipo de atividade.

Desta forma, foram elaboradas capas e fichas para solos coesivos, agregados, concreto, e demais atividades realizadas na obra. Com a finalidade de certificar o local de coleta de amostra nas áreas de empréstimo, foi desenvolvido o "*croqui"* informativo contendo a área de exploração, pontos de coletas aprovados, reprovados e consumidos, junto ao volume a fim de facilitar o controle de consumo, garantir a aplicação na estrutura apenas de material aprovado

This content is Public.

e, realizar o acompanhamento da necessidade de avançar com as aberturas de trincheiras para coleta e caracterização dos solos.

Para elaboração do *croqui* referente as liberações do aterro e elementos drenantes, conforme frequência determinada pela especificação técnica/projeto, deve ser feito as seguintes etapas:

1. Dividir o aterro longitudinalmente em faixas/ praças de trabalho;
2. Dividir transversalmente as faixas de trabalho a fim de obter quadrantes;
    a. A área dos quadrantes deve ser compatível com a seguinte premissa: Área do quadrante versus espessura de camada compactada = volume máximo para realização do ensaio de liberação conforme especificação (Hilf ou CR);

Em relação a espessura de camada, importante salientar a necessidade de executar um aterro experimental antes de iniciar a execução do aterro a fim de verificar algumas diretrizes, como: empolamento do material, energia do rolo, valor do grau de compactação obtido no topo e na base da camada, bem como o desvio de umidade do solo (Borges, 2022).

A saber que o item 5.3.4 menciona que “o lançamento do material para a construção dos aterros deve ser feito em camadas sucessivas, em toda a largura da seção transversal, e em extensões tais que permitam seu umedecimento e compactação, de acordo com o previsto no projeto de engenharia. Para o corpo dos aterros, a espessura de cada camada compactada não deve ultrapassar de 0,30 m. Para as camadas finais essa espessura não deve ultrapassar de 0,20 m” (DNIT, 2009)

Para lançamento dos elementos drenantes, as espessuras são pré-determinadas nos projetos executivos.

This content is Public.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. Fichas de Verificação de Serviço (FVS), ficha de ensaio e relatório fotográfico

Todos os itens verificados no pacote de documentos foram cruciais para as observações e validações por meio de uma conferência de todas as etapas da obra, ou seja, de documentos padronizados, de forma que foi possível observar a constância da inspeção e assegurar todo o controle de qualidade.

A padronização destes pacotes de documentos é a requerida gestão de informações da obra, crucial na otimização da coleta dos dados de execução de serviços assim como a validação dos envolvidos. Frente aos parâmetros de validação é possível mensurar indicadores de desempenho e analisar os quantitativos de aprovações/reprovações, desvios, retrabalhos, entre outros aspectos. A importância das FVS está diretamente relacionada à solução imediata de possíveis problemas encontrados durante a execução dos serviços, além de apontar a necessidade de treinamentos ou interferências nos métodos de execução (Araújo, 2020).

Vários autores e estudiosos sobre os processos de garantia da gestão da qualidade apontam o excesso de documentação em obras como uma certa burocracia, no entanto, Leal (2016) enfatiza sobre a necessidade habituar os colaboradores junto as informações coletadas, para que se aperfeiçoe o entendimento sobre registro e melhoria da gestão das informações.

Os modelos de FVS, ficha de ensaio e relatório fotográfico gerados são apresentados pelas Figuras 14, 15 e 16.

Todas as fichas de verificação dos serviços devem ter cabeçalho, contendo no mínimo, logotipo da empresa executora e cliente, data de início e encerramento da atividade, estrutura e/ou local de realização da atividade, área, coordenadas e cota, estaca de referência, camada, faixa, quadrante e demais informações necessárias que vão assegurar a rastreabilidade das liberações das atividades.

This content is Public.

Figura 14 – Modelo expandido Ficha de Verificação de Serviços (FVS).

ITENS VERIFICADO	RESPONS.	MÉTODO DE VERIFICAÇÃO	CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO	DATA INICIAL	HORA INÍCIO	DATA FINAL	HORA DE FIM	STATUS DA INSPEÇÃO	NOME DO RESPONSÁVEL	ASSINATURA
1.Locação de eixos e LIMITES de Referência	Topógrafo	Verifcar através de Estação total ou GPS	Aceitar se estiver conforme projeto							
2.Inspeção do mateiral lançado	Enc. da frente de serviço	Verificar visualmente a homogeinização do material lançado	Aceitar se o material estiver homogenio insento de impurezas e materia organica							
3.Espalhamento, homogenização	Enc. da frente de serviço	Verificar visualmente a homogeinização das camadas e tátil visual (mudança de coloração)	Aceitar se o espalhamento e umectação do material for uniforme e estiver isento de impurezas e materia organica							
4.Controle Geométrico	Topógrafo e/ ou Enc da frente de serviço	Verificar o atendimento da seção prevista para a plataforma	Aceitar se H = 0,20 m ± 2 acabado (P/ solos Argilosos e Siltosos) conforme acordado com ATO							
5.Laboratório	Laboratorista	Verirficação conforme método determinado na E.T.	Aceitar se 96% ≥ GC ≤ 101% (P/ Argila e Silte)							
6.Laboratório	Laboratorista	Verirficação conforme método determinado na E.T.	w = wot ± 2%, para solos siltosos e w= -2% ≥ wot≤ +1%							
7.Controle Geométrico	Topógrafo e/ ou Enc da frente de serviço	Verificar o atendimento da seção prevista para a plataforma	Aceitar se H ≥ _____ m Determinado entre ATO/Fiscalização/Laboratório (ver nota em **OBS**)							
8.Laboratório	Laboratorista	Verirficação conforme método determinado na E.T.	Aceitar CR ≥ 65% para tapete drenate e 65% ≥ CR ≤80% para filtros							

Observação: Inserir espesura (m) do dreno no item 7.(brita 0 H ≥ 0,40 m areia H ≥ 0,25).

Observações:

LEGENDA PARA STATUS DA INSPEÇÃO

X REPROVADO	○ APROVADO	⊗ APROV. APÓS REINSPEÇÃO	NA Não Aplicável	Obs.: Se reprovado anotar a não conformidade em quadro próprio abaixo.

Liberação do Serviço da Qualidade da Fagundes	_____ Assinatura	Data: ____/____/_____

TRATAMENTO DA NÃO CONFORMIDADE

Descrição da Não-Conformidade	N.º da RNC (Quando Aplicavél)	Correção

ASSINATURAS

GEOTECNIA FAGUNDES	FISCALIZAÇÃO - LYON	ATO - DAM	COORDENAÇÃO FAGUNDES
_____ Assinatura	_____ Assinatura	_____ Assinatura	_____ Assinatura
Data:____/____/_____	Data:____/____/_____	Data:____/____/_____	Data:____/____/_____

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Figura 15 – Modelo expandido ficha de ensaio (Hilf)

ENSAIO EXECUTADO DE ACORDO COM O MÉTODO "A" DA ABNT NBR 12102:2020

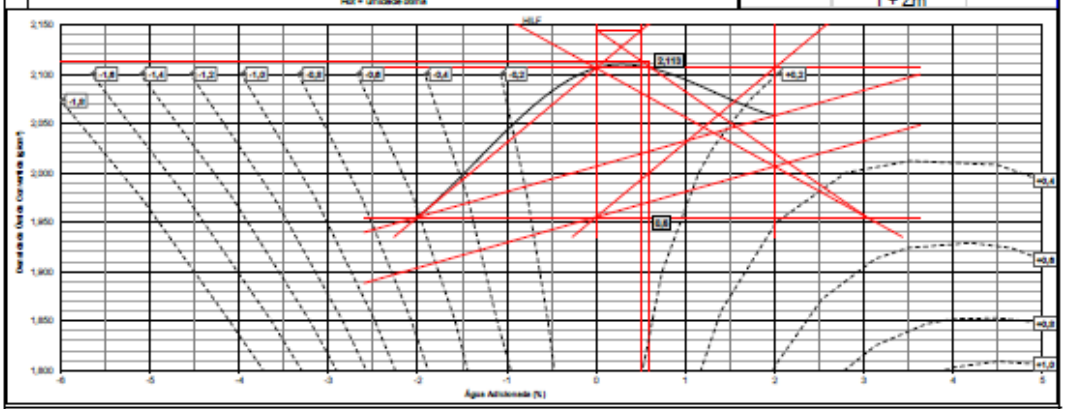
Controle de Equipamentos	Equipamento	TAG / Nº Série	Equipamento	TAG / Nº Série
	Balança:	360958	Termômetro:	
	Balança:	420643	Soquete:	
	Balança:	-	Peneira #4,8mm:	

PROCTOR												
							Peso da [illegible] =			3000		
Água Adicionada (%)	-2,0			0,0			2,0			-		
Água Adicionada (ml)	-60			0			60			-		
Cilindro Nº	2			2			2			-		
P. Úmido + Cilindro (g)	4.275			4.465			4.458			-		
P. do Cilindro (g)	2365			2365			2365			-		
P. Solo Úmido (g)	1910			2100			2093			-		
Volume do Molde (cm³)	997			997			997			-		
Dens. Úmida (g/cm³)	1,916			2,106			2,099			-		
Dens. Úmida Convertida (g/cm³)	1,955			2,106			2,058			-		
Cápsula Nº	51	62	64	99	137	128	73	91	125	-	-	-
Cápsula + Solo Úmido (g)	105,35	108,70	98,23	83,50	92,88	86,87	86,85	86,16	84,33	-	-	-
Cápsula + Solo Seco (g)	89,76	93,21	83,80	70,71	78,28	73,36	72,20	71,99	70,88	-	-	-
Água (g)	15,59	15,49	14,43	12,79	14,60	13,51	14,65	14,17	13,45	-	-	-
Tara da Cápsula (g)	12,96	17,79	12,34	13,74	13,64	13,54	12,34	13,92	15,43	-	-	-
Solo Seco (g)	76,80	75,42	71,46	56,97	64,64	59,82	59,86	58,07	55,45	-	-	-
Teor de Umidade (%)	20,3	20,5	20,2	22,5	22,6	22,6	24,5	24,4	24,3	-	-	-
Teor de Umidade Médio Real (%)	20,3			22,6			24,4			-		
Dens. Aparente Seca(g/cm³)	1,593			1,718			1,687			-		

HILF						PROCTOR			
Densidade Úmida Corrigida Máx (g/cm³)	2,113	Acréscimo de Água (Zm)	0,6	Desvio de Umidade (%)	-0,7	Umidade Ótima (%)	23,3	Densidade Seca Máx. (g/cm³)	1,714

Legenda:
Δh = desvio de umidade
Zm = acréscimo de água
Hot = umidade ótima

$$\Delta h = \frac{Zm}{1 + Zm} .(1+Hot)$$



Observações: A ESCALA DO GRÁFICO ESTÁ SUJEITA A ALTERAÇÕES SEM SUBIR A REVISÃO, DESDE QUE NÃO SEJA ALTERADA A ESTRUTURA DO FORMULÁRIO.

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Figura 16 – Modelo expandido relatório fotográfico

	REGISTRO FOTOGRÁFICO			
Nº OS:	Registro:	Data:	Laboratorista:	Descrição do Material:

FOTO 01:

FOTO 02:

Assinatura do Laboratorista	Verificado por	Assinatura do Engenheiro Responsável pela Análise

Fonte: Autora (2023).

4.2. Croquis da praça de trabalho

Mediante a as indicações acerca da divisão das praças de trabalho e frequência das liberações do aterro e elementos drenantes, considerou-se que os croquis devem ser atualizados semanal ou conforme avanço da obra, com a finalidade de garantir a representatividade do local que os ensaios serão executados.

This content is Public.

A fim de evitar não conformidades, importante ressaltar que os quadrantes podem ter o volume igual ou inferior ao volume estipulado em projeto. Caso o volume exceda, os quadrantes devem ser redivididos a fim de garantir o atendimento de projeto.

Além disso, durante a elaboração dos *croquis* é crucial pensar estrategicamente nas cores empregadas, a fim de facilitar a visualização por todos os colaboradores envolvidos, pois são ferramentas de comunicação essenciais à inspeção dos ambientes.

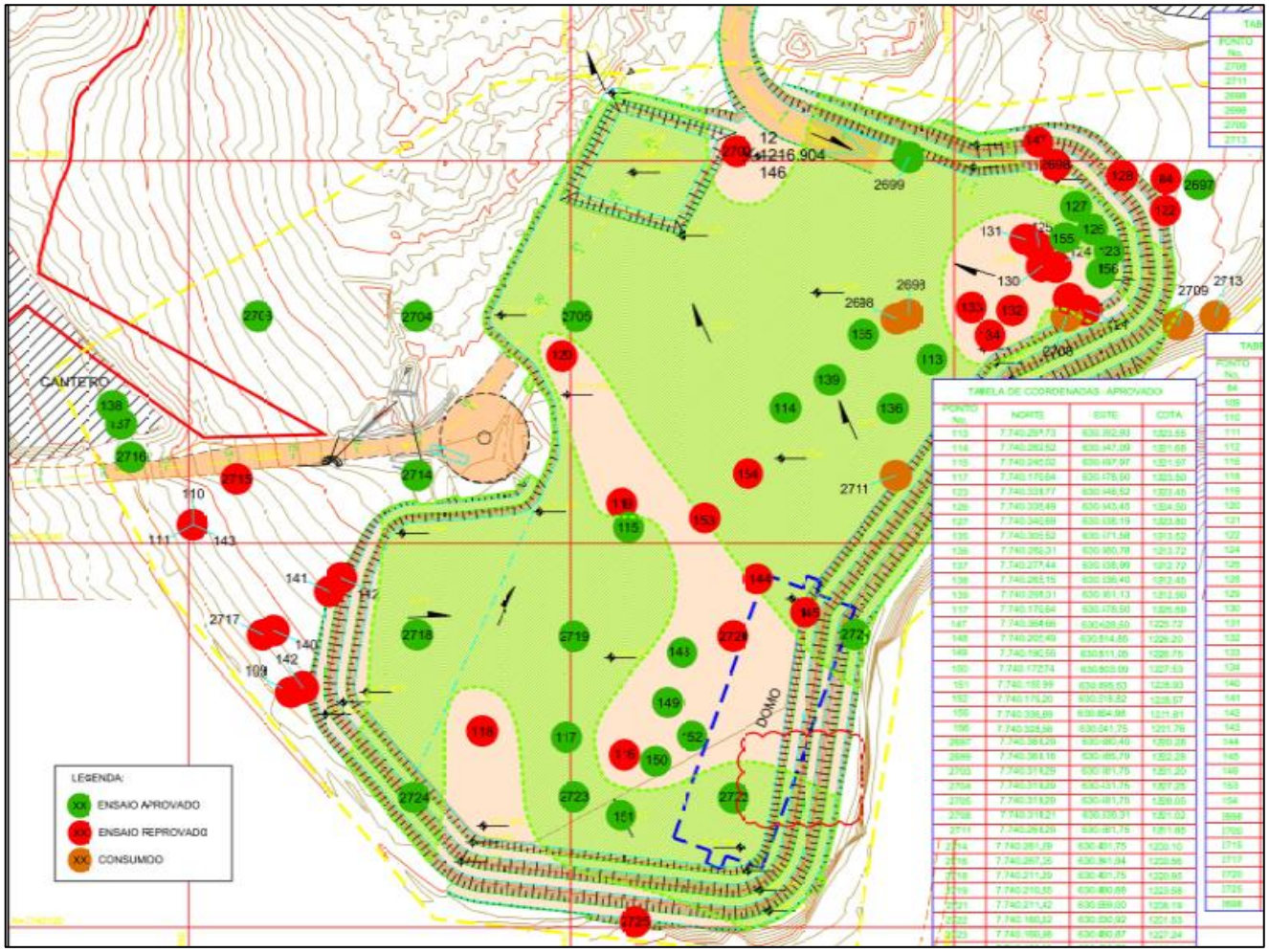
O aspecto de facilitação e interpretação dos resultados também compõe o controle tecnológico, ou seja, os *croquis* de qualquer estrutura devem ser elaborados de forma a serem interpretados em todos os níveis do empreendimento, onde todos possam identificar marcadores, equipamentos, componentes estruturais da obra, áreas de risco, áreas de aterro/empréstimo, entre outros.

A divisão das áreas no campo visual através da formação dos quadrantes está diretamente relacionada a geomorfologia e caracterização da metodologia construtiva da estrutura de terra, permitindo o acompanhamento do processo de retaludamento das camadas através das coordenadas geográficas, indicando os locais de aprovações/reprovações dos ensaios.

A estratégia de coloração aliada à divisão dos quadrantes permite o devido destaque à mensuração das áreas e às em relação a área de empréstimo, a praça de aterro e ao enfoque do local de realização do ensaio através das Figuras 17 e 18, respectivamente.

This content is Public.

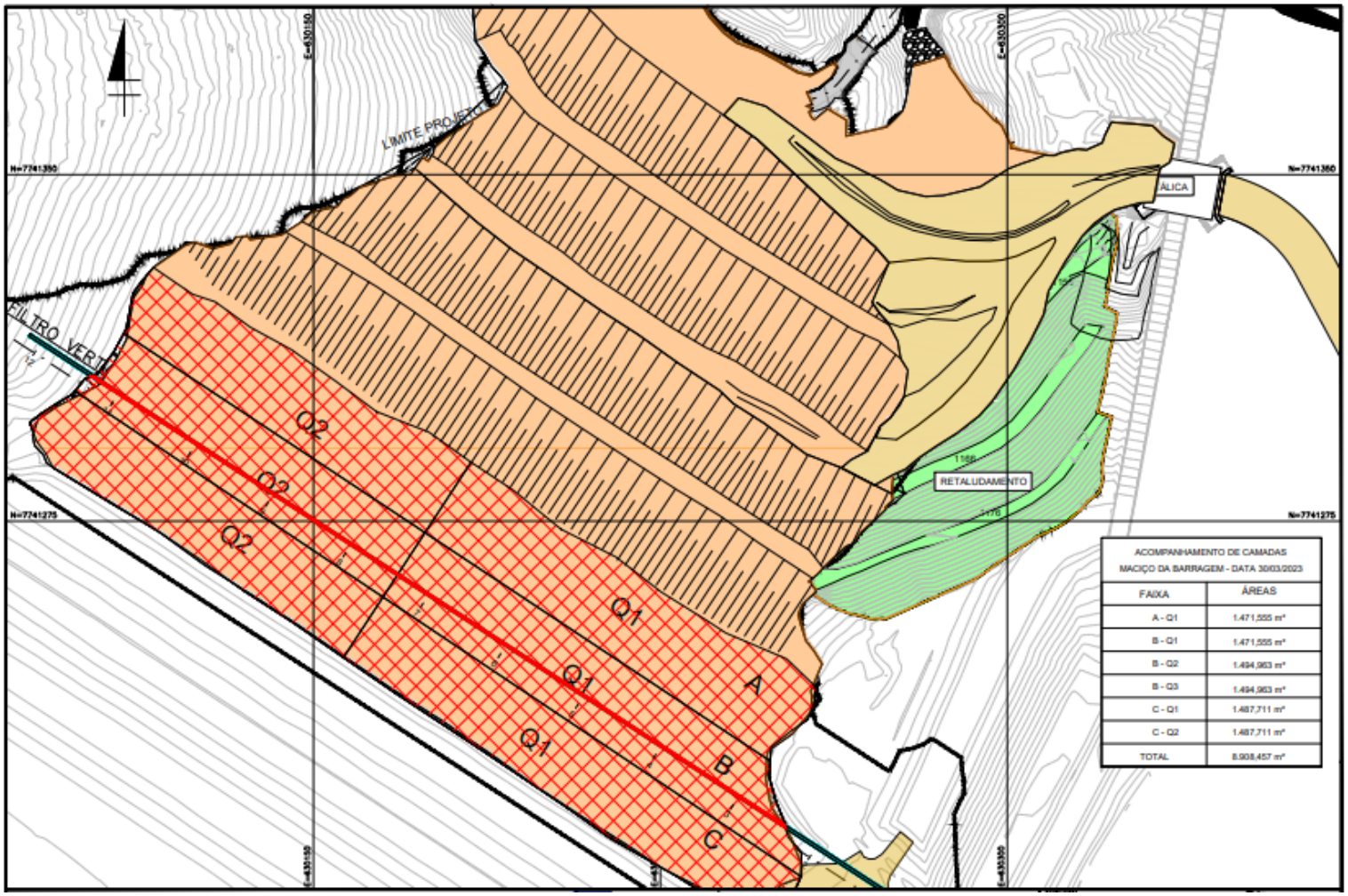
Figura 17 – Modelo *croqui* informativo área de empréstimo.



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Figura 18 – Modelo *croqui* esquemático para atividade de liberação de aterro.



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

4.3. Análise e caraterização das áreas de empréstimo utilizadas para construção do aterro e dos Agregados miúdos aplicados na drenagem interna

Em consequência da criação dos controles adicionais, foi possível visualizar os resultados de maneira otimizada através de quadros resumos elaborados para controle dos materiais ensaiados e gerar análises estatísticas dos processos executados na obra.

Para área de empréstimo de material, nomeada Jazida 01, foram realizados 88 ensaios de caracterização completa. Dentre eles, 33 foram reprovados, conforme Quadro 8 – sinalizados de vermelho a fim de facilitar a identificação visual e controle e 55 aprovadas, conforme Quadro 9.

Desta forma, obteve- se um índice de reprovação $IR(\%) = \frac{33}{88} x\ 100$ de 37,5%.

Importante ressaltar que as caracterizações completas aprovadas superaram o volume necessário para execução do aterro controlado compactado e semicompactado.

Para cálculo do volume em relação a amostra é considerado que cada ponto coletado possui um raio de influência de 25 m com profundidade de 5 m.

Conforme o material é consumido, novas amostras são coletadas e ensaiadas a fim de certificar o veio geológico e conformidade das características do solo, e posterior aplicação no aterro.

This content is Public.

Quadro 8 – Caracterizações completas da área de empréstimo reprovadas.

RASTREABILIDADE MATERIAL									ENSAIOS													
									UMIDADE	PROCTOR		MASSA ESPECIFICA	LIMITE DE ATTERBERG			SEDIMENTAÇÃO						PERMEABILIDADE À CARGA VARIÁVEL
REGISTRO	DATA COLETA	MATERIAL	LOCAL COLETA	NÚMERO FURO	PROFUNDIDADE (m)	NORTE (m)	LESTE (m)	COTA (m)	UMIDADE NATURAL (%)	DENSIDADE MÁXIMA SECA (g/cm³)	UMIDADE ÓTIMA (%)	DENSIDADE REAL GRÃOS (g/cm³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA FINA (%)	AREIA MÉDIA (%)	AREIA GROSSA (%)	PEDREG. (%)	K_{20} (cm/s)
FAG-B-024	03/05/2022	AREIA SILTO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2700	2,0	7.740.364,370	630.535,410	1.221,070	10,5	2,135	15,4	3,277	NL	NP	NP	9,70	40,40	15,90	11,70	13,30	9,00	1,01E-05
FAG-B-029	02/05/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2697	3,0	7.740.362,640	630.684,060	1.232,781	24,9	1,898	22,6	2,998	36,60	26,57	10,03	27,23	34,91	15,02	12,09	7,30	3,45	1,03E-06
FAG-B-036	03/05/2022	SILTE ARENO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2725	3,0	7.740.123,070	630.503,740	1.233,267	18,2	1,863	17,0	2,936	NL	NP	NP	22,41	38,26	23,88	4,17	1,20	10,09	2,82E-06
FAG-B-038	03/05/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2724	3,0	7.740.162,150	630.434,420	1.227,240	22,2	1,827	21,0	2,986	34,20	23,99	10,21	25,78	41,04	18,95	7,40	1,84	4,99	8,25E-07
FAG-B-039	03/05/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2719	2,0	7.740.212,200	630.484,538	1.223,576	24,3	1,561	26,7	3,006	39,30	28,68	10,62	29,43	42,03	19,73	6,37	0,98	1,45	1,07E-06
FAG-B-055	03/05/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2720	2,0	7.740.212,300	630.534,372	1.230,441	12,6	1,547	20,1	2,878	NL	NP	NP	17,89	50,89	10,30	14,08	6,36	0,47	3,46E-06
FAG-B-056	03/05/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2720	3,0	7.740.212,300	630.534,372	1.230,441	13,5	1,521	21,2	2,847	NL	NP	NP	20,09	49,22	11,02	13,18	6,15	0,34	2,75E-06
FAG-B-106	08/06/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2714	3,0	7.740.262,640	630.435,410	1.230,100	22,6	1,642	22,6	2,902	36,60	26,10	10,50	28,20	35,40	14,90	11,20	7,10	3,20	1,05E-06
FAG-B-110	10/06/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2717	2,0	7.740.212,640	630.386,900	1.224,500	26,4	1,673	24,5	2,970	NL	NP	NP	6,80	50,80	16,30	18,30	6,30	1,50	N/A
FAG-B-111	10/06/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2717	2,0	7.740.212,640	630.386,900	1.224,500	28,6	1,661	24,7	2,929	NL	NP	NP	7,60	50,10	16,60	18,10	6,20	1,40	N/A
FAG-B-112	10/06/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2715	2,0	7.740.261,590	630.378,840	1.229,560	15,7	1,736	18,5	2,440	32,80	22,50	10,30	20,20	31,70	10,10	11,60	3,80	22,60	1,62E-06
FAG-B-113	10/06/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	2715	2,0	7.740.261,590	630.378,840	1.229,560	20,6	1,754	19,7	2,886	37,90	25,60	12,30	21,60	34,20	13,30	16,10	12,20	2,60	N/A
FAG-B-240	24/08/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	2707	7,5	7.740.312,640	630.685,410	1.223,490	17,2	1,782	21,3	3,125	34,40	25,00	9,40	29,70	38,80	20,30	7,20	3,30	0,70	8,70E-07
FAG-B-242	24/08/2022	SILTE ARENO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2698	7,5	7.740.360,060	630.635,400	1.218,490	24,4	1,918	19,6	3,095	N/L	N/P	N/P	17,30	39,40	10,00	9,40	9,70	14,20	N/A
FAG-B-361	27/10/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	112	3,0	7.740.230,507	630.411,684	1.221,022	34,1	1,59	24,9	3,113	34,30	34,60	9,70	28,80	32,60	22,30	12,80	3,00	0,50	N/A
FAG-B-362	27/10/2022	AREIA SILTO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	111	3,2	7.740.245,828	630.361,388	1.223,544	17,3	1,874	15,6	2,950	N/L	N/P	N/P	14,30	22,30	14,00	20,20	14,50	14,60	N/A
FAG-B-363	27/10/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	110	2,8	7.740.245,828	630.261,388	1.226,344	21,8	1,675	23,8	2,974	N/L	N/P	N/P	19,30	32,60	17,70	13,30	12,20	4,90	N/A
FAG-B-365	27/10/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	109	5,0	7.740.195,113	630.395,941	1.225,945	23,0	1,817	19,5	3,069	N/L	N/P	N/P	0,90	47,80	18,30	21,10	8,60	3,40	N/A
FAG-B-401	10/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	84	5,0	7.740.355,790	630.669,990	1.229,435	23,6	1,825	20,6	3,193	N/L	N/P	N/P	18,00	23,90	20,60	15,80	11,80	9,90	N/A
FAG-B-403	13/12/2022	SILTE ARENO ARGILOSO	JAZIDA 1	119	5,0	7.740.253,848	630.499,563	1.117,059	21,7	1,769	18,7	3,017	38,00	27,80	10,20	22,40	43,20	20,20	12,10	1,70	0,30	N/A
FAG-B-404	13/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	120	5,0	7.740.300,152	630.480,816	1.116,161				3,030				27,40	28,80	24,10	15,50	3,00	1,30	N/A
FAG-B-412	15/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	121	4,0	7.740.321,839	630.645,375	1.222,750				3,253				20,20	27,30	25,00	17,10	5,90	4,40	N/A
FAG-B-413	15/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	122	4,0	7.740.345,820	630.669,845	1.227,250				3,201				25,40	29,70	19,60	15,90	6,70	2,70	N/A
FAG-B-415	15/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	124	4,0	7.740.328,042	630.635,729	1.223,110				3,401				13,10	21,50	22,40	9,40	3,90	29,60	N/A
FAG-B-416	15/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	125	3,6	7.740.334,173	630.630,198	1.222,800				3,422				20,10	22,70	23,50	12,80	6,70	14,10	N/A
FAG-B-419	15/12/2022	AREIA ARGILO SILTOSO	JAZIDA 1	128	4,3	7.740.356,741	630.656,384	1.223,500				3,295				28,80	28,20	22,40	12,20	6,90	1,50	N/A
FAG-B-423	16/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	129	4,0	7.740.316,877	630.635,948	1.125,707				3,413				20,70	25,80	24,00	14,60	5,10	9,80	N/A
FAG-B-424	16/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	130	4,0	7.740.326,924	630.627,336	1.225,390				3,204				27,00	30,10	25,20	10,40	6,00	1,30	N/A
FAG-B-425	16/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	131	4,0	7.740.335,425	630.622,257	1.225,512				3,418				18,20	23,90	21,40	13,90	7,30	15,20	N/A
FAG-B-426	16/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	132	4,0	7.740.313,102	630.618,210	1.224,215				3,100				21,30	36,70	23,40	10,30	4,20	4,10	N/A
FAG-B-427	16/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	133	4,0	7.740.313,997	630.605,418	1.223,413				3,193				19,50	29,40	23,60	17,10	6,90	3,50	N/A
FAG-B-428	16/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	134	4,0	7.740.305,277	630.611,195	1.223,670				3,207				15,40	26,40	25,70	13,40	5,30	13,80	N/A
FAG-B-429	16/12/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	118	4,0	7.740.182,970	630.455,770	1.224,533				3,078				25,40	26,00	25,00	17,50	5,70	0,40	N/A

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Quadro 9 – Caracterizações completas da área de empréstimo aprovadas

QUADRO DE RESUMO CARATERIZAÇÃO JAZIDA 1

RASTREABILIDADE MATERIAL									ENSAIOS														
									UMIDADE	PROCTOR		MASSA ESPECIFICA	LIMITE DE ATTERBERG			SEDIMENTAÇÃO						PERMEABILIDADE À CARGA VARIÁVEL
REGISTRO	DATA COLETA	MATERIAL	LOCAL COLETA	NÚMERO FURO	PROFUNDIDADE (m)	NORTE (m)	LESTE (m)	COTA (m)	UMIDADE NATURAL (%)	DENSIDADE MÁXIMA SECA (g/cm³)	UMIDADE ÓTIMA (%)	DENSIDADE REAL GRÃOS (g/cm³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA FINA (%)	AREIA MÉDIA (%)	AREIA GROSSA (%)	PEDREG. (%)	K_{20} (cm/s)
FAG-B-014	06/04/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2706	5,2	7.740.312,640	630.685,410	1.124,001	17,2	1,739	22,9	2,982	35,60	23,70	11,90	47,10	34,40	13,30	4,10	0,50	0,60	3,38E-07
FAG-B-015	06/04/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2707	5,3	7.740.312,640	630.685,410	1.230,990	19,7	1,665	23,8	2,930	41,50	25,70	15,80	51,20	32,90	10,50	3,60	1,50	0,30	1,05E-07
FAG-B-016	06/04/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2711	2,0	7.740.312,640	630.685,410	1.233,630	21,9	1,664	23,4	2,974	38,00	25,50	12,50	48,10	33,40	13,60	4,10	0,50	0,30	3,12E-07
FAG-B-018	06/04/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2713	1,5	7.740.312,640	630.685,410	1.223,040	21,6	1,665	23,7	2,950	39,30	25,10	14,20	49,40	34,00	11,20	3,60	1,20	0,60	2,37E-07
FAG-B-019	06/04/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2713	3,7	7.740.312,640	630.685,410	1.223,040	27,0	1,738	23,2	2,993	36,50	25,10	11,40	45,40	34,40	11,60	4,00	1,30	3,30	4,77E-07
FAG-B-026	03/05/2022	AREIA SILTO ARGILOSO	JAZIDA 1	2698	2,0	7.740.360,060	630.635,400	1.230,990	24,9	1,622	26,5	2,963	40,00	29,40	10,60	31,40	36,00	18,40	11,00	2,70	0,50	6,86E-07
FAG-B-027	03/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2698	3,0	7.740.311,800	630.585,611	1.230,990	25,8	1,603	27,6	2,926	43,60	31,30	12,30	39,90	23,10	14,10	6,10	2,30	14,50	4,81E-07
FAG-B-028	02/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2697	2,0	7.740.362,640	630.684,060	1.232,781	24,4	1,577	27,3	2,966	51,70	32,99	18,71	49,41	29,30	10,15	5,34	1,31	4,49	1,80E-07
FAG-B-030	03/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2709	2,0	7.740.309,970	630.673,900	1.236,822	22,0	1,663	24,1	2,960	43,30	27,68	15,62	41,52	27,83	14,63	4,31	1,40	10,30	3,02E-07
FAG-B-031	03/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2709	3,0	7.740.309,970	630.673,900	1.236,822	23,1	1,654	24,6	2,952	38,60	26,84	11,76	41,89	29,05	13,83	4,59	1,08	9,56	3,11E-07
FAG-B-045	03/05/2022	ARGILA ARENO SILTOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2708	2,0	7.740.311,208	630.635,314	1.233,516	20,3	1,836	21,7	3,006	36,20	24,42	11,78	36,83	24,92	15,24	14,99	2,83	5,19	7,62E-07
FAG-B-046	03/05/2022	ARGILA ARENO SILTOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2708	3,0	7.740.311,208	630.635,314	1.233,516	21,1	1,722	22,9	2,993	36,20	24,94	11,26	39,75	28,85	16,21	5,26	1,62	8,30	4,37E-07
FAG-B-047	03/05/2022	SILTE ARGILO ARENOSO	JAZIDA 1	2699	2,0	7.740.361,156	630.585,787	1.222,972	24,4	1,549	30,2	2,894	45,30	31,58	13,72	31,59	47,94	16,83	2,31	0,62	0,71	5,97E-07
FAG-B-048	03/05/2022	SILTE ARGILO ARENOSO	JAZIDA 1	2699	3,0	7.740.361,156	630.585,787	1.222,972	26,2	1,554	28,9	2,975	45,10	30,44	14,66	34,42	35,97	18,70	8,69	1,80	0,42	5,60E-07
FAG-B-103	08/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2716	2,0	7.740.268,400	630.345,600	1.230,560	30,1	1,651	24,3	2,942	43,80	27,50	16,30	41,40	27,20	14,30	4,10	1,50	11,50	2,75E-07
FAG-B-104	08/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2716	2,0	7.740.268,400	630.345,600	1.230,560	30,1	1,647	25,6	2,838	44,10	27,70	16,40	41,50	27,35	14,10	3,90	1,30	11,85	3,15E-07
FAG-B-105	08/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2714	2,5	7.740.262,640	630.435,410	1.230,100	32,2	1,530	26,9	2,937	49,90	31,40	18,50	41,20	32,70	13,80	6,40	2,10	3,80	3,15E-07
FAG-B-109	08/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2705	2,3	7.740.312,640	630.485,410	1.228,050	19,1	1,628	23,5	2,854	39,20	27,40	11,80	31,70	30,80	16,90	8,80	1,10	10,70	8,27E-07
FAG-B-114	10/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2718	3,0	7.740.212,640	630.435,410	1.220,950	27,5	1,630	25,8	2,930	43,20	30,90	12,30	34,50	32,50	17,90	10,01	2,90	2,19	5,84E-07
FAG-B-115	10/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2718	2,0	7.740.212,640	630.435,410	1.220,950	28,0	1,652	26,2	2,920	44,20	31,40	12,80	36,00	31,20	18,10	9,10	2,50	3,10	
FAG-B-138	10/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2718	2,0	7.740.212,640	630.435,410	1.220,950	28,0	1,652	26,2	2,920	44,20	31,40	12,80	36,00	31,10	18,20	9,10	2,50	3,10	6,70E-07
FAG-B-239	22/08/2022	SILTE ARGILO ARENOSO	JAZIDA 1	2711	7,0	7.740.262,640	630.585,410	1.211,852	29,7	1,690	22,7	2,967	37,30	25,90	11,40	33,80	37,90	15,20	8,10	2,60	2,30	5,88E-07
FAG-B-241	22/08/2022	SILTE ARGILO ARENOSO COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2708	7,5	7.740.311,208	630.635,314	1.221,016	26,1	1,725	22,7	3,059	38,10	26,90	11,20	31,40	34,70	14,90	5,20	2,80	11,00	7,34E-07
FAG-B-302	05/09/2022	SILTE ARGILO ARENOSO	JAZIDA 1	2697	7,5	7.740.362,640	630.684,060	1.220,281	26,1	1,676	22,8	2,970	37,80	25,70	12,10	32,20	40,40	14,60	8,10	2,60	2,00	5,79E-07
FAG-B-303	05/09/2022	SILTE ARGILO ARENOSO	JAZIDA 1	2712	7,0	7.740.312,640	630.685,410	1.211,800	22,5	1,653	23,6	2,949	39,10	26,50	12,60	32,30	39,80	15,00	8,40	2,80	1,70	5,88E-07
FAG-B-017	06/04/2022	SILTE ARGILO ARENOSO	JAZIDA 1	2712	5,3	7.740.312,640	630.685,410	1.224,300	20,7	1,795	23,0	2,977	33,90	24,20	9,70	38,40	41,80	14,30	4,70	0,60	0,20	6,10E-07
FAG-B-032	02/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2721	2,0	7.740.212,770	630.572,656	1.236,194	23,2	1,536	27,1	2,955	49,80	31,52	18,28	39,58	31,70	14,42	5,23	1,26	7,80	5,64E-07
FAG-B-033	02/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2721	3,0	7.740.212,770	630.572,656	1.236,194	24,1	1,539	26,8	2,944	49,20	31,44	17,76	39,75	30,78	15,63	5,18	2,80	5,86	6,22E-07
FAG-B-035	03/05/2022	ARGILA ARENO SILTOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2725	2,0	7.740.123,070	630.503,740	1.233,267	20,5	1,653	24,5	2,957	34,80	26,19	8,61	31,45	30,32	22,31	6,59	2,47	6,86	8,92E-07
FAG-B-037	03/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2724	2,0	7.740.162,150	630.434,420	1.227,240	21,0	1,554	26,3	2,953	48,00	33,05	14,95	34,02	32,44	17,11	10,48	2,54	3,41	7,07E-07
FAG-B-040	03/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2719	3,0	7.740.212,200	630.484,538	1.223,576	23,8	1,540	27,7	2,923	48,50	31,15	17,35	49,24	27,43	9,51	4,10	0,59	9,12	1,34E-07
FAG-B-043	02/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2723	2,0	7.740.162,330	630.484,529	1.227,240	23,5	1,682	26,2	2,990	41,80	28,92	12,88	36,25	31,45	19,72	8,42	1,78	2,38	5,82E-07
FAG-B-044	02/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2723	3,0	7.740.162,330	630.484,529	1.227,240	24,7	1,661	27,0	2,984	42,90	29,28	13,62	37,19	31,89	19,26	8,50	1,83	1,32	3,94E-07
FAG-B-057	03/05/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2722	2,0	7.740.161,970	630.534,579	1.231,527	25,6	1,652	26,3	2,856	48,20	31,73	16,47	35,46	33,87	16,77	11,42	1,55	0,93	5,96E-07
FAG-B-058	03/05/2022	ARGILA ARENO SILTOSA	JAZIDA 1	2722	3,0	7.740.161,970	630.534,579	1.231,527	27,5	1,669	26,0	2,977	43,30	28,65	14,65	35,63	31,14	18,90	9,23	3,28	1,82	5,99E-07
FAG-B-101	08/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2704	2,0	7.740.312,640	630.435,410	1.227,250	27,8	1,481	28,3	2,916	45,40	31,80	13,60	41,80	30,10	15,00	9,40	1,70	2,00	2,71E-07
FAG-B-102	08/06/2022	ARGILA SILTO ARENOSA	JAZIDA 1	2704	2,0	7.740.312,640	630.435,410	1.227,250	42,4	1,476	28,5	2,904	45,80	32,00	13,80	44,40	29,10	14,40	9,30	1,60	1,30	2,65E-07
FAG-B-107	08/06/2022	ARGILA ARENO SILTOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2703	1,7	7.740.312,640	630.385,410	1.231,200	24,0	1,569	24,0	2,860	35,10	26,30	8,80	32,80	29,10	21,00	6,10	3,10	7,90	8,81E-07
FAG-B-108	08/06/2022	AREIA ARGILO SILTOSA COM PEDREGULHO	JAZIDA 1	2703	3,0	7.740.312,640	630.385,410	1.231,200	31,6	1,583	24,4	2,880	34,70	26,10	8,60	32,00	29,80	21,70	7,40	3,00	6,10	8,34E-07

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Em virtude da compilação dos resultados das liberações de camadas realizadas no aterro e elementos drenantes, foi possível obter o controle estatístico dos resultados, onde a média apresenta o valor médio obtido entre os resultados dos ensaios, desvio padrão apresenta a dispersão dos resultados e o índice de reprovação evidencia quantas camadas foram retrabalhadas a fim de obter os parâmetros de liberação, conforme projeto.

Em virtude da quantidade de ensaios executados na obra, a fim evidenciar os controles e elaboração dos controles estáticos, nos Quadros 10, 11, 12 e 13 estão apresentados os ensaios de liberação de aterro Hilf e liberação de tapete drenante CR – compacidade relativa.

Ao considerar o espaço amostral de 946 ensaios de liberação do aterro, 52 ensaios foram reprovados por pelo menos um dos critérios de liberação, seja grau de compactação e/ou desvio de umidade.

O Índice de Reprovação (IR) das camadas do aterro entre as elevações 1145,0 a 1185,0 m foi 6,11 %. Destaca-se que todas as camadas reprovadas foram retrabalhadas a fim de atender os limites de especificação.

Para liberação dos tapetes drenantes, considerando um espaço amostral de 93 ensaios de compacidade relativa, 6 ensaios foram reprovados. Desta forma o índice de reprovação IR foi de 6,45%

O controle de índice de reprovação tem como objetivo controlar o domínio da contratada com o material em relação a espessura de lançamento, umidade, energia de compactação e homogeneidade executiva em toda praça de trabalho.

O valor limite aceitável de índice de reprovação foi de 10%, a saber que o valor limite não foi alcançado em nenhum período da obra, o que reforça a qualidade dos processos e materiais aplicados nas estruturas.

Nos histogramas ilustrados pelas Figuras 19 e 18, é possível verificar as descrições estatísticas junto às distribuições obtidas e certificada a consistência do procedimento executivo, pois a maioria das liberações ocorreram em torno do grau de compactação (GC) do solo = 100% e desvio de umidade (Δh) entre o ramo seco (-0,5%) e a umidade ótima (0%), que garantem maior resistência ao aterro.

This content is Public.

Quadro 10 – Controle liberação de camadas | Aprovadas

MACIÇO | HILF													
Data	Horário	Registro	Cota	FVS	Camada	Faixa	Estaca	Quadrante	Desvio úmido (%	GC TOPO (%)	GC BASE (%)	STATUS ENSAIOS	DESCRIÇÃO
10/10/22	18:17	CPL-B-312	1.148,033	429	63ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	0,1	98,7	-	APROVADO	-
10/10/22	21:46	CPL-B-313	1.146,451	430	60ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,9	97,6	-	APROVADO	-
11/10/22	01:26	CPL-B-314	1.147,736	431	64ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-1,1	99,7	-	APROVADO	-
11/10/22	08:00	CPL-B-315	1.147,361	435	61ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-2,0	100,7	-	APROVADO	-
11/10/22	12:40	CPL-B-316	1.148,281	436	65ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-2,0	100,7	-	APROVADO	-
11/10/22	23:21	CPL-B-317A	1.147,805	438A	62ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,7	98,4	-	APROVADO	-
12/10/22	08:10	CPL-B-318	1.148,279	440	63ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	0,1	97,0	-	APROVADO	-
12/10/22	11:01	CPL-B-319	1.148,268	441	66ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,6	99,6	-	APROVADO	-
12/10/22	13:29	CPL-B-320	1.148,625	442	64ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,5	100,8	-	APROVADO	-
12/10/22	16:10	CPL-B-321	1.149,147	443	67ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,5	100,8	-	APROVADO	-
12/10/22	20:42	CPL-B-322	1.148,873	444	65ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,5	100,0	-	APROVADO	-
13/10/22	07:40	CPL-B-323	1.149,065	445	68ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,7	100,6	-	APROVADO	-
13/10/22	11:30	CPL-B-324	1.148,990	446	66ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-1,3	99,9	-	APROVADO	-
13/10/22	13:40	CPL-B-325	1.149,110	447	69ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	0,9	100,8	-	APROVADO	-
13/10/22	17:40	CPL-B-326	1.149,438	448	67ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-2,0	99,7	-	APROVADO	-
13/10/22	22:45	CPL-B-327	1.149,570	450	68ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,6	98,4	-	APROVADO	-
14/10/22	02:05	CPL-B-328A	1.149,892	449A	70ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,1	99,0	-	APROVADO	-
14/10/22	03:12	CPL-B-329	1.150,057	451	69ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	0,6	99,1	-	APROVADO	-
14/10/22	12:07	CPL-B-330	1.150,079	453	71ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,7	100,3	-	APROVADO	-
14/10/22	16:00	CPL-B-331	1.149,977	454	70ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,5	100,9	-	APROVADO	-
14/10/22	22:29	CPL-B-332A	1.150,029	455A	72ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-1,2	100,6	-	APROVADO	-
15/10/22	00:10	CPL-B-333	1.150,621	456	71ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,5	99,0	-	APROVADO	-
15/10/22	07:50	CPL-B-334	1.150,182	457	73ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-1,2	100,5	-	APROVADO	-
15/10/22	11:50	CPL-B-334A	1.150,489	457-A	73ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,5	99,6	-	APROVADO	-
15/10/22	12:05	CPL-B-335	1.150,643	458	72ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,7	98,2	-	APROVADO	-
15/10/22	17:39	CPL-B-336	1.150,859	461	73ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,1	99,5	-	APROVADO	-
15/10/22	22:35	CPL-B-337	1.150,231	462	74ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,7	99,2	-	APROVADO	-
16/10/22	10:50	CPL-B-338	1.151,755	464	75ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-1,5	97,0	-	APROVADO	-
16/10/22	16:20	CPL-B-339	1.152,094	465	76ª	A	03+15 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,4	100,9	-	APROVADO	-

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Quadro 11 – Controle liberação de camadas | Reprovadas

MACIÇO | HILF													
Data	Horário	Registro	Cota	FVS	Camada	Faixa	Estaca	Quadrante	Desvio úmido (%	GC TOPO (%)	GC BASE (%)	STATUS ENSAIOS	DESCRIÇÃO
26/09/22	20:57	CPL-B-270	1.146,399	372	57ª	B	08+00 A 10+05	QUADRANTE 3	2,1	96,7	96,2	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
28/09/22	19:00	CPL-B-271A	1.146,222	373-A	57ª	A	08+00 A 10+05	QUADRANTE 3	-0,5	102,5	100,9	REPROVADO	GC FORA DA E.T.
11/10/22	18:10	CPL-B-317	1.147,698	438	62ª	A	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-0,9	100,4	-	REPROVADO	ESPESSURA FORA DA ESPECIFICADA
13/10/22	22:30	CPL-B-328	1.149,765	449	70ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	2,1	98,2	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
14/10/22	19:55	CPL-B-332	1.150,371	455	72ª	B	04+10 A 08+00	QUADRANTE 3	-2,4	100,9	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
17/10/22	23:18	CPL-B-347	1.151,577	474	76ª	B	04+10 A 10+00	QUADRANTE 3	2,2	97,5	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
18/10/22	08:00	CPL-B-347A	1.150,950	477	76ªA	B	06+10 A 10+00	QUADRANTE 3	-0,4	100,9	-	REPROVADO	ESPESSURA FORA DA ESPECIFICADA
17/10/22	23:35	CPL-B-348	1.151,626	475	76ª	B	04+10 A 10+00	QUADRANTE 3	-0,6	99,8	-	REPROVADO	ATO DECIDIU REPROVAR A ACAMADA
18/10/22	10:22	CPL-B-348A	1.151,272	477	76ªB	B	06+10 A 10+00	QUADRANTE 3	-1,6	102,9	-	REPROVADO	GC FORA DA E.T.
19/10/22	01:25	CPL-B-353	1.152,272	482	78ª	B	06+10 A 10+00	QUADRANTE 3	-2,3	103,6	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE E GC FORA DA E.T.
19/10/22	01:49	CPL-B-354	1.151,363	483	78ª	B	03+15 A 06+10	QUADRANTE 3	-2,9	104,6	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE E GC FORA DA E.T.
23/10/22	11:53	CPL-B-366	1.153,081	498	82ª	B	04+00 A 08+12	QUADRANTE 3	-1,2	101,5	-	REPROVADO	GC FORA DA E.T.
26/10/22	01:30	CPL-B-373	1.153,378	508	82ª	A	04+00 A 10+10	QUADRANTE 3	-0,4	99,2	-	REPROVADO	ESPESSURA FORA DA ESPECIFICADA
26/10/22	02:00	CPL-B-374	1.153,610	509	82ª	A	04+00 A 10+10	QUADRANTE 3	-0,2	98,4	-	REPROVADO	ESPESSURA FORA DA ESPECIFICADA
27/10/22	02:46	CPL-B-377	1.152,216	514	87ª	B	03+04 A 10+00	QUADRANTE 3	-1,2	101,1	-	REPROVADO	GC FORA DA E.T.
29/10/22	23:45	CPL-B-386	1.152,105	528	2ªREG	B	08+00 A 10+00	QUADRANTE 3	-0,7	102,4	-	REPROVADO	GC FORA DA E.T.
25/11/22	14:40	CPL-B-426	1.159,089	581	103ª	AB	04+00 A 08+15	QUADRANTE 2	2,5	96,3	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
29/11/22	11:50	CPL-B-428	1.159,448	583	100ª	AB	04+00 A 08+00	QUADRANTE 1	2,1	96,7	95,3	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
29/11/22	23:36	CPL-B-429	1.159,607	584	101ª	AB	04+10 A 10+00	QUADRANTE 2	-0,5	92,5	-	REPROVADO	GC FORA DA E.T.
07/12/22	01:45	CPL-B-442	1.161,635	600	110ª	AB	04+00 A 08+00	QUADRANTE 2	1,6	99,3	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
10/12/22	01:13	CPL-B-454	1.162,936	612	111ª	AB	04+00 A 08+15	QUADRANTE 1	-2,5	98,5	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
13/12/22	18:00	CPL-B-470	1.163,657	629	116ª	AB	04+15 A 08+18	QUADRANTE 1	1,6	98,4	-	REPROVADO	DESVIO DE UMIDADE FORA DA E.T.
13/12/22	22:35	CPL-B-471	1.164,705	630	121ª	AB	04+15 A 08+18	QUADRANTE 2	0,4	100,0	-	REPROVADO	REPROVADO PELO LAB. CONTRAPROVA
19/12/22	23:35	CPL-B-495	1.158,484	660	7ªREG	B	04+03 A 04+15	QUADRANTE 1	-0,6	101,4	-	REPROVADO	REGULARIZAÇÃO GC FORA DA E.T
20/12/22	16:00	CPL-B-500	1.160,127	665	12ªREG	B	04+03 A 04+15	QUADRANTE 1	-0,5	100,1	-	REPROVADO	REGULARIZAÇÃO CAMADA REMOVIDA PELA FISCALIZAÇÃO E PELO ATO
20/12/22	22:50	CPL-B-502	1.160,171	667	13ªREG	B	04+03 A 04+15	QUADRANTE 1	-0,5	97,1	-	REPROVADO	REGULARIZAÇÃO CAMADA REMOVIDA PELA FISCALIZAÇÃO E PELO ATO

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Quadro 12 – Controle liberação de camadas | Aprovadas

Tapete Drenante | Filtro| CR													
Data	Horár	Registro	FVS	Cota	Trecho	Quadrante	Faixa	CR (%)	Camad	Passada	STATUS ENSAIO	DESCRIÇÃO	Local
30/08/22	13:44	CR-B-041	191	1.134,232	10+10 A 11+08	QUADRANTE 4	A	74,0	2°	NA	APROVADO	-	DRENO DE FUNDO / TAPETE DRENANTE
31/08/22	18:20	CR-B-042	201	1.135,528	10+03 A 10+08	QUADRANTE 4	A	67,2	2°	N/A	APROVADO	-	DRENO DE FUNDO / TALUDE
01/09/22	00:30	CR-B-043A	202-A	1.135,622	10+00 A 10+10	QUADRANTE 4	AB	70,1	1°	N/A	APROVADO	-	DRENO DE FUNDO / TAPETE DRENANTE
01/09/22	13:20	CR-B-044	205	1.136,134	09+18 A 09+19	QUADRANTE 4	AB	67,3	1°	N/A	APROVADO	-	DRENO DE FUNDO / TAPETE DRENANTE
03/09/22	14:20	CR-B-045	227	1.137,563	10+00 A 10+07	QUADRANTE 4	AB	70,4	2°	N/A	APROVADO	-	DRENO DE FUNDO / TAPETE DRENANTE
08/09/22	15:15	CR-B-046	257	1.140,070	10+00 A 11+03	QUADRANTE 4	AB	71,7	2°	N/A	APROVADO	-	DRENO DE FUNDO / TALUDE
09/09/22	13:10	CR-B-047	273	1.139,400	09+19 A 10+03	QUADRANTE 4	B	68,8	2°	N/A	APROVADO	-	FUNDAÇÃO / TALUDE
19/09/22	15:55	CR-B-048	337	1.142,900	08+09 A 08+19	QUADRANTE 3	B	69,6	2°	N/A	APROVADO	-	CANAL DE DESVIO / TALUDE
20/09/22	15:40	CR-B-049	342	1.144,858	08+00 A 11+02	QUADRANTE 3-4	B	70,6	2°	N/A	APROVADO	-	CANAL DE DESVIO / TALUDE
23/09/22	16:19	CR-B-050	355	1.145,690	10+00 A 11+00	QUADRANTE 4	B	70,6	2°	N/A	APROVADO	-	CANAL DE DESVIO / TALUDE
26/09/22	14:30	CR-B-051	370	1.146,656	09+19 A 11+00	QUADRANTE 3	AB	69,9	2°	N/A	APROVADO	-	CANAL DE DESVIO / TALUDE
28/09/22	11:41	CR-B-052	378	1.146,420	09+19 A 10+15	QUADRANTE 3-4	AB	67,4	3°	N/A	APROVADO	-	CANAL DE DESVIO / TALUDE

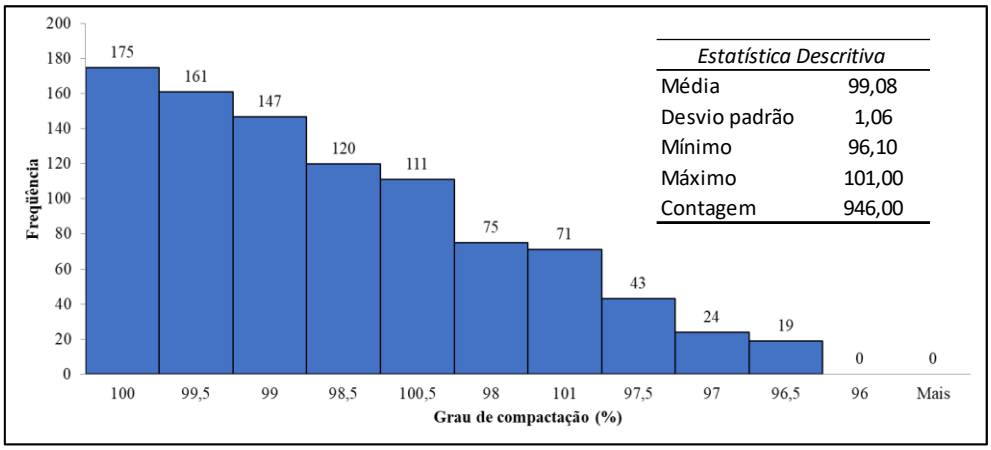
Quadro 13 – Controle liberação de camadas | Aprovadas

Tapete Drenante | Filtro| CR													
Data	Horár	Registro	FVS	Cota	Trecho	Quadrante	Faixa	CR (%)	Camad	Passada	STATUS ENSAIO	DESCRIÇÃO	Local
11/06/22	19:50	CR-B-003	-	1140,140	1+16 a 3+5	-	N/A	45,90	1°	6	REPROVADO	FORA DA E.T.	CANAL DE DESVIO/ TAPETE DRENANTE
15/06/22	23:30	CR-B-004	-	1139,700	3+5 a 4+5	-	N/A	83,70	1°	8	REPROVADO	-	CANAL DE DESVIO/ TAPETE DRENANTE
27/06/22	15:35	CR-B-010	-	1138,940	4+6 a 5+6	-	N/A	22,00	1°	-	REPROVADO	FORA DA E.T.	CANAL DE DESVIO/ TALUDE DO DRENO
18/08/22	14:55	CR-B-031	121	1141,805	06+00 A 08+10	QUADRANTE 3	B	45,50	2	N/A	REPROVADO	FORA DA E.T.	CANAL DE DESVIO/ TALUDE
18/08/22	22:30	CR-B-031 A	121-A	1141,165	06+00 A 08+10	QUADRANTE 3	B	42,20	2	N/A	REPROVADO	FORA DA E.T.	CANAL DE DESVIO/ TALUDE
31/08/22	23:30	CR-B-043	202	1.135,548	10+00 A 10+10	QUADRANTE 4	AB	75,0	1°	N/A	REPROVADO	REPROVADO PELO LAB. CONTRAPROVA CR_375	DRENO DE FUNDO / TAPETE DRENANTE

Fonte: Autora (2023).

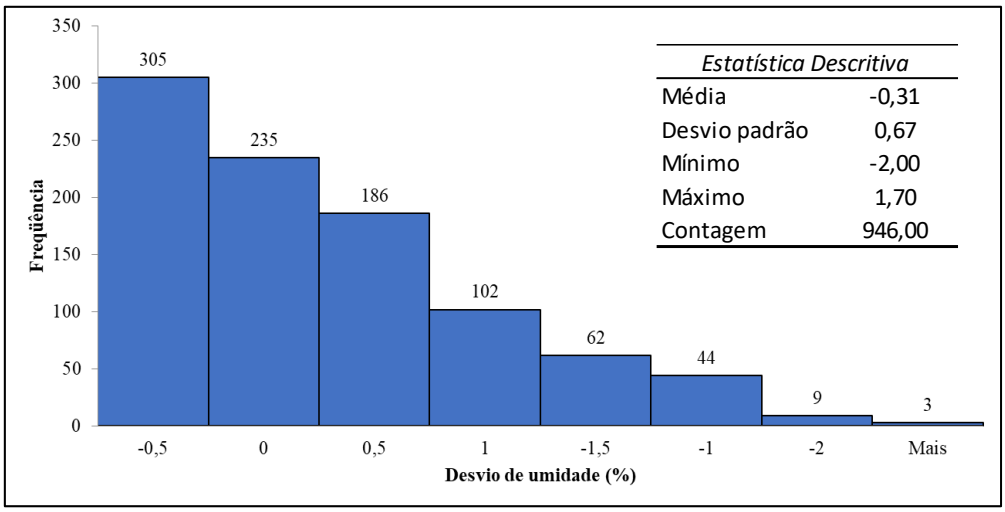
This content is Public.

Figura 19 – Histograma com estatística descritiva contendo os valores obtidos para grau de compactação



Fonte: Autora (2023).

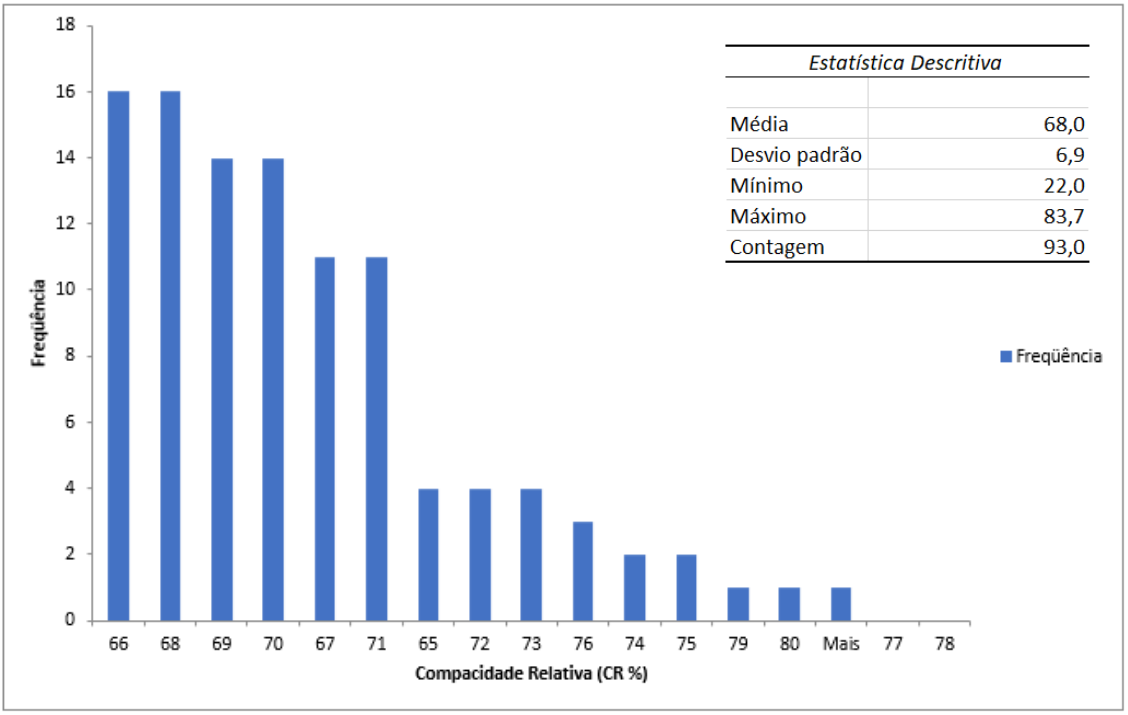
Figura 20 –Histograma com estatística descritiva contendo os valores obtidos para desvio de umidade



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Figura 21 –Histograma com estatística descritiva contendo os valores obtidos para compacidade relativa executada no tapete drenante



Fonte: Autora (2023).

Os controles estatísticos acima são aplicáveis a todas as estruturas com o objetivo de garantir o atendimento à especificação em relação a frequência de ensaios necessários x realizados, e para as estruturas de concreto com o objetivo de acompanhar os resultados obtidos nos rompimentos dos corpos de prova a fim de garantir as resistências mínimas do projeto.

Os controles desenvolvidos, com prazos de atendimento a necessidade da obra, além de garantir a rastreabilidade das informações, assegurou o atendimento da execução dos ensaios conforme previsto em projeto, e adicionalmente aplicado o controle estatístico a fim de assegurar o domínio do processo junto ao comportamento do material.

A compilação dos resultados referente aos ensaios de caracterização quanto liberação de camadas, atualmente, em virtude do avanço tecnológico há diversos programas computacionais/*softwares* que realizam a compilação dos resultados, no qual proporciona a redução de erros humanos em virtude da digitação, pois a programação junto ao processamento de dados consegue mitigar os equívocos e proporciona maior confiabilidade nos dados gerados. Adicionalmente, permitem a geração de quadros resumos e gráficos resumos conforme necessidade, controle estatístico e

This content is Public.

acompanhamento do status dos ensaios sendo: não iniciado, aguardando cálculo, em verificação, em aprovação e aprovado (Geolabor, 2019).

Entretanto, caso não haja recurso para aquisição da plataforma, os controles devem ser realizados através de planilhas de controle a fim de garantir o cadastramento sequencial e exclusivo da amostra e desta forma evitar duplicidade de numeração, compilar os resultados e gerar controles estatísticos a fim de certificar o domínio do material e processo.

Adicionalmente, apresenta-se nos Quadros 14, 15, 16 e 17 os modelos padronizados das planilhas referentes ao cadastramento individual das amostras, resumo dos resultados obtidos, controle resultados dos ensaios e controle espessura de camada e volume acumulado, respectivamente.

This content is Public.

Quadro 14 – Modelo padronização cadastramento individual das amostras

Protocolo	Nome	Data de coleta	Coordenada	Local
AM4403 - 3130	Argila Amarela | Maciço Terroso | Faixa 03 | Q 01 | Estaca 18 | Eixo | Camada : 49 | Origem: Estoque B8 - Área 20 | Caracterização Completa	31/05/2021		Faixa 3 estaca 18 ex

Fonte: Autora (2023).

Quadro 15 – Modelo quadro resumo dos resultados obtidos.

Amostra	Compactação Proctor Normal		Granulometria por Peneiramento e Sedimentação						Limites de Atterberg		Massa Específica dos grãos	Permeabilidade à Carga Variável	Ensaio de Dispersão SCS
Protocolo	γdmáx (g/cm³)	Wót (%)	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Areia Média (%)	Areia Grossa (%)	Pedregulho	IP (%)	Classificação	MES (g/cm³)	k20 (cm/s)	Grau de Dispersão (%)
AM4403 - 3130 (S1)	1,528	28,28%	59,26%	20,70%	11,05%	7,27%	1,68%	0,04%	27,6%	MH			5,03%

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Quadro 16 – Modelo planilha de controle resultados dos ensaios.

QUADRO DE RESUMO CARACTERIZAÇÃO COMPLETA																							
RASTREABILIDADE DO MATERIAL									ENSAIOS														
									UMIDADE	PROCTOR		MASSA ESPECÍFICA	LIMITE DE ATTERBERG			SEDIMENTAÇÃO						PERMEABILIDADE Á CARGA VARIÁVEL
DATA COLETA	MATERIAL	LOCAL COLETA	QUADRANTE	FAIXA	CAMADA	NORTE (m)	LESTE (m)	COTA (m)	UMIDADE NATURAL (%)	DENSIDADE MÁXIMA SECA (g/cm³)	UMIDADE ÓTIMA (%)	DENSIDADE REAL GRÃOS (g/cm³)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	ARGILA (%)	SILTE (%)	AREIA FINA (%)	AREIA MÉDIA (%)	AREIA GROSSA (%)	PEDREGULHO (%)	K_{20}

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Quadro 17 – Modelo planilha de controle espessura de camada e volume acumulado

Acumulado Total - Lançamento Diário de Volumes - Adequação Maciço										
Obra:				**Local:**		**Empresa Responsável:**		**Data**	**Volume**	
Informações da Camada						***Volume Compactado***				
Data	**Camada**	**Pista / Faixa / Praça**	**Horário de Início**	**Horário de Término**	**Status**	**Espessura Aplicada**	**Área**	**Cota Final**	**Volume Parcial**	**Volume Acumulado**
					Média	**#DIV/0!**				

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

4.4. Apresentação dos resultados por meio do BIM

Diante do modelo de capa inserido no BIM é possível apresentar a estrutura da obra de maneira resumida, reunindo todas as informações referentes aos ensaios, os croquis informativos que evidenciam a presença dos metadados e pontos de coleta, junto ao modelo de FVS, ficha de ensaio e relatório fotográfico.

O modelo de folha de rosto resumo inserida no BIM é ilustrado pela Figura 22.

Figura 22 – Modelo expandido folha de rosto inserida no BIM

CAPA BIM **Revisão: 00**

Material: Argila

Local:

Camada:

Hora Inicial:

Hora Termino:

CPL-B:

FVS:

Faixa:

Quadrante:

Altura da Camada:

Tipo Ensaio ☐ Liberação Camada ☐ Caracterização Completa

Encarregado da Área:

Laboratorista:

Responsável Técnico:

Laboratorista	Encarregado Laboratório	Engenheiro

Fonte: Autora (2023).

Ainda, os modelos BIM que comtemplam os metadados em todas as camadas e estruturas, os pontos de coleta dos ensaios, a imagem tridimensional da estrutura e a evidência dos controles aplicados na área de empréstimo e pátio de agregados miúdos e graúdos, são apresentados respectivamente pelas Figuras 23, 24, 25 e 26.

This content is Public.

As figuras abaixo, possuem a finalidade de ilustrar o modelo, no qual representam respectivamente, o aterro referente a obra de adequação da metodologia construtiva, alterada de montante para jusante contento as elevações 1145 a 1195 m, estrutura do canal de desvio e ponte metálica construída para acesso a etapa de fundação da obra; detalhe da construção do aterro em camadas a fim de evidenciar a vinculação dos dados por camada executada; imagem mais detalhada da construção do aterro entre as elevações 1145 a 1195,0 m , ensecadeira, canal de desvio, descida d'água, e ponte metálica e; por último, evidência da área de empréstimo com as placas de identificação que direciona para os ensaios de caracterização completa do material bem como os croquis informativos.

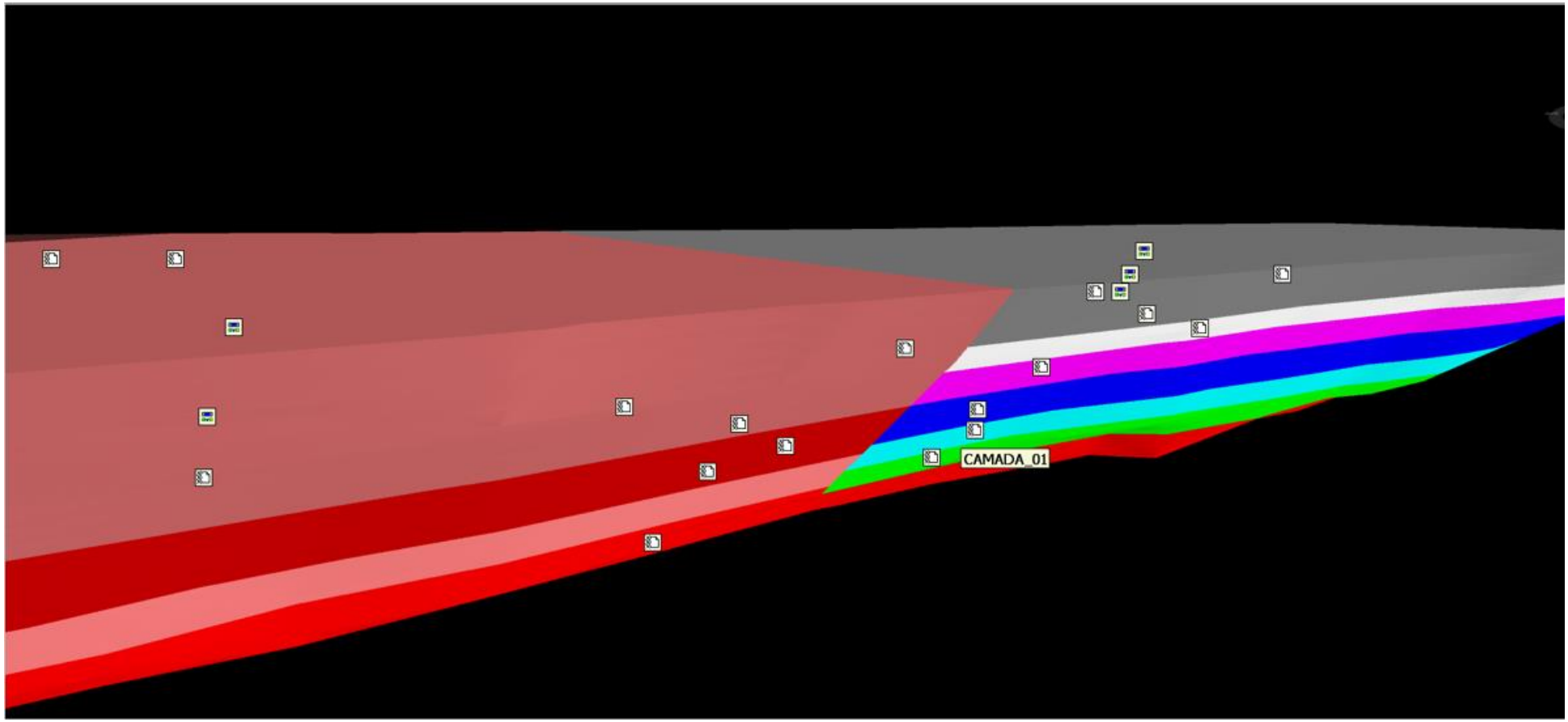
This content is Public.

Figura 23 – Modelo BIM contemplando metadados em todas as camadas e estruturas.

Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

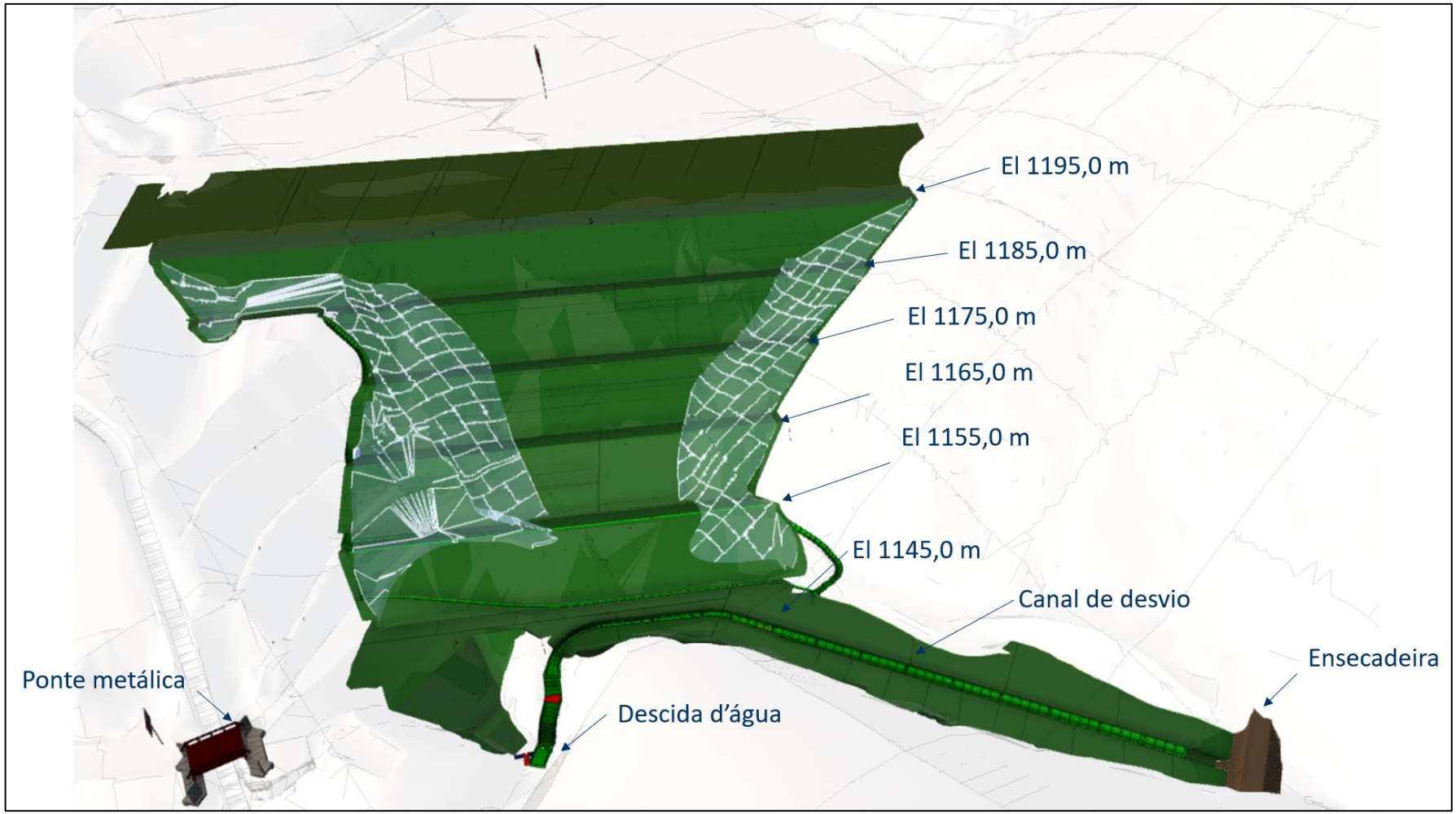
Figura 24 – Modelo BIM – Evidência dos pontos de coleta dos ensaios.



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

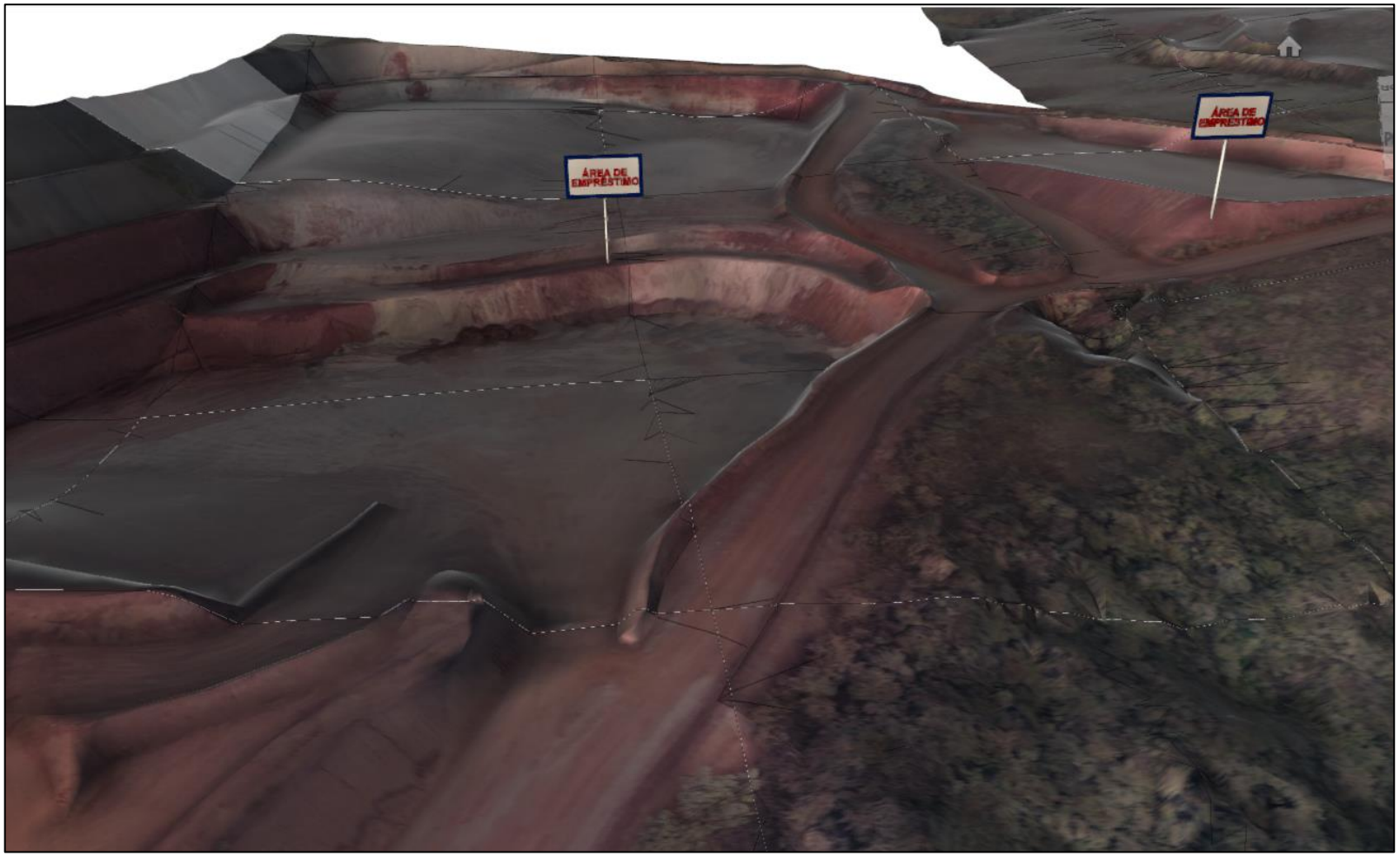
Figura 25 – Modelo BIM – Imagem tridimensional da estrutura.



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Figura 26 – Evidência dos controles aplicados na área de empréstimo e pátio de agregados miúdos e graúdos.



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Os instrumentos utilizados durante a obra não devem ser tratados como um elemento a parte do projeto, mas sim como elementos pontuais precisos componentes do projeto, uma vez que sua identificação no campo de visualização tridimensional se torna indispensável à segurança da estrutura, principalmente quando se tratar da automatização destes. Nesse sentido, apresenta-se no Quadro 18 a legenda de instrumentação utilizada nas visualizações.

Quadro 18 - Legenda de instrumentação.

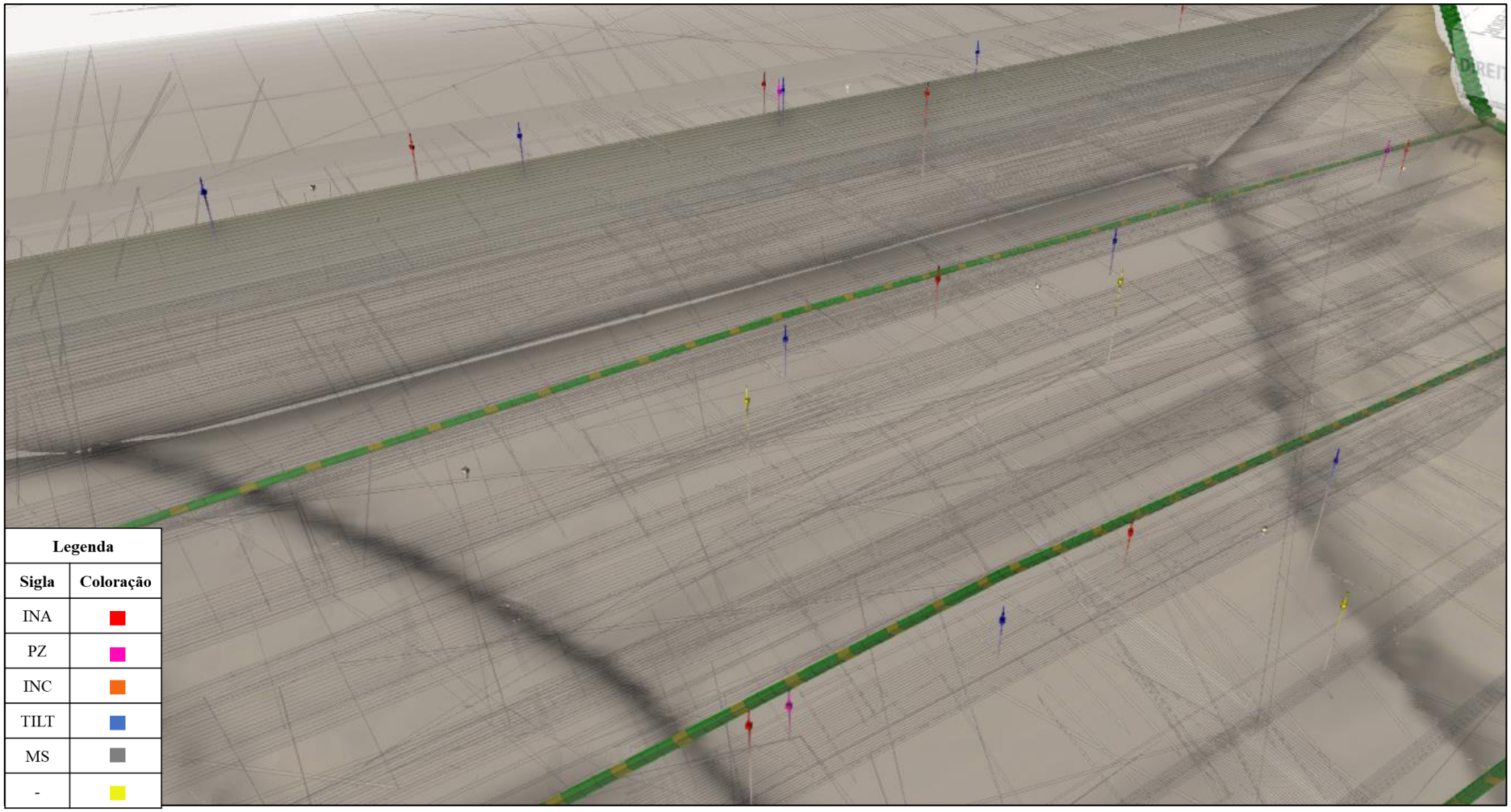
Instrumento	**Sigla**	**Coloração**
Indicador de nível d'água	INA	Vermelho
Piezômetro	PZ	Magenta
Inclinômetro	INC	Laranja
Tiltmeter	TILT	Azul
Marco Superficial	MS	Cinza
Desativados	-	Amarelo

Fonte: Autora (2023).

Na Figura 27 e 28 abaixo, é possível verificar respectivamente, a visão frontal do local de instalação dos instrumentos , diferenciados pela coloração, conforme evidenciado no Quadro 18 e, o tapete drenante tipo sanduiche executado em toda extensão do aterro, bem como o filtro vertical e canaletas e caixas referente a drenagem superficial.

This content is Public.

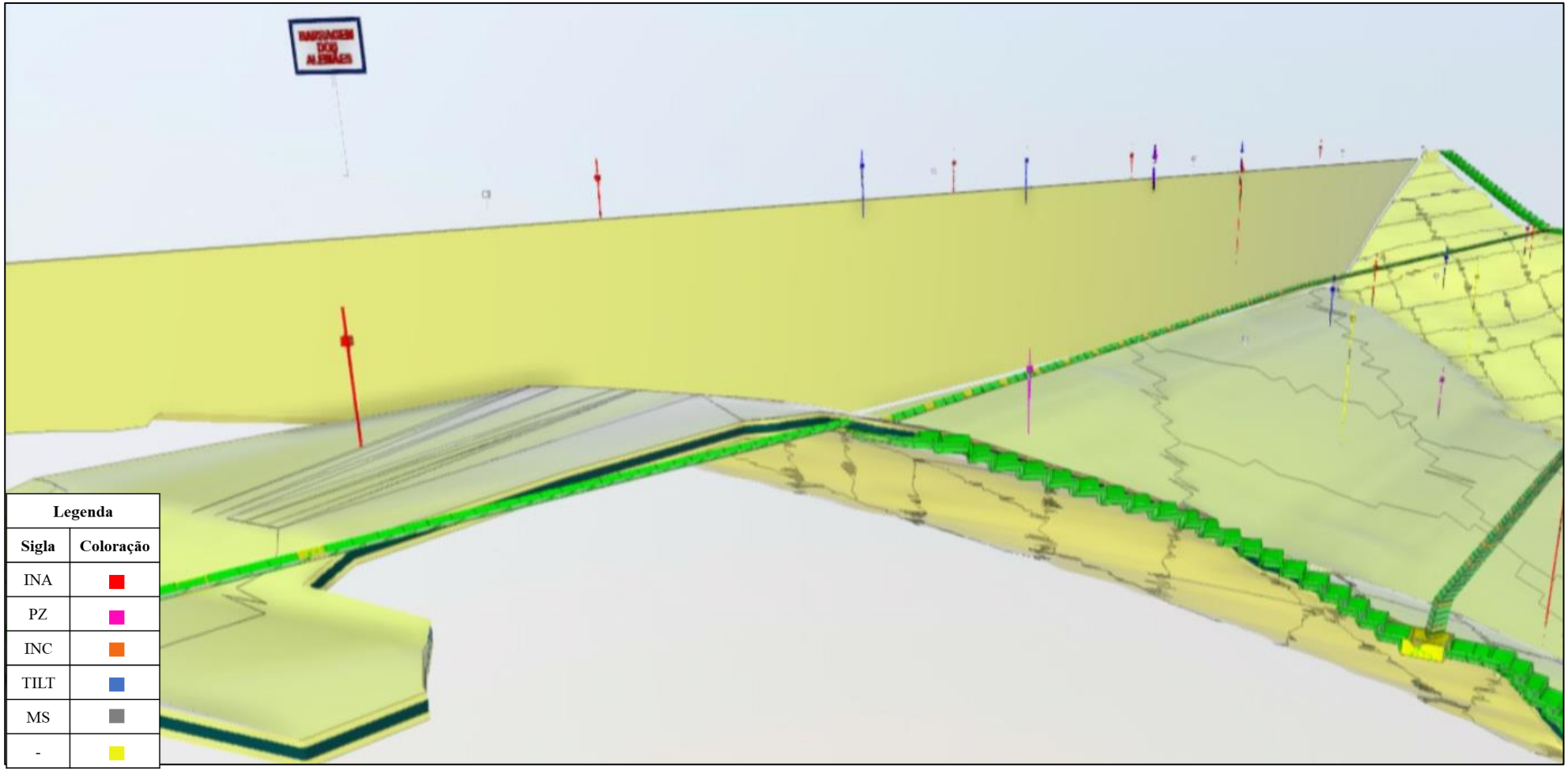
Figura 27 – Vista superior do modelo tridimensional dos instrumentos (diferenciados por cor)



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

Figura 28 – Vista lateral do modelo tridimensional dos instrumentos (diferenciados por cor) e drenagem interna, composta de tapete vertical tipo sanduiche e filtro horizontal.



Fonte: Autora (2023).

This content is Public.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1. Conclusões

De modo a considerar a relevância desta pesquisa para as estruturas de barragem de terra executadas na área da mineração, o presente estudo alcançou o desenvolvimento da metodologia de controle, composta pelo conjunto de documentos padronizados, com a folha de rosto nomeada de capa BIM que apresenta o resumo das informações, Ficha de Verificação de Serviço (FVS) devidamente validada por todos os envolvidos, ficha de ensaio, *croquis* informativos com informações sobre o local onde os ensaios foram executados junto a evidência fotográfica.

Todos os controles implementados asseguram as informações de como construído, o que consequentemente, atende as solicitações acerca dos normativos relacionados a segurança de barragens através da Resolução ANM Nº 95/2022 sobre a Estrutura e Documentação Técnica do Empreendimento.

Importante ressaltar que a obra de adequação a metodologia construtiva da barragem alteada de montante para jusante foi executada com qualidade e controle e desta forma, assegura o atendimento a Lei nº 14.066.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram alcançados, pois os resultados obtidos foram controles assertivos no qual evidenciam a execução das etapas construtivas com qualidade e asseguraram a rastreabilidade e confiabilidade das informações de maneira célere, visto que o BIM opera com um fluxo de trabalho inteligente, baseado na modelagem em geometria de um modelo único, carregado de um banco de dados que permiti o compartilhamento de informações referente todo ciclo de vida da obra com as demais partes interessadas na alteração da metodologia construtiva da barragem, sendo Agência Nacional de Mineração (ANM), Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), Ministério Público Federal (MPF), Engenheiro de Registro (EoR), Responsável Técnico (RT) pela barragem e demais interessados, por parte da mineradora.

5.2. Sugestões para futuras pesquisas

Durante o desenvolvimento deste estudo, foram percebidos aspectos que podem ser trabalhos em futuras pesquisas, sendo alguns deles:

This content is Public.

- Prognóstico do quantitativo de barragens a montante descaracterizadas no Brasil e como os benefícios desta ação se relacionam ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 9 - Indústria, inovação e infraestrutura;
- Revisão da literatura para levantamento e análise dos resultados obtidos através dos Relatórios de Seguranças de Barragens entre 2018 e 2023 com foco em barragens do tipo aterro para contenção de rejeitos de mineração.

This content is Public.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIALS. **ASTM D1883**: Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory Compacted Soils. Pensilvânia: ASTM, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIALS. **ASTM D3080**: Standard Test Method for Direct Share Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Pensilvânia: ASTM, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIALS. **ASTM D4767**: Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. Pensilvânia: ASTM, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TEST AND MATERIALS. **ASTM D7181**: Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils. Pensilvânia: ASTM, 2021.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Definições Importantes sobre Segurança de Barragem.pdf — Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens SNISB.** 2022. Disponível em: https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/outros/definicoes-importantes-sobre-seguranca-de-barragem.pdf/view. Acesso em: 16 set. 2023.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO**. Diretrizes Para Elaboração de Projetos de Barragens.** Brasília: ANA, 2016. 156 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de segurança de barragens 2017.** Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2018. 81 p.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de segurança de barragens 2022.** Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2023. 90 p

This content is Public.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **PORTARIA Nº 70.389, DE 17 DE MAIO DE 2017. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração e estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança de Barragem e do Plano de Ação de Emergência para Barragens de Mineração, conforme art. 8°, 9°, 10, 11 e 12 da Lei n° 12.334 de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB.** Brasília, DF. Agência Nacional de Mineração. 2017.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **RESOLUÇÃO ANM Nº 122, DE 28 DE NOVEMBRO DE 2022. Dispõe sobre os procedimentos para apuração das infrações, sanções e os valores das multas aplicáveis em decorrência do não cumprimento das obrigações previstas na legislação do setor mineral.** Brasília, DF, Diário Oficial da União. 2022. p. 72.

ANM – AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **RESOLUÇÃO ANM Nº 95, DE 07 DE FEVEREIRO DE 2022.** Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf. Acesso em: 10 set. 2023.

ARAÚJO, Claudia Thais Cardoso. **Importância das fichas de verificação de serviço como ferramenta de controle de qualidade de obras.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. 38 p. disponível em: https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/30962 Acesso em: 02 dez 2023

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12102:** Controle de compactação pelo método de Hilf. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13292:** Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos granulares à carga constante. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

This content is Public.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14545:** Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos a carga variável. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16840:** Determinação do índice de vazios máximo em solos não coesivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16843:** Determinação do índice de vazios mínimo em solos não coesivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16843:** Determinação do índice de vazios mínimo em solos não coesivos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16853:** Ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16886**: Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16889**: Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5738:** Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5739:** Ensaios de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6457:** Amostra de solo – Preparação para ensaios de compactação e caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

This content is Public.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6458:** Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459:** Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180:** Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181:** Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7182:** Ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9604:** Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9813:** Determinação da massa específica aparente *in situ*, com emprego do cilindro de cravação. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

AUTODESK. (2007). **BIM's return on investment**. BIM's Return on Investment (autodesk.com) Acesso em: 13 mai. 2023 e 02 dez 2023.

AUTODESK. **Projete e construa com BIM. Modelagem de Informação da Construção.** Autodesk, 2023. Disponível em: https://www.autodesk.com.br/solutions/bim. Acesso em: 05 abril 2023.

AUTODESK. **Principais recursos do Civil 3D.** Autodesk, 2020. Disponível em: https://www.autodesk.com.br/products/civil-3d/features. Acesso em: 03 dez 2023.

This content is Public.

AZHAR, S., HEIN, M.; SKETO, B. (2008). **Building information modeling: Benefits, risks and challenges**. Proc., 44th Associated Schools of Construction National Conference, Auburn, AL. Disponível em: https://www.academia.edu/1216737/Building_information_modeling_BIM_Benefits_risks_and_challenges. Acesso em: 13 mai. 2023.

Azhar, S., 2011. **Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry**. Leadership and Management in Engineering, 11(3), pp. 241–252. Disponível em https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2975514. Acesso em: 02 dez. 2023.

BENDELL, T., PENSON, R.; CARR, S. (1995), **The quality gurus – their approaches described and considered**, Managing Service Quality: An International Journal, Vol. 5 No. 6, pp. 44-48. https://doi.org/10.1108/09604529510104383

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Portaria 70.389 de 17 de maio de 2017**. Cria o Cadastro Nacional de Barragens de Mineração, o Sistema Integrado de Gestão em Segurança de Barragens de Mineração [...] o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2017. Disponível em:https://www.in.gov.br/materia//asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/20222904/do1-2017-05-19-portaria-n-70-389-de-17-de-maio-de-2017-20222835. Acesso em: 13 mai. 2023.

BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Portaria 95 de 07 de fevereiro de 2022**. Consolida os atos normativos que dispõem sobre segurança de barragens de mineração. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/barragens/legislacao/resolucao-no-95-2022.pdf Acesso em: 13 jun. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do Art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do Art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho**

This content is Public.

de 2000. Brasília, DF. Diário Oficial da União, p. 1. 2010. Disponível em: https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=1&data=21/09/2010&totalArquivos=120. Acesso em: 10 set. 2023.

BRASIL. **LEI Nº 14.066, DE 30 DE SETEMBRO DE 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração) .** Câmara dos Deputados, Brasília, DF: 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14066.htm. Acesso em: 8 set. 2023.

BRASIL, **DECRETO Nº 10.306, DE 2 DE ABRIL DE 2020 Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019** Disponível em: D10306 (planalto.gov.br). Acesso em 03 dez 2023.

CARDOZO, Fernando Alves Cantini; PIMENTA, Matheus Montes; ZINGANO, André Cezar. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração–uma revisão.** Holos, v. 8, p. 77-85, 2016.

CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens. **Ação de esclarecimento do CBDB junto à imprensa - Quem é o COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS – CBDB.** [s. d.]. Disponível em: <http://cbdb.org.br/acao-de-esclarecimento-do-cbdb-junto-a-imprensa-quem-e-o-comite-brasileiro-de-barragens-cbdb>. Acesso em: 16 set. 2023.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens.** Oficina de Textos, 2016.

COULIBALY, Yaya; BELEM, Tikou; CHENG, LiZhen**. Numerical analysis and geophysical monitoring for stability assessment of the Northwest tailings dam at Westwood Mine.** International Journal of Mining Science and Technology, v. 27, n. 4, p. 701-710, 2017.

This content is Public.

CRUZ, Paulo Teixeira da**. 100 Barragens Brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 1996. 647 p.

DAS, BRAJA M.; SOBHAN, KHALED. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** 8. ed. Carlifónia: Cengage Learning, 2015. 607 p.

DESKGRAPHICS. **Navisworks.** Deskgraphics, 2022. Disponível em: https://deskgraphics.com.br/navisworks/. Acesso em: 03 dez 2023.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **NORMA DNIT 011/2004 Gestão da Qualidade em Obras Rodoviárias – Procedimento** Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/procedimento-pro/DNIT_011_2004_PRO Acesso em 02/12/2023

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **NORMA DNIT 108/2009 Terraplenagem – Aterro Especificação de Serviço** Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_108_2009_es-1.pdf Acesso em 02/12/2023

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes. **Conceito BIM** Disponível em: Conceito BIM — Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (www.gov.br) Acesso em 03/12/2023

GEOLABOR. (2019). **Controle Geotécnico**. https://www.geolabor.com.br/geotechnicalqc Acesso em: 18 jun. 2023.

GIL, Antônio Carlos**. Como elaborar projetos de pesquisa/**Antônio Carlos Gil. São Paulo: Atlas, 1946, 4. ed., 2002.

GOMES, Maria Clara et al. **Development of the Building Information Modeling (BIM) certification process for application in tailings dams raised downstream: CUB-e GEO.** Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 5, p. 46379-46398, 2021.

This content is Public.

JESUS, Michele Bispo de. **Aspectos de gestão de segurança de barragens frente à política nacional de segurança de barragens.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, University of São Paulo, São Paulo, 2021. doi:10.11606/D.3.2021.tde-07102021-161152. Acesso em: 8 set. 2023.

KOMLJENOVIC, Dragan et al. **Uma abordagem baseada na resiliência na gestão do fechamento e abandono de grandes lagoas de rejeitos de minas.** Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Minas, v. 30, n. 5, p. 139. 737-746, de 2020.

LEAL, Ana Carolina Martelleto; RIBEIRO, Maria Izabel de Paula**. Implantação do Sistema de Qualidade na construção civil com ênfase na inspeção de serviço.** Revista Projectus, v. 1, n. 4, p. 84-96, 2016.

MASSAD, FAIÇAL, **Obras de Terra**: curso básico de geotecnia. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 215 p.

MIRANDA, Antônio Nunes de. **NOTAS DE AULA: INSPEÇÃO DE BARRAGENS DE ATERRO.** Curso: Inspeção e Segurança de Barragens. Fundação Parque Tecnológico Itaipu – Brasil Agência Nacional De Águas (ANA) 2016. 60 p.

MOREIRA, JOSE EDUARDO. **Karl von Terzaghi**. 2013. Disponível em: http://anebrasil.org.br/membros/karl-von-terzaghi/. Acesso em: 02 nov. 2022.

NASCIMENTO, Jéssica Wanderley Souza do; SAMPAIO, Allefy Teles. **Controle tecnológico da compactação dos solos em obra de terraplenagem.** Congresso Brasileiro Digital de Geotecnia e Meio Ambiente. 2020.Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/373359481_CONTROLE_TECNOLOGICO_DA_COMPACTACAO_DOS_SOLOS_EM_OBRA_DE_TERRAPLENAGEM. Acesso em: 8 set. 2023.

NASCIMENTO, Jéssica Wanderley Souza do; SAMPAIO, Allefy Teles. **Controle tecnológico da compactação dos solos em obra de terraplenagem.** Congresso Brasileiro Digital de Geotecnia e Meio Ambiente. 2020.Disponível em:

This content is Public.

https://www.researchgate.net/publication/373359481_CONTROLE_TECNOLOGICO_DA_COMPACTACAO_DOS_SOLOS_EM_OBRA_DE_TERRAPLENAGEM. Acesso em: 8 set. 2023.

OLIVEIRA, LORENA BRENDA DE. **Elementos da Metodologia Ágil para o Controle da Qualidade de Obras** – Método LTPA 2017. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/30470 Acesso em: 10 jul. 2023

PASSOS, Nathalia Christina de Souza Tavares. **Barragem de Rejeito: Avaliação dos Parâmetros Geotécnicos de Rejeito de Minério de Ferro utilizando Ensaios de Campos– Um Estudo de Caso.** Trabalho de Conclusão de Curso Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil. 2009. 93 p. Disponível em: https://www.academia.edu/5277066/UNIVERSIDADE_FEDERAL_DO_PARAN%C3%81_BARRAGEM_DE_REJEITO_AVALIA%C3%87%C3%83O_DOS_PAR%C3%82METROS_GEOT%C3%89CNICOS_DE_REJEITOS_DE_MIN%C3%89RIO_DE_FERRO_UTILIZANDO_ENSAIOS_DE_CAMPO_UM Acesso em: 02 dez 2023

REIS, Ewerton Correia *et al*. **Controle tecnológico na regularização do subleito para garantia da qualidade do pavimento.** Rede de Ensino Doctum, Cataguases, MG. 2022. Disponível em: https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/4546. Acesso em: 8 set. 2023.

ROCHA, MARCELA QUINTANILHA BORGES DA. 2007. **Elaboração de Indicadores e Uso de Ferramentas de Controle da Qualidade na Execução de Obras Prediais**. Disponível em: http://www.labbas.eng.uerj.br/pgeciv/nova/files/dissertacoes/16.pdf. Acesso em: 10 jul. 2023.

SACKS, R et al. **BIM Handbook**. 3 ed. India: Editora Wiley. 2018

Sari, Yunitta & Wahyuningrum, Catur & Cahyo Kresnanto, Nindyo. (2020). **Building Information Modeling (BIM) for Dams**-Literature Review and Future Needs. Journal of the Civil Engineering Forum. 6. 61. 10.22146/jcef.51519. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338954027_Building_Information_Modeling_BIM_for_Dams-Literature_Review_and_Future_Needs Acesso em: 02 dez 2023.

This content is Public.

Š. KOZAK, **Advanced control engineering methods in modern technological applications**, Proceedings of the 13th International Carpathian Control Conference (ICCC), https://ieeexplore.ieee.org/document/6228674. Acesso em: 19 mai. 2023.

SILVA, GUILHERME (2023). **Plano de Ação e Emergência para Barragens de Mineração – Normalização, Desafios e Oportunidades**. https://www.sig.cefetmg.br/sigaa/public/programa/noticias_desc.jsf?lc=en_US&id=629&noticia=36844533. Acesso em: 13 mai. 2023.

SOARES, Keroly Shaene Guedes et al. **Geologia aplicada a barragens.** Revista Pesquisa e Ação, v. 5, n. 2, p. 161-170, 2019.

SOUZA, Felipe Bicho Rezende de. **Controle tecnológico aplicado a obras de terraplenagem.** Felipe Bicho Rezende de Souza. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014.

VIDAL, Lucas Costa; LEÃO, Márcio Fernandes. Hierarquização de Atividades Operacionais em Barragens de Rejeito. ***In:*** ANAIS DO XX COBRAMSEG, 2022, Campinas. Anais eletrônicos... Campinas, Galoá, 2022. Disponível em: https://proceedings.science/cobramseg-2022/trabalhos/hierarquizacao-de-atividades-operacionais-em-barragens-de-rejeito?lang=pt-br . Acesso em: 8 set. 2023.

VISEU, Maria Teresa. **O risco e as barragens.** Riscos naturais, antrópicos e mistos: homenagem ao professor doutor Fernando Rebelo. Coimbra: Ed. Universidade de Coimbra, p. 425-440, 2013.

ZHANG, J. MARTIN, E.B, MORRIS A.J: **Non-linear principal components analysis and accumulated score plots**, Internal report, 1995. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S138589479700048X. Acesso em: 19 mai. 2023.

ZHONG, B., WU, H., DING, L. et al. **Hyperledger fabric-based consortium blockchain for construction quality information management**. Front. Eng. Manag. 7, 512–527 (2020). https://doi.org/10.1007/s42524-020-0128-y Acesso em: 14 mai. 2023

This content is Public.