

SISTEMA DE GESTÃO DE ATIVOS GEOTÉCNICOS NA REDE BRISA

Isabel Gonzalez¹, Miguel Quintela Cruz², Conceição Magalhães³

¹BRISA, Responsável do Departamento de Geotecnia, 210058211, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal, email: isabel.gonzalez@brisa.pt www.brisa.pt

²BRISA, Técnico do Departamento de Geotecnia, 210058277, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal, email: miguel.cruz@brisa.pt www.brisa.pt

³BRISA, Responsável pelo Projeto de Gestão de Ativos, 210058265, Quinta da Torre da Aguilha – Edifício Brisa, 2785-599 São Domingos de Rana, Portugal, email: conceicao.magalhaes@brisa.pt www.brisa.pt

Sumário

O desenvolvimento do projeto de implementação do sistema de gestão de ativos geotécnicos (SGAG) na rede Brisa tem por base seis fases sequenciais, nomeadamente, a fase de elaboração de Manuais de Inventário e de Inspeção, a realização de inventário georreferenciado dos ativos geotécnicos, a classificação dos ativos geotécnicos de acordo com a criticidade, a definição das estratégias de manutenção, o estabelecimento de indicadores de desempenho e, por ultimo, a sua integração com as restantes camadas do SGA (Sistema de Gestão de Ativos), designadamente (Gestão do Cadastro, Gestão da Manutenção; Gestão Documental e Arquivo, Planeamento e Gestão de Projetos e Monitorização e Desempenho).

Palavras-chave: SGA/ Ativos / Talude / Monitorização / Infraestruturas

1 INTRODUÇÃO

A BRISA Auto-estradas de Portugal, S.A. (BRISA) tem vindo a empreender um esforço contínuo na sua atividade de gestão de ativos numa perspetiva de criação de valor adicional, a partir dos seus ativos rodoviários, visando atingir um balanço otimizado entre o seu desempenho operacional, a sua gestão do risco e os custos de investimento e de manutenção a eles associados. Nesse sentido, encontra-se atualmente a desenvolver um Sistema de Gestão de Ativos (SGA) com foco na melhoria da compreensão e conseqüente gestão da relação custo/desempenho para apoio ao processo de tomada de decisão com base em decisões mais informadas.

O SGA atualmente em desenvolvimento inclui não só a integração dos sistemas de gestão dos ativos pavimentos, obras de arte e equipamentos como o desenvolvimento de outros sistemas de gestão apropriados às necessidades e relevância das restantes classes de ativos.

De entre a multiplicidade de classes de ativo objeto deste projeto, os ativos geotécnicos revestem-se de primordial importância não só face à dimensão e posição por eles ocupada na infraestrutura rodoviária como pela criticidade que os mesmos apresentam na concretização dos objetivos do negócio.

A rede de autoestradas concessionada à BCR, com cerca de 1.100 km de extensão, é constituída por taludes de aterro e de escavação que se encontram, quando necessário, contidos por diferentes tipos de estruturas ou revestidos com diversos tipos de materiais.

Este artigo apresenta a abordagem adotada pela Brisa Concessão Rodoviária (BCR) no desenvolvimento do Sistema de Gestão de Ativos Geotécnicos (SGAG) englobada na estratégia de implementação do seu Sistema de Gestão de Ativos Rodoviários (SGAR).

A referida abordagem foi dividida em diferentes fases, designadamente: 1) Elaboração de Manuais de Inventário e de Inspeção; 2) Realização de inventário georreferenciado dos ativos geotécnicos; 3) Classificação dos ativos geotécnicos de acordo com a criticidade; 4) Definição das estratégias de manutenção; 5) Estabelecimento de indicadores de desempenho; 6) Integração com as restantes camadas do SGA (Gestão do Cadastro, Gestão da Manutenção; Arquivo Técnico e Planeamento e Gestão de Projetos). As fases 1 a 4 já se encontram concluídas enquanto as fases 5 e 6 estão ainda em fase de desenvolvimento. Esta abordagem de gestão integrada e transversal

dos ativos geotécnicos possibilitará transitar de uma estratégia de manutenção reativa para uma estratégia de manutenção preventiva, no curto prazo e, posteriormente, para uma estratégia de manutenção preditiva no curto-médio prazo.

Na primeira fase foram definidas as regras e pressupostos a adotar no processo de inventariação e inspeção por forma a garantir a uniformização e harmonização de recolha de dados quer de inventariação quer de inspeção. Considerou-se o ativo talude como um ativo complexo constituído por uma série de componentes as quais serão objeto de inspeção individualizada e consequente classificação do seu estado de condição. O estado de condição de cada talude resultou assim de uma média ponderada do estado de condição de cada um dos seus componentes de acordo com a relevância atribuída a cada um deles relativamente ao seu desempenho global. A classificação da criticidade dos taludes foi efetuada tendo por base uma análise do impacto que uma eventual falha em cada um deles poderia ter nos objetivos do negócio. Para o efeito consideraram-se vários fatores, entre os quais as suas características geométricas, localização, histórico de ocorrências e a eventual presença de outros ativos na sua área de influência aos quais foram atribuídos ponderadores que permitiram classificar cada um deles de acordo com uma análise multicritério. Com base nesta informação foram definidas estratégias de manutenção preventiva função dos diferentes níveis de criticidade.

Uma vez que o SGAG ainda não se encontra totalmente concluído, neste artigo serão apresentadas as dificuldades sentidas e obstáculos ultrapassados no desenvolvimento do referido sistema assim como as atividades previstas realizar no âmbito das fases 5) e 6) no curto-médio prazo.

2 ELABORAÇÃO DE MANUAIS DE INVENTÁRIO E DE INSPEÇÃO

2.1 Manual de Inventário

O ativo *Talude* no contexto do presente Sistema de Gestão de Ativos entende-se por taludes artificiais que resultam da intervenção do homem no terreno natural para execução de uma rodovia. Estes podem ser taludes de aterro ou de escavação. São definidos, assim, como taludes todos os planos inclinados de terreno adjacentes à via principal e vias de ligação dentro da área de expropriação da autoestrada. O ativo *Talude* pode incluir, ou ser exclusivamente constituído, por uma estrutura de contenção. Por estrutura de contenção entende-se qualquer estrutura ou técnica de suporte para retenção de solos e/ou rochas, em aterro ou escavação, de forma a garantir a sua estabilidade.

O inventário de um Talude e/ou de uma Estrutura de Contenção consiste no registo de uma forma sistemática e organizada das suas características, com o objetivo de poderem servir de base à gestão do seu ciclo de vida e interessar à sua manutenção e conservação.

O inventário está organizado em três secções distintas, designadamente [1]:

- Dados administrativos – respeitantes à informação de carácter geral que permite localizar e identificar inequivocamente o ativo (Localização espacial e relativa à via, Dados de projeto/construção, Nível de Gestão);
- Dados técnicos – respeitantes à informação estrutural e dimensional geral que permite identificar as características de comportamento e exploração do ativo (Caracterização Geral, Especificações regulamentares, Alterações no ativo, Interação com outros ativos/estruturas/serviços, Acessibilidade/Condicionalismos à inspeção e manutenção);
- Dados de constituição respeitantes à informação pormenorizada do ativo no que se às suas características dimensionais e materiais de acordo com as diversas partes elementares nas quais este foi decomposto (componentes) e sobre as quais incidirão os trabalhos de inventariação e de inspeção periódica e para os quais serão, caso necessário, solicitados trabalhos de reparação e de manutenção.

Para a recolha dos Dados de Constituição considerou-se a divisão do ativo Talude em nove componentes (Talude, Panos, Drenagem, Banquetas, Área de Influência, Estrutura de Contenção, Outros Dispositivos de Estabilização, Instrumentação, Outros Componentes).

A realização do Inventário consistiu num trabalho de recolha de informação, de acordo com uma Ficha de Inventário, anexa ao manual de inventariação de ativos geotécnicos. Esta ficha permite uma uniformização do trabalho de inventariação, bem como a sistematização dos parâmetros a registar de forma inequívoca, com terminologia unívoca e *standard*.

2.2 Manual de Inspeção

As atividades de inspeção do ativo Talude revestem-se de primordial importância dado terem como seu principal objetivo a avaliação dos estados de conservação e de manutenção desse ativo, da qual depende a fiabilidade do SGA. Esta fiabilidade assenta na realização periódica e programada de Inspeções Principais, intercaladas por Inspeções de Rotina mais frequentes, a realizar por dois tipos de inspetores com níveis de habilitação distintos. A Inspeção de Rotina, com um nível de complexidade mais reduzido, pode ser realizada por um inspetor de nível inferior, designado por Inspetor de Nível 1, menos qualificado e menos experiente, enquanto as inspeções mais complexas, como a Inspeção Principal e a Vistoria, deverão ser realizadas por um inspetor de nível superior, designado por Inspetor de Nível 2, mais qualificado e mais experiente.

O Manual de Inspeção estabelece procedimentos e normas a seguir por aqueles inspetores por forma a garantir a qualidade, objetividade e comparabilidade das avaliações efetuadas nas inspeções [2]. Adicionalmente, estabelece os critérios para caracterização das anomalias (localização, estado de desenvolvimento, incidência) detetadas nos diversos componentes constituintes do ativo Talude, e sua subsequente avaliação mediante a consideração de três critérios distintos: (i) cumprimento da função por parte da componente inspecionada; (ii) consequência decorrente da sua presença; e (iii) potencial de evolução, tendo como objetivo final a atribuição quer de um Estado de Manutenção quer de um Estado de Conservação, associados à tipologia de trabalhos e celeridade necessárias em cada caso.

A validação das inspeções referidas e respetivas medidas propostas é efetuada por um técnico com habilitação e responsabilidade de nível superior.

O tipo de Inspeção, bem como a sua periodicidade, está diretamente relacionado com o Nível de Gestão do Ativo (NGA), que por sua vez depende quer do seu índice de criticidade individual quer do seu estado de conservação (Tabela 1).

Tabela 1 - Níveis de Gestão de um Talude

Nível de Gestão	Esquema de inspeção
Nível 1	Inspeção de Rotina periódica Inspeção Principal periódica
Nível 2	Inspeção de Rotina periódica Inspeção Principal não-periódica (desencadeada através da Inspeção de Rotina)
Nível 3	Inspeção de Rotina periódica

As Inspeções Principais têm como objetivo detalhar, de forma completa, todo o tipo de patologias identificáveis visualmente no ativo e atribuir um Estado de Manutenção e de Conservação ao talude. Com base no Estado de Manutenção e de Conservação do talude, será equacionada a necessidade de atuar e definida uma estratégia de intervenção. Nelas deverão ser analisadas todas as componentes constituintes do talude, designadamente: 1 - Panos; 2 - Drenagem superficial; 3 - Banquetas; 4 - Área de Influência; 5 - Estrutura de Contenção; 6 - Outros dispositivos de estabilização; 7 - Instrumentação/ Monitorização; 8 - Outros componentes, no que se refere às anomalias presentes em cada uma deles.

As Inspeções de Rotina constituem a ação inspetiva de menor complexidade, tendo como intuito a avaliação do estado de manutenção do ativo. O inspetor avaliará a necessidade de realizar trabalhos de manutenção, propondo medidas de atuação. Em comparação com a inspeção principal, esta inspeção apresenta as seguintes características diferenciadoras:

- Caracterização da anomalia sem se proceder à sua avaliação (menor exigência técnica);
- Leque simplificado de medidas de atuação a propor, omitindo-se as medidas de atuação que dependem da avaliação de anomalias mais graves (exclui-se em relação à Inspeção Principal: trabalhos de reparação,

pedido de ensaios, pedido de instrumentação, pedido de avaliação técnica-económica, restrições á exploração);

- Requisitos reduzidos de qualificação do inspetor (decorrente dos dois pontos anteriores);
- Procedimento mais expedito, definido de modo a ser realizado com maior frequência entre inspeções principais;
- Procedimento inspetivo sem recurso a meios de acesso especiais (menor perturbação a utentes e via);

3 REALIZAÇÃO DE INVENTÁRIO GEORREFERENCIADO DOS ATIVOS GEOTÉCNICOS

Numa primeira fase, a realização do inventário georreferenciado dos ativos geotécnicos foi executada através da técnica LIDAR (*Light Detection And Ranging*). Esta técnica permite inventariar os taludes de forma eficiente e completa, resultando deste trabalho o levantamento dos taludes em formato *shapefile*.

Observou-se, nesta fase, a dificuldade desta tecnologia em inventariar os taludes que se localizavam no tardo das barreiras acústicas ou cuja inclinação fosse muito acentuada. No caso dos taludes de aterro com inclinação muito acentuada, estes acabavam por não ser detetados pelo LIDAR, uma vez que a plataforma rodoviária cria uma sombra que não permite detetar o talude de aterro subjacente. No caso dos taludes de escavação com inclinação acentuada, se estes tiverem banquetas intermédias, estas acabam por também criar uma sombra que impossibilita detetar os panos superiores, conforme ilustrado na figura seguinte.

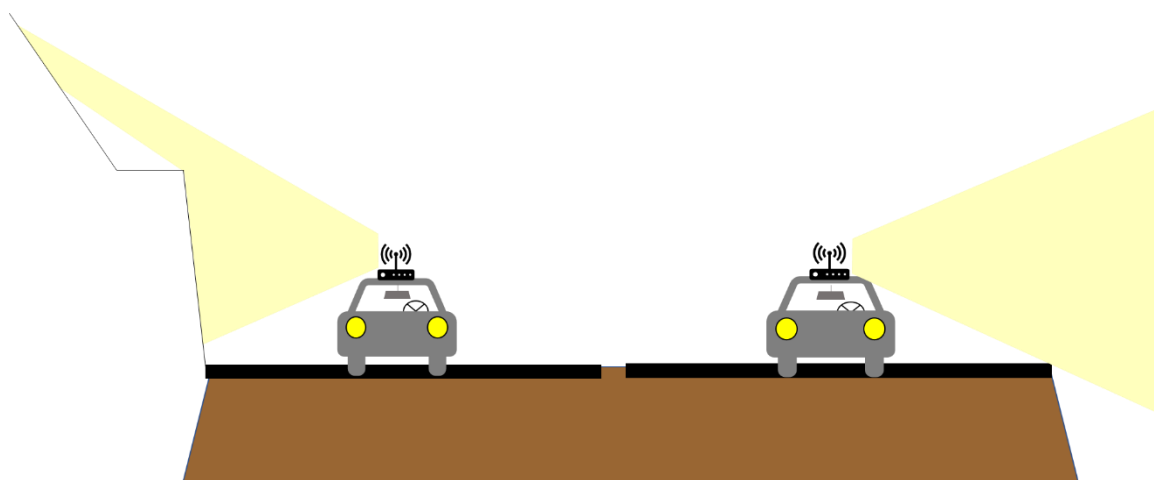


Figura 1 - Esquema representativo de levantamento de taludes através de LIDAR

Como complemento ao levantamento LIDAR, realizaram-se campanhas de inventariação manual dos taludes e das suas componentes de forma a ultrapassar os obstáculos anteriormente descritos. A inventariação, realizada com base no Manual de Inventário, permitiu validar e complementar a inventariação realizada por LIDAR.

O objetivo final destes trabalhos foi obter o inventário georreferenciado dos ativos em formato *Shapefile* (*.shp*), do qual constam os seguintes atributos: Classe do Ativo, ID_SIG, Designação, Autoestrada, Sublanço, Sentido, km inicial, km final, Nó, Ramo, Tipo de Zona Sísmica, Posição, Índice de Criticidade, Nível de Gestão, Link para o SGA, Link para o Arquivo Técnico, Responsável Operacional, Responsável pela Gestão do Ativo, Formação Geológica, Tipo de Litologia, Natureza do Material, Comprimento, Altura máxima, Largura, Área em planta, Inclinação, Número de panos, Número de banquetas, Largura de banquetas, Tipo de revestimento, Estrutura de Contenção, ID da Estrutura de Contenção, Tipo de Estrutura de Contenção, Dispositivos de Estabilização, Instrumentação, acessibilidade, Limitações de Acesso e Área 3D.

Após concluída a inventariação dos ativos geotécnicos e respetiva inspeção, foi-lhes atribuído um Índice de Criticidade (IC) que permitiu definir a respetiva estratégia de manutenção.

4 DEFINIÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO

A definição das estratégias de manutenção dos ativos geotécnicos teve por base o Índice de Criticidade (IC) associado a cada talude, tendo originado estratégias de manutenção distintas.

Uma vez que o conjunto dos ativos geotécnicos apresentam níveis de sensibilidade distintos, decorrentes de um determinado conjunto de características partilhadas uniformemente por alguns deles, decidiu-se, com o intuito de facilitar a sua caracterização em termos de criticidade, agrupá-los em conjuntos de taludes que partilham o mesmo nível de sensibilidade. Nesse sentido, o cálculo do nível de sensibilidade teve em consideração não só a sua localização, constituição (geometria, materiais constituintes, revestimento), tipologia e eventual monitorização como também a existência de outro tipo de ativos nas suas imediações, ou seja, numa faixa adjacente ao pé e à crista de um talude com largura equivalente a duas vezes a sua altura, com um valor mínimo de 10 m, designadamente:

- Dados geométricos do talude (altura e inclinação);
- Constituição do talude (solos ou rocha) e sua tipologia (aterro ou escavação);
- Tipo de estrutura de contenção existente no talude;
- Tipo de revestimento existente no talude;
- Instrumentação ativa no talude;
- Existência de ativos críticos na Área de Influência do talude (considera-se que um talude tem uma “Área de Influência crítica”, quando existem ativos críticos na sua Área de influência, por exemplo edifícios ou outras infraestruturas).

Com base nestes fatores foram definidos seis níveis de sensibilidade distintos, valorizados de 0 a 5, de acordo com o seu grau crescente de sensibilidade, descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Níveis de Sensibilidade dos Taludes

NS	Descritores
0	Taludes em solos/aterros, não instrumentados, com $h < 3$ m.
1	Taludes em solos/aterros, instrumentados, com $h > 8$ m ou $i > 1/2$ com uma AI crítica. Taludes com EC especial, instrumentados com uma AI crítica.
2	Taludes em solos/aterros, não instrumentados, com $h > 8$ m ou $i > 1/2$ com uma AI não-crítica. Taludes em solos/aterros, não instrumentados, com $3 < h < 8$ m e $i < 1/2$ com uma AI crítica. Taludes com EC não especial, não instrumentados, com $h < 5$ m. Taludes em rocha, não instrumentados, não revestidos.
3	Taludes em solos/aterros, instrumentados, com $h < 8$ m e $i < 1/2$. Taludes com EC não especial, instrumentados, com uma AI não-crítica. Taludes em solos/aterros, não instrumentados, com $h > 8$ m ou $i > 1/2$ com uma AI crítica. Taludes com EC não especial, não instrumentados, com $h > 5$ m com uma AI não-crítica.
4	Taludes em solos/aterros, instrumentados, com $h > 8$ m ou $i > 1/2$ com uma AI não-crítica. Taludes com EC especial, instrumentados, com uma AI não-crítica. Taludes com EC não especial, instrumentados, com uma AI crítica. Taludes com EC não especial, não instrumentados, com $h > 5$ m com uma AI crítica. Taludes em rocha, instrumentados, revestidos.
5	Taludes em solos/aterros, instrumentados, com $h > 8$ m ou $i > 1/2$ com uma AI crítica. Taludes com EC especial, instrumentados com uma AI crítica.

A classificação do desempenho de cada Nível de Sensibilidade dos Taludes foi efetuada com recurso a descritores (Tabela 2) materializados a partir de escalas quantitativas variáveis entre “1” e “5”. A classificação de cada um dos níveis de sensibilidade dos taludes, em cada um daqueles critérios, recorreu a escalas com unidades e amplitudes distintas pelo que foi necessário recorrer à sua normalização.

A criticidade de um ativo geotécnico mede-se pelo impacto que uma sua eventual falha possa ter na operação da rede BRISA [3] (Ukrlg & Hmep, 2013). A determinação dos critérios adotados na análise de criticidade efetuada baseou-se numa análise comparativa relativamente a outras concessionárias e na literatura existente [4, 5] (Jafari et al., 2014; Ukkusuri & Yushimito, 2009). Nesse sentido, consideraram-se, por isso, três pontos de vista diferentes, designadamente o “Impacto na Sociedade”, os “Clientes e Colaboradores” e o “Negócio”. Cada um destes pontos de vista foi caracterizado de acordo com um conjunto distinto de critérios, com distintos ponderadores:

Impacto na Sociedade

- Serviços terceiros afetados;

Clientes e Colaboradores

- Segurança Clientes / equipas operacionais;
- Disponibilidade;
- Período de recuperação;

Negócio

- Perda de receita;
- Interligação (com outros ativos);
- Custo de substituição / reparação;
- Resiliência.

A atribuição dos ponderadores a cada critério foi efetuada através do processo hierárquico analítico (ahp) [6] (Russo & Camanho, 2015) mediante a opinião dos técnicos responsáveis pela gestão dos ativos.

O IC resultou da aplicação de uma análise multicritério a cada um dos níveis de sensibilidade definidos tendo em conta a importância relativa de cada um daqueles critérios, de acordo o modelo aditivo de agregação [7] (Choo & Wedley, 2008), tendo-se adotado uma escala quantitativa de intervalos, de “1” a “5”, na qual um IC [1 ; 2] corresponde a taludes de criticidade baixa, um IC [2 ; 3,5] [corresponde a taludes de criticidade moderada e, um IC [3,5; 5] corresponde a taludes de criticidade elevada. A cada IC foi associada uma Estratégia de Manutenção para todos os modos de falha passíveis de ocorrer em cada um dos componentes que constituem o ativo, de acordo com o método da Manutenção Centrada no Risco [8] (Selvik & Aven, 2011) (RCM). Consideraram-se, para o efeito, três tipologias de estratégias de manutenção, preventiva sistemática, preventiva condicionada e corretiva.

A estratégia de manutenção preventiva sistemática, materializada através de atividades que se executam com uma determinada frequência, visam a prevenção das causas que originam a falha dos componentes do ativo. Nestas atividades incluem-se, por exemplo, inspeções e monitorizações periódicas dos componentes, limpezas periódicas e calibração de eventuais equipamentos. A frequência de realização destas atividades varia linearmente com o IC do ativo.

No que respeita à estratégia de manutenção preventiva condicionada, materializada por atividades consideradas preventivas que no passado não estavam programadas, mas que, derivadas de uma inspeção ou outro tipo de alerta, se revelam necessárias. Estas atividades compreendem, por exemplo, a implementação de instrumentação para monitorizar o ativo, reforço das inspeções e reforço da manutenção corrente.

Quanto à estratégia de manutenção corretiva, estas apenas ocorrem após verificada a falha do componente.

5 ESTABELECIMENTO DE INDICADORES DE DESEMPENHO

Por forma a possibilitar a monitorização da gestão do ativo Talude definiram-se duas tipologias distintas de indicadores de desempenho, nomeadamente estratégicos e operacionais que serão visualizados em “dashboards” quer do próprio do SGAG quer do portal do SGA.

A primeira tipologia engloba os indicadores de desempenho e custo. A segunda refere-se à monitorização das estratégias de manutenção implementadas.

Mais concretamente, definiram-se os seguintes indicadores de desempenho: 1) número de ativos geotécnicos por nível de criticidade e por estado de condição/período; 2) número de ativos geotécnicos por estado de conservação/manutenção/período; número de ocorrências observadas por tipologia de ocorrência/período e 4) número de taludes críticos na rede BCR com $IC > 3$ / número total de taludes críticos da rede BCR ($\leq 10\%$). No que se refere ao custo especificaram-se os seguintes indicadores: 1) Custos incorridos em inspeções/período; 2) Custos incorridos em trabalhos de manutenção/período. A monitorização das estratégias de manutenção implementadas será monitorizada através da análise da evolução dos seguintes indicadores: 1) número de inspeções realizadas por tipologia de inspeção/período; 2) número de trabalhos realizados/tipologia de trabalho/período.

6 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A fim de permitir a integração da informação de inventário e de projeto com o Sistema de Gestão de Ativos Geotécnicos prevê-se a sua comunicação com as camadas inferiores do SGA (gestão de cadastro e gestão documental e arquivo). A sua interligação com as camadas superiores, designadamente com a camada de gestão da manutenção, com a camada de planeamento e investimento e com a camada de monitorização e desempenho, assegurará o fluxo de informação necessária à priorização dos investimentos e ao cálculo do risco a eles associados, assim como à visão macro do estado da rede em termos de ativos geotécnicos.

Para concluir, importa referir que embora tenha-se encontrado algumas dificuldades na fase de inventariação dos ativos, por não ser um processo tão automatizável quanto espectável, conseguiu-se ultrapassar os obstáculos completando a inventariação de forma manual.

7 REFERÊNCIAS

1. Brisa & Betar, *Implementação do Sistema de Gestão de Ativos. Inventariação e Inspeção dos Ativos. Manual de Inventário*, 2022
2. Brisa & Betar, *Implementação do Sistema de Gestão de Ativos. Inventariação e Inspeção dos Ativos. Manual de Inspeção*, 2022
3. Ukrlg, & Hmep., *Highway Infrastructure Asset Management*. www.dft.gov.uk, 2013
4. Jafari, M. A., Parlikad, A. K. P., Concho, L. R.-C., & Jafari, B., *Review of Asset Hierarchy Criticality Assessment and Risk Analysis Practices Sponsor: Metropolitan Transportation Authority (MTA)*. <http://www.utrc2.org/research/projects/benchmarking->, 2014
5. Ukkusuri, S. v., & Yushimito, W. F., *A methodology to assess the criticality of highway transportation networks*. *Journal of Transportation Security*, 2(1–2), 29–46. <https://doi.org/10.1007/s12198-009-0025-4>, 2009
6. Russo, R. D. F. S. M., & Camanho, R., *Criteria in AHP: A systematic review of literature*. *Procedia Computer Science*, 55, 1123–1132. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.081>, 2015
7. Choo, E. U., & Wedley, W. C., *Comparing Fundamentals of Additive and Multiplicative Aggregation in Ratio Scale Multi-Criteria Decision Making*. *The Open Operational Research Journal* (Vol. 2), 2008
8. Selvik, J. T., & Aven, T., *A framework for reliability and risk centered maintenance*. *Reliability Engineering and System Safety*, 96(2), 324–331. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.08.001>, 2011