

CONTROLE TECNOLÓGICO NA REGULARIZAÇÃO DO SUBLEITO PARA GARANTIA DA QUALIDADE DO PAVIMENTO

Ewerton Correia Reis
Inácio Almeida Machado
Rayane Lacerda Amaral
Ana Flávia Ramos Cruz

RESUMO

Atualmente o sistema rodoviário brasileiro enfrenta graves problemas em relação à baixa qualidade de sua infraestrutura, impactando diretamente no desempenho do transporte e na economia nacional, uma vez que as más condições do pavimento de uma rodovia causam o aumento do custo operacional do transporte, reduz o conforto e a segurança dos passageiros e das cargas. Com a necessidade de intervenções e adequações a serem executadas nessas rodovias, muitos projetos de regularização do subleito e restauração de pavimentos se encontram em desenvolvimento em pontos críticos e estratégicos por todo o país. Para isso os serviços de Terraplenagem se tornam indispensáveis, pois através de suas etapas de execução possibilitam o reparo de terrenos irregulares, adequando-os para as fases seguintes da regularização do subleito. Entretanto, é de suma importância o emprego de um controle tecnológico em todas as etapas de execução desse serviço, evitando falhas nos processos e conseqüentemente o surgimento de manifestações patológicas e defeitos que põem em risco a qualidade e a segurança do pavimento das rodovias. Sendo assim este trabalho, através de uma pesquisa bibliográfica e documental tem como objetivo principal descrever os principais recursos empregados para controle tecnológico da regularização do subleito, segundo recomendações da DNIT 137/2010, cuidados fundamentais para a garantia da qualidade do pavimento de rodovias e na prevenção de defeitos futuros, fazer a classificação dos materiais de escavação, descrever os serviços de terraplenagem e descrever os equipamentos de terraplanagem e compactação responsáveis pelas frentes de serviço em campo. O presente trabalho visa contribuir com dados e informações importantes, a fim de, enriquecer a literatura dentro dessa temática.

Palavras-chave: Controle tecnológico, Regularização do Subleito, Pavimentação.

Rede de Ensino Doctum. Unidade: Cataguases. aluno.ewerton.reis@doctum.edu.br
Graduando em Engenharia Civil.

Rede de Ensino Doctum. Unidade: Cataguases. aluno.inacio.machado@doctum.edu.br .
Graduando em Engenharia Civil.

Rede de Ensino Doctum. Unidade: Cataguases. aluno.rayane.amara@doctum.edu.br

Rede de Ensino Doctum. Unidade: Cataguases. prof.ana.cruz@doctum.edu.br.

ABSTRACT

Currently, the Brazilian road system faces serious problems in relation to the low quality of its infrastructure, directly impacting the performance of transport and the national economy, since the poor conditions of the pavement of a highway cause an increase in the operational cost of transport, reduces the comfort and safety of passengers and cargo. With the need for interventions and adaptations to be carried out on these highways, many subgrade regularization and pavement restoration projects are under development at critical and strategic points throughout the country. For this, Earthworks services become indispensable, as through their execution stages they make it possible to repair irregular terrain, adapting them for the following phases of subgrade regularization. However, it is extremely important to use technological control at all stages of the execution of this service, avoiding failures in the processes and, consequently, the appearance of pathological manifestations and defects that jeopardize the quality and safety of the highway pavement. Therefore, this work, through a bibliographical and documental research, has as main objective to describe the main resources used for technological control of the regularization of the subgrade, according to recommendations of DNIT 137/2010, fundamental care for the guarantee of the quality of the pavement of highways and in the prevention of future defects, classifying excavation materials, describing earthmoving services and describing earthmoving and compaction equipment responsible for field service fronts. **The present work aims to contribute with important data and information, in order to enrich the literature within this theme.**

Keywords: Technological control, Subgrade regularization, Paving.

1. Introdução

Atualmente o sistema rodoviário brasileiro enfrenta graves problemas em relação à baixa qualidade de sua infraestrutura, impactando diretamente no

desempenho do transporte e na economia nacional. Pois, as más condições do pavimento de uma rodovia causam o aumento do custo operacional do transporte, reduz o conforto assim como a segurança dos passageiros e das cargas transportadas, além de impactar negativamente no meio ambiente. Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), o transporte rodoviário é responsável por mais de 60% da movimentação de mercadorias e 90% dos passageiros. Entretanto, conta com apenas 12,4% da malha rodoviária asfaltada e em sua maioria de pistas simples com mais da metade delas classificadas como regulares, ruins, ou péssimas ([21ª Pesquisa CNT de Rodovias](#)).

Com a necessidade de intervenções e adequações a serem executadas nessas rodovias, muitos projetos de restauração de pavimento se encontram em desenvolvimento em pontos críticos e estratégicos por todo o país. (CNT, 2017).

A primeira etapa na execução de projetos de pavimentação, assim como em todo o âmbito da Engenharia Civil, consiste em movimentar previamente grandes quantidades de solo existente no local do empreendimento, seja para realizar um corte ou aterro. Para isso os serviços de Terraplenagem se tornam indispensáveis, pois através de suas etapas de execução, tais como: escavação, carga, transporte, descarga, espalhamento e compactação possibilitam o reparo de terrenos irregulares, adequando-os para as fases seguintes da regularização do subleito (NICHOL & DAVID, 2010). Entretanto, é de suma importância o emprego de um controle tecnológico em todas as etapas de execução desse serviço, a fim de evitar falhas nos processos e conseqüentemente o surgimento de manifestações patológicas e defeitos que põem em risco a qualidade e a segurança do pavimento, podendo inviabilizar de forma temporária e em algumas vezes de forma permanente o seguimento do projeto.

Este trabalho tem como objetivo principal descrever os principais recursos empregados para controle tecnológico da regularização do subleito, segundo recomendações da DNIT 137/2010, cuidados fundamentais para a garantia da qualidade do pavimento de rodovias e na prevenção de defeitos futuros.

Como objetivos secundários, busca-se:

- Classificar os materiais de escavação;
- Descrever os serviços de terraplenagem em conformidade com suas respectivas normas;
- Descrever os equipamentos de terraplenagem e compactação, responsáveis pelas frentes de serviço em campo.

Para seu desenvolvimento e definição metodológica, esta pesquisa conta com uma pesquisa bibliográfica e documental, tendo sido pesquisados artigos, dissertações e documentos dos últimos vinte anos nas seguintes bases de dados: Google acadêmico, SciELO e periódicos Capes.

Esse trabalho visa contribuir com informações capazes de demonstrar e enfatizar a importância da aplicação adequada do controle tecnológico em cada uma das etapas e processos que compreendem o serviço de regularização do subleito, a fim de mitigar as causas do surgimento de defeitos futuros no pavimento das rodovias.

2. Referencial Teórico

2.1 Materiais de escavação

Segundo Aldo (2017) Ao se planejar a escavação deve-se levar em conta o tipo de solo e do material que será escavado além da carga e transporte de resíduos, utilização de diferentes máquinas, tempo e grau de dificuldade para cada material. O custo do metro cúbico de escavação depende do grau de compacidade do material, pois quanto mais fácil for a atividade de remoção, mais barato será o custo de remoção.

O processo de escavação pode ser classificado em três categorias de acordo com o tipo de material do solo a ser trabalhado.

a) Material de 1ª categoria

São solos em geral, residuais ou sedimentares, seixos rolados ou não, com diâmetro máximo e inferior a 0,15 m, qualquer que seja o teor de umidade apresentado. O processo de extração é compatível com a utilização de “dozer” (trator de esteira) e “scraper” rebocado ou motorizado.

Em geral, o material de 1ª categoria é escavado por tratores escavo-transportadores de pneus, empurrados por tratores esteiras de peso compatível

ou por escavadeiras hidráulicas. Sua escavação não exige o emprego de explosivo

b) Material de 2ª categoria

Compreende os de resistência ao desmonte mecânico inferior à da rocha não alterada, cuja extração se processe por combinação de métodos que obriguem a utilização do maior equipamento de escarificação exigido contratualmente; a extração eventualmente poderá envolver o uso de explosivos ou processo manual adequado.

Estão incluídos nesta categoria os blocos de rocha de volume inferior a 2 m³ e os matacões ou pedras de diâmetro médio compreendido entre 0,15 m e 1,00 m.

São de 2ª categoria os solos sedimentares em processo adiantado de rochificação e as rochas em processo adiantado de deterioração.

c) Material de 3ª categoria

São materiais com resistência ao desmonte mecânico equivalente à rocha não alterada, e blocos de rocha com diâmetro médio superior a 1,00 m, ou de volume igual ou superior a 2 m³, cuja extração e redução, a fim de possibilitar o carregamento, se processem com o emprego contínuo de explosivos

Ainda segundo Aldo (2017), a ocorrência de dificuldades práticas e técnicas durante os processos de classificação do material de escavação no campo podem tornar o processo mais complexo, uma vez que podem ocorrer duas ou até três categorias em um mesmo corte, com horizontes que não são muito bem definidos. O autor ainda ressalta que nem sempre a utilização de explosivo caracteriza um material de 3ª categoria. É preciso que haja um emprego contínuo de explosivos. Da mesma forma, a ocorrência de matacões requer a aferição, ainda que visual, de sua dimensão para fins de classificação em 1ª ou 2ª categoria. Em algumas situações onde não existir material suficiente no terreno trabalhado, será preciso fazer o serviço de empréstimo de jazida, conforme o volume necessário para fazer o nivelamento, porém, esse material importado deverá ser avaliado sob os critérios geotécnicos necessários para a sua adição ao montante utilizado, como estabelece a norma

DNIT-ES 108/2009 Em outros casos pode ocorrer a necessidade do uso de bota-fora, que é o local onde se deposita o acúmulo de materiais de escavação descartados devido à má qualidade, ao volume ou à excessiva distância de transporte. Geralmente são depositados fora da plataforma da rodovia, preferencialmente nos limites da faixa de domínio.

2.2. Serviços de Terraplenagem

Segundo Nichols e David (2010), a terraplenagem ou movimentos de terra pode ser entendida como o conjunto de operações necessárias para remover a terra dos locais em que se encontra em excesso para aqueles em que há falta, tendo em vista um determinado projeto a ser implantado. Todas as obras de engenharia civil, direta ou indiretamente, apoiam-se sobre o solo, muitas delas utilizam o próprio solo como elemento de construção, como edificações, barragens e diques e os aterros de estradas (LETURCQ, 2016; RAMIREZ e ZARATE, 2018). Segundo Marangon (2009), para que sejam asseguradas as condições de conforto, segurança e economia nos projetos de construção civil em geral, são necessárias além das propriedades geométricas do terreno, as investigações de natureza geológica e geotécnica da região onde se pretende construir. Souza (2014) define como as principais etapas de execução da terraplanagem, os serviços de investigação do solo e suas características, limpeza e preparação do terreno, cortes, aterro e compactação. A preparação do terreno a ser trabalhado é uma etapa indispensável e que antecede todos os serviços posteriores de movimentação de terra. Os serviços preliminares que consistem basicamente em ações que venham preparar o terreno, são detalhados por Abram e Souza (2000, 2014) conforme apresentado:

2.2.1 Preparação e limpeza do terreno

- Desmatamento: compreende a retirada de toda e qualquer vegetação de médio e grande porte que esteja contida no terreno a ser trabalhado. Nessa etapa são utilizados equipamentos específicos como serrotes, motosserras, escavadeiras, pás coletoras, pás carregadeiras, retroescavadeiras, tratores de esteira e caminhões de transporte.

- Destocamento: Remoção dos troncos e raízes presentes no terreno
- Limpeza: Remoção total da vegetação rasteira e resquícios que estejam presentes no local da obra.
- Remoção de camada vegetal: Se a camada for considerada banco genético, deve ser retirada e separada, pois não pode ser usada em aterros.

2.2.2 Escavação

Segundo Souza (2014), a etapa de corte é definida como o processo de escavação, aplicado com o intuito de romper a compacidade natural do solo através de equipamentos manuais e/ou mecânicos possibilitando o seu manuseio e trabalhabilidade. De acordo com Aldo (2017) Ao se planejar a escavação deve-se levar em conta o tipo de solo e de material que será escavado além da carga e transporte de resíduos, utilização de diferentes máquinas, tempo e grau de dificuldade para cada material. O custo do metro cúbico de escavação depende do grau de compacidade do material, pois quanto mais fácil for a atividade de remoção, mais barato será o custo de remoção

2.2.3 Aterro

A etapa de aterro consiste em acompanhar o trabalho de aterro no local, analisando o depósito da quantidade de terra ideal para que se atinja a altura adequada e almejada do projeto. Nos terrenos onde não existir material suficiente para o aterro será preciso fazer o serviço de empréstimo conforme o volume necessário para fazer o nivelamento, porém, esse material importado deverá ser avaliado sob os critérios geotécnicos necessários para a sua adição ao montante utilizado, como estabelece a norma DNIT-ES 108/2009.

2.2.4 Compactação

O processo de compactação de um solo nos serviços de terraplanagem tem como objetivo elevar através de procedimentos e equipamentos mecânicos o nível de densidade do solo, reduzindo sua porosidade que se dá quando ele

é submetido a um grande esforço e/ou pressão contínua. Os procedimentos e equipamentos a serem utilizados nessa etapa serão determinados de acordo como as características do solo onde se pretende trabalhar. O conhecimento prévio do teor adequado de umidade e o nível de densidade almejado são de suma importância para garantir qualidade e segurança durante a compactação. Todo o material que será utilizado na execução da etapa de aterro deve ser proveniente dos processos de escavação e cortes feitos na localidade da obra, já o material oriundo de empréstimos deverá ser avaliado sob os critérios geotécnicos necessários para a sua adição ao montante utilizado, como estabelece a norma DNIT-ES 108/2009. O grau de compactação do solo (GC) pode ser calculado pela relação: $GC = 100 D_s / D_{ref}$ onde D_s é a densidade atual do solo e D_{ref} é a densidade do mesmo solo em um estado de referência obtido em laboratório. O resultado é expresso em porcentagem. O teor de umidade pode ser obtido através de métodos geofísicos para estimar o conteúdo de água de um solo in situ. Esses métodos medem as propriedades geofísicas do meio poroso (permissividade, resistividade, etc.) para inferir o teor de água, e frequentemente exigem o uso de curvas de calibração. Os métodos mais utilizados são:

- A sonda TDR baseada no princípio da refletometria no domínio do tempo;
- A sonda de nêutrons;
- O sensor de frequência;
- Os eletrodos capacitivos;
- A tomografia por medição de resistividade;
- A ressonância magnética nuclear (RMN);
- A tomografia de nêutrons;
- A medição por reação química da água com carbureto de cálcio (Speedy test);
- Os vários métodos baseados na medição das propriedades físicas da água.

A adição de água no processo reduz a incidência dos espaços vazios, remanejando a distribuição das partículas até que atinja seu peso específico máximo e a umidade ótima.

2.2.5 Técnicas complementares

Essa última etapa consiste em acompanhar e aplicar o controle tecnológico nas possíveis técnicas complementares a serem utilizadas caso haja a necessidade, tais como:

- a) Troca de solo: Quando o local não possuir um solo adequado para a construção, poderá ser feita a troca de solo mediante a um estudo prévio das características do material importado.
- b) Drenagem: Em solos muito úmidos poderá ser feita a drenagem através de canais em locais estratégicos, facilitando o escoamento da água no terreno e extinguindo o excesso de umidade.
- c) Prevenção de erosão: Caso seja necessário poderão ser criadas curvas de nível de acordo com a inclinação e da extensão do terreno, com a finalidade de captar a água que escorre na terra evitando que ela ganhe velocidade e abra valas no solo.

2.3 Normas aplicadas na execução dos serviços de Terraplanagem

Todo projeto de terraplanagem deve sempre ser elaborado por profissionais qualificados e orientados pelas normas determinadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e também pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

A NBR 6484 (ABNT, 2001) aplica-se em sondagem para reconhecimento do solo tipo SPT. É Utilizada para a classificação tátil, visual dos solos de cada camada, e para detectar a existência ou não de lençóis freáticos e os níveis iniciais após o período de 24 horas.

A NBR 5681(ABNT, 2015) referente ao controle tecnológico da execução de aterros em obras de edificações, estabelece e delimita os requisitos mínimos para a obtenção e aplicação do controle tecnológico na execução de aterros em obras de construção civil.

A NBR 6497(ABNT, 1983) tem como objetivo apresentar as condições gerais a serem obedecidas no levantamento geotécnico para projetos de engenharia civil.

A NBR 11682(ABNT, 2009) apresenta as exigências quanto aos requisitos para o estudo tecnológico da estabilidade de encostas e taludes resultantes de corte e aterro. Utilizada também em estudos, projetos,

execução, controle e acompanhamento de obras de estabilização. Porém não se aplica podendo ser em obras de mineração, barragens, aterros de solos moles e encontro de pontes.

A norma do DNIT 001/2009 delimita as condições mínimas exigidas na execução de plataformas em aterros, mediante ao depósito de materiais sobre o terreno natural.

2.4 Equipamentos de terraplenagem e compactação

No início da execução de qualquer projeto de construção civil existe a necessidade de se preparar o terreno, fazendo a remoção da camada vegetal e entulhos e nivelando o solo, para que as etapas seguintes ocorram de forma adequada. Para isso são necessários equipamentos específicos e adaptados, utilizados, antes e durante o processo de compactação do solo.

2.4.1 Trator esteira

Segundo Ricardo (2007) Esse equipamento é geralmente utilizado em todas as fases dos serviços de terraplenagem. Muito utilizado em situações onde existe corte e aterro ao mesmo tempo (secção mista). Pois ao mesmo tempo em que a máquina faz a plataforma onde se pretende trabalhar o mesmo vai compactando a área por consequência de suas sucessivas passadas pelas esteiras.

FIGURA 1: TRATOR ESTEIRA



FONT: Deere Web – 2014

2.4.2 Escavadeira hidráulica

Segundo Oliveira (2014) Esse equipamento é capaz de remover diversos tipos de solos, inclusive solos moles, saturados de água e com a presença de matéria orgânica. Esses tipos de solos apresentam baixa capacidade de suporte à ação de cargas e impedem o tráfego de equipamentos comuns, até mesmo o trator esteira. Podendo ser retirados somente com esse equipamento capaz de escavar a distância e até a profundidade de alguns metros.

FIGURA 2: ESCAVADEIRA HIDRÁULICA



FONTE: Deere Web – 2014

2.4.3 Moto niveladora

Equipamento utilizado no acabamento da terraplenagem. Geralmente utilizado na execução de trabalhos simples, como em regularização de camadas de terra a serem compactadas, do material, e também para cortes superficiais para atenderem a cotas determinadas pela topografia. Por possuir a facilidade de ajuste de posição de sua lâmina é capaz de executar essas atividades através das sucessivas passadas pelo terreno trabalhado. Possui escarificadores e são utilizados em terrenos com alto nível de compactação (natural ou mecanizado), vencendo a resistência ao corte e prosseguindo a sua remoção com a lâmina. (RICARDO, 2007)

FIGURA 3: MOTO NIVELADORA



FONTE: Deere Web - 2014

2.4.4 Pá carregadeira de pneu

Segundo Oliveira (2014) Esse equipamento opera apenas em terrenos firmes, com baixos índices de umidade, limitando suas aplicações ao corte e carga de materiais de fácil desagregação, ou já desagregados como: areia, pedregulhos, cascalhos, brita, rochas fraturadas, entre outros.

FIGURA 4: PÁ CARREGADEIRA DE PNEU



FONTE: Deere Web - 2014

2.4.5 Placas Vibratórias e Placas Vibratórias Reversíveis.

De acordo com Silva (2008), Placas vibratórias são equipamentos desenvolvidos para compactar solos granulares e asfalto. Possuem motor a gasolina ou diesel e acionam um ou dois pesos excêntricos a uma velocidade alta para desenvolver força de compactação. Seus movimentos para frente são gerados através das vibrações resultantes. A máquina e os punhos não sofrem interferência das vibrações geradas pela placa. A força de compactação gerada é proporcional à categoria de peso da placa, possui um reservatório de água e um sistema de irrigação que impede a aderência do asfalto à placa base.

FIGURA 5: PLACAS VIBRATÓRIAS



FONTE: Elevasul Web- 2014

2.4.6 Compactadores de rolos pé-de-carneiro

Segundo Magalhães (2012) Esse equipamento é de alta eficiência e possibilita um nível maior de encaixe entre as camadas, funcionando como uma espécie de sistema macho/fêmea, onde as cavidades deixadas pelo pé de carneiro são preenchidas com a camada de solo subsequente, criando uma conexão bem firme entre as partículas e de camada para camada.

FIGURA 6: COMPACTADOR DE ROLO PÉ-DE-CARNEIRO



FONTE: Portal do Governo - 2013

2.4.7 Rolo Estático Liso

Equipamento pesado de três rodas onde as duas rodas traseiras funcionam como tração e o rolo dianteiro como direção. Geralmente utilizado na camada de revestimento ou acabamento de estradas. Possui cilindro oco preenchido com material de densidade elevada como água ou areia úmida para permitir maior pressão de contato. Este equipamento pode chegar a pesar até 14 toneladas, das quais nove pertencem apenas ao rolo (MAGALHÃES, 2012).

FIGURA 7: COMPACTADOR ESTÁTICO LISO



FONTE: J. Nassif - 2021

2.4.8 Rolo Pneumático

Segundo Silva (2012) Estes equipamentos possuem de 7 a 11 pneus e com alinhamento nas rodas dianteiras e traseiras. Seu rolo é de natureza estática, a força de compactação é modificada pela variação de peso no lastro, podendo ser na forma de água ou areia, variando de 10 a 35 toneladas. O esforço de compactação é por pressão e amassamento, principalmente com rolo de acabamento asfáltico.

FIGURA 8: ROLO PNEUMÁTICO



FONTE: Sany Web - 2008

2.4.9 Caminhão Pipa

Trata-se de um caminhão com a capacidade de transportar água em grande quantidade. Geralmente utilizado em serviços de terraplenagem. Auxiliando no controle do nível de umidade do solo, podendo ser utilizado também no serviço de limpeza de vias.

FIGURA 9: CAMINHÃO PIPA



FONTE: Enio transportes - 2019

Alguns equipamentos menores e de uso geral podem ser utilizados para facilitar o trabalho de equipamentos específicos em uma mesma etapa, caso haja a necessidade, como no caso da utilização de motosserras e serrotes, na remoção de vegetações de médio e/ou grande porte, presentes no terreno a ser trabalhado.

3. Metodologia

Quanto aos fins, esta pesquisa se classifica como aplicada, pois tem como objetivo gerar conhecimento para aplicações práticas de um método de planejamento que utiliza de um controle tecnológico como ferramenta na solução da problemática anteriormente citada.

Segundo Gil (2002), uma pesquisa aplicada apresenta muitos pontos de contato com a pesquisa em seu estado puro e tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos.

Essa pesquisa foi realizada de forma qualitativa, seguindo os protocolos e métodos padronizados para esse tipo de revisão, que segundo Gil (2007) preocupa-se em identificar os fatores que determinam e/ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos.

Quanto aos meios, a pesquisa se classificou como bibliográfica, uma vez que para o seu desenvolvimento e definição metodológica, foi realizada uma

revisão bibliográfica e documental, onde se pesquisou artigos, dissertações, normas técnicas, autores de referência e documentos dos últimos vinte anos nas seguintes bases de dados: Google acadêmico, SciELO e periódico Capes.

Segundo Lakatos e Marconi (2002), os dados qualitativos trazem informações que se preocupam em descrever um objeto, utilizando diversos meios para demonstrar sua qualidade. Uma pesquisa que apresenta esse tipo de dados é menos estruturada, porém, busca um tema para obter suas informações e motivações. O tratamento dos dados qualitativos deste trabalho foi executado por meio de relatório em que explanaram os resultados obtidos através desta metodologia. Sendo assim, foram abordadas e explicadas todas as etapas do serviço de regularização do subleito, desde os serviços de terraplenagem, o levantamento de informações acerca da classificação dos materiais escavados, a descrição dos principais serviços de terraplenagem em conformidade com suas respectivas normas, assim como o detalhamento dos principais equipamentos responsáveis pelas frentes de serviço em campo. Também foi possível reiterar a importância da aplicação do controle tecnológico a fim de verificar a existência de inconsistências e falhas de execução do projeto, possibilitando assim identificar e corrigir situações capazes de gerar defeitos futuros no pavimento das rodovias. Os dados levantados nesta pesquisa demonstraram o surgimento de defeitos no pavimento das rodovias, oriundos de falhas na execução dos processos envolvidos na regularização do subleito, causados pela inadequação e/ou a inexistência de um controle tecnológico durante as etapas que compreendem a totalidade desse trabalho. Dessa forma o trabalho buscou demonstrar e enfatizar a importância de se aplicar adequadamente um controle tecnológico em cada uma das etapas e processos que compreendem o serviço de regularização do subleito, a fim de mitigar as causas do surgimento de defeitos futuros no pavimento das rodovias.

4. Resultados obtidos

A regularização do subleito é indispensável para garantir uma boa conformidade e capacidade de suporte ao mesmo, gerando assim, economia em um projeto de pavimentação, diminuindo a espessura das camadas subsequentes e evitando o surgimento de defeitos futuros no pavimento. Segundo a norma DNIT 137/2010, entende-se como regularização do subleito

a operação destinada a conformar o leito estradal, transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas constantes das notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto, compreendendo cortes e/ou aterros e compactação, de modo a garantir uma densificação homogênea nos 20 cm finais de compactação. Para que esse conjunto de operações seja executado com segurança e qualidade, se faz necessário o controle tecnológico em cada uma das etapas que englobam esse serviço. Seguindo sempre as recomendações da norma DNIT 137/2010, esta que caracteriza os parâmetros das condições gerais e específicas, das inspeções e seus ensaios geotécnicos, das verificações do produto e dos planos de amostragem.

4.1 Condições gerais e específicas segundo a norma DNIT 137/2010

- a) A regularização deve ser executada prévia e isoladamente da construção de outra camada do pavimento.
- b) Cortes e aterros com espessuras superiores a 20 cm devem ser executados previamente à execução da regularização do subleito, de acordo com as especificações de terraplenagem DNIT 105/2009- ES, DNIT 106/2009-ES, DNIT 107/2009-ES e DNIT 108/2009-ES.
- c) Não deve ser permitida a execução dos serviços objeto desta Norma em dias de chuva.
- d) É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do tráfego e de outros agentes que possam danificá-los.

Em relação aos materiais, determina-se que ao serem empregados na regularização do subleito devem ser preferencialmente retirados do mesmo local. Em caso de substituição ou adição de material, estes devem ser provenientes de ocorrências de materiais indicadas no projeto e apresentar as características estabelecidas de acordo com as especificações da Norma DNIT 108/2009-ES. Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço, quais sejam, a melhor capacidade de suporte e expansão $\leq 2\%$, cabendo a determinação da compactação de CBR e de expansão, pertinentes, por intermédio dos seguintes ensaios:

- Ensaio de Compactação – Norma DNER-ME 129/94, na energia definida no projeto;
- Ensaio de índice de Suporte Califórnia – ISC – Norma DNER-ME 49/94, com a energia do Ensaio de Compactação. Quando submetidos aos ensaios de caracterização DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94, devem atender ao que se segue:
 - Não possuir partículas com diâmetro máximo acima de 76 mm (3 polegadas);
 - O Índice de Grupo (IG) deve ser no máximo igual ao do subleito indicado no projeto.

Em relação aos equipamentos são indicados na referida norma os seguintes tipos para a execução de regularização:

- a) Motoniveladora pesada, com escarificador;
- b) Carro tanque distribuidor de água (Caminhão Pipa);
- c) Rolos compactadores autopropulsados tipos pé-de-carneiro, liso-vibratórios e pneumáticos;
- d) Grades de discos, arados de discos e tratores de pneus;
- e) Pulvi-misturador.

Os equipamentos de compactação e mistura devem ser escolhidos de acordo com o tipo de material empregado.

Em relação á execução a Norma DNIT 137/2010 determina que:

- a) Toda a vegetação e material orgânico porventura existentes no leito da rodovia devem ser removidos.
- b) Após a execução de cortes, aterros e adição do material necessário para atingir o greide de projeto, deve-se proceder à escarificação geral na profundidade de 20 cm, seguida de pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento.
- c) No caso de cortes em rocha a regularização deve ser executada de acordo com o projeto específico de cada caso.

4.2 Ensaio geotécnicos de inspeção (controle de insumos e execução)

Ensaio de caracterização

A caracterização de solos se descreve como a quantitativa das propriedades do solo, utilizadas na determinação das relações de tensão, deformação e granulometria do solo, de modo a estabelecer e dimensionar com maior segurança, determinadas obras de engenharia, e evitar desastres geotécnicos. Segundo E.L Pastore e R.M. Fontes (1998), as descrições realizadas em cortes ou exposições dos solos, por escavações e em sondagens, aliadas aos ensaios “In situ” e de laboratório, permitem elaborar de forma bastante complexa, mapas e seções apresentando os grupos de solos classificados quanto à gênese e ao comportamento geotécnico esperado. Esse tipo de ensaio é normatizado inicialmente pela norma NBR 6457(ABNT, 1986). Dentre os ensaios de caracterização do solo, os mais comuns são:

Limite de Liquidez: O ensaio é determinado pela NBR 6459 – ABNT – “Solo – Determinação do Limite de Liquidez”. O limite de Liquidez é o teor de umidade do solo com que se unem, em um centímetro de comprimento, as bordas inferiores de uma canelura feita em uma massa de solo colocada na concha de um aparelho normalizado (Aparelho de Casagrande), sob a ação de 25 golpes da concha sobre a base desse aparelho. O Limite de liquidez marca a transição do estado plástico ao estado líquido.

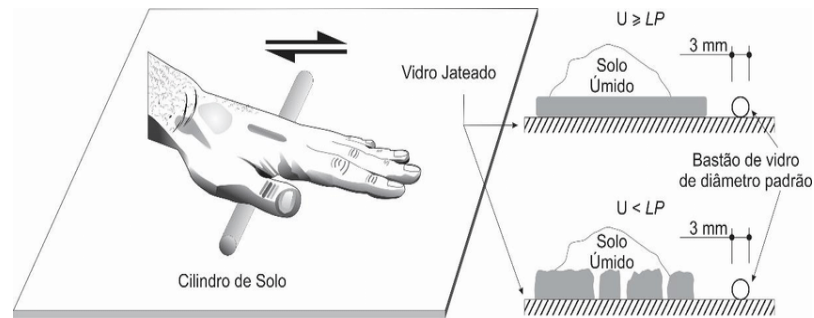
FIGURA 10: APARELHO DE CASA GRANDE – LIMITE DE LIQUIDEZ



Fonte: Zlit Laboratórios Web

Limite de Plasticidade: O ensaio é determinado pela ABNT NBR 7180-84 – “Solo – Determinação do Limite de Plasticidade – Método de ensaio” e pela ME 082/94 (DNER/DNIT). Esse ensaio regulamenta o cálculo do teor de umidade para o qual o solo começa a se fraturar quando se tenta moldá-lo na forma de uma amostra cilíndrica de 3 mm de diâmetro.

FIGURA 11: ENSAIO LIMITE DE PLASTICIDADE.



Fonte: Research Gate Web - 2019

Granulometria: O ensaio é determinado pela ABNT NBR 7181/2016 – “Solo – Análise Granulométrica de”. A granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, tão importante para a classificação dos solos bem como a estimativa de parâmetros para filtros, bases estabilizadas, permeabilidade, capilaridade etc. A determinação da granulometria de um solo pode ser feita apenas por peneiramento ou por peneiramento e sedimentação, com ou sem defloculante, se necessário.

FIGURA 12: Ensaio de granulometria



Fonte: Weinberger Web - 2022

Ensaio de Compactação

Em um ensaio de compactação é possível obter a correlação entre o teor de umidade e o peso específico seco de um solo quando compactado com determinada energia. Segundo Massad (2003), existem vários tipos de ensaios de compactação, realizados em campo e/ou em laboratório, como por exemplo, o ensaio de Proctor, que é realizado através de sucessivos impactos de soquete padronizado em uma amostra. Esse tipo de ensaio possui e subtipos os quais são: Normal, Modificado e Intermediário.

- Ensaio de Proctor Normal: recomendado para a obtenção do valor da umidade ótima para obras de terra de pequeno porte e que serão compactadas por equipamentos leves;
- Ensaio de Proctor Modificado: recomendado para a obtenção do valor da umidade ótima para obras de terra de grande porte e que serão compactadas por equipamentos pesados;
- Ensaio de Proctor Intermediário: recomendado para a obtenção do valor da umidade ótima para obras de terra compactada e equipamentos de médio porte.

No Brasil, este ensaio é normatizado pelas normas NBR-7182(ABNT, 2016) e DNERM162/94.

FIGURA 13: ENSAIO DE COMPACTAÇÃO



Fonte: Igeológico Web - 2016

Índice de suporte Califórnia

O Ensaio de Suporte Califórnia tem como objetivo medir a capacidade de expansão de um solo saturado sob um pavimento. Indicando possíveis perdas de resistência do solo devido à saturação. O Índice de Suporte Califórnia (CBR) determina a pressão necessária para a penetração de um pistão no material testado, assim como, a pressão necessária para a penetração em uma mistura de brita estabilizada granulometricamente. O resultado desse ensaio tem a capacidade de prevenir problemas oriundos de um solo de baixa qualidade, além de fissuras e recalques. Esse tipo de ensaio é normatizado pela NBR 9895 (ABNT, 1987).

FIGURA 14: EQUIPAMENTO PARA ENSAIO DE I.S.C.



Fonte: Igeológico Web – 2016

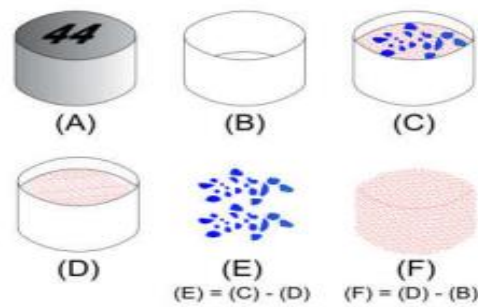
Ensaio de umidade higroscópica

Segundo Caputo (1977), O teor de umidade é definido como sendo a relação entre o peso da água existente no solo e o peso seco das partículas sólidas do solo, ou seja, pode ser calculado dividindo-se a massa da água contida na amostra de solo pela massa seca das partículas sólidas do solo, sendo expresso em porcentagem. Esse tipo de ensaio é normatizado pela norma NBR 6457(ABNT, 2016). Existem alguns métodos de ensaios capazes de medir o teor de umidade de um solo, dentre eles os mais comuns são:

- Método da estufa: É o método tradicional e com maior precisão, sua determinação é muito simples: basta determinar a massa da

amostra no seu estado natural e a massa após completa secagem em estufa a 105°C até 110°C. Essa metodologia apresenta vantagem em relação às demais, porque apresenta resultados confiáveis, porém traz como inconveniente, o tempo excessivo para obtenção desse índice físico (UDESC - 2018).

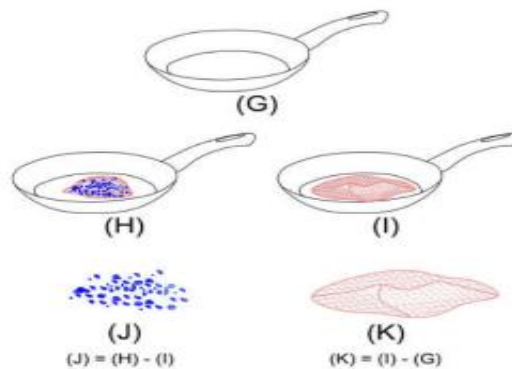
FIGURA15: REPRESENTAÇÃO DO MÉTODO DA ESTUFA



Fonte: LGP / UDESC - 2018

- Método da frigideira: O método da frigideira é um método simples, prático e rápido de se obter a umidade do solo em termos de massa. Procedimento este que consiste em secar uma determinada amostra de solo em uma frigideira por meio de um fogareiro. A principal vantagem do método é a significativa redução no tempo de secagem e possibilidade de ser empregado diretamente no campo (UDESC - 2018).

FIGURA 16: REPRESENTAÇÃO DO MÉTODO DA FRIGIDEIRA



Fonte: LGP / UDESC - 2018

- Método Speedy: Na aplicação deste método, é necessário consultar: DNER-ME 052/94 – Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do "Speedy". O procedimento visa determinar o teor de umidade de solos e agregados miúdos pelo uso em mistura com carbureto de cálcio, colocada em dispositivo medidor de pressão de gás, denominado "Speedy". O "Speedy" é um aparelho patenteado a nível mundial e que se destina à determinação rápida do teor de umidade e já está incorporado à tecnologia brasileira. O princípio de funcionamento do método é a reação da água com o carbureto de cálcio (CaC_2) que, colocado em uma amostra, em ambiente fechado, reage com a água existente na amostra produzindo gás acetileno. Como a amostra se encontra num recipiente hermeticamente fechado, a formação de gás acetileno provocará aumento na pressão interna do recipiente. A pressão é lida em um manômetro e é diretamente proporcional ao conteúdo de água na amostra de solo (UDESC - 2018).

FIGURA 17: REPRESENTAÇÃO DO APARELHO SPEEDY (ENSAIO)



Ensaio de massa específica aparente seca “in situ”.

A Massa específica aparente seca é a massa específica de um solo seco determinada pelo seu correspondente volume deslocado de água e pode ser obtida pela razão entre a massa de um solo seco e o respectivo volume total. Pode ser determinada em campo (“In situ”) pelo método do frasco de areia.

- Método do frasco de areia: No ensaio, primeiramente é necessário que se pese o frasco com areia de densidade conhecida em seu interior, em seguida posiciona-se a bandeja com orifício no centro no solo e limpa-a. Com a marreta e a talhadeira, faz-se um furo no solo com mesmo diâmetro e profundidade de aproximadamente 15 cm, recolhendo-se o solo retirado na escavação do furo, pesando-o e determinando seu teor de umidade com o aparelho Speedy ou outro método de determinação de umidade “in situ”, o que permitirá obter a massa do solo seco.

Esse tipo de ensaio é normatizado pela norma NBR 7185(ABNT, 1986).

FIGURA 18: MÉTODO DO FRASCO DE AREIA



Fonte: Torres Geotecnia Web - 2017

4.3 Recomendações normativas de inspeção segundo a norma DNIT 137/2010.

- a) Controle dos Insumos: Os materiais utilizados na execução da regularização do subleito devem ser rotineiramente examinados mediante a execução dos procedimentos descritos na tabela seguinte

TABELA 1 – Métodos de controle de compactação de camadas de aterro e regularização do subleito (Controle de Insumos)

Ensaio	DNIT 137/2010
Caracterização	Ensaio de caracterização do material espalhado na pista, em locais escolhidos aleatoriamente. Deve ser coletada uma amostra, para cada 200 m de pista ou por jornada diária de trabalho. A frequência destes ensaios pode ser reduzida, a critério da Fiscalização, para uma amostra por segmento de 400 m de extensão, no caso de materiais homogêneos.
Compactação	Ensaio de compactação pelo método DNER-ME 129/94, para o material coletado na pista, em locais escolhidos aleatoriamente. Deve ser coletada uma amostra para cada 200 m de pista ou jornada diária de trabalho. A frequência destes ensaios pode ser reduzida a critério da Fiscalização, para uma amostra por segmento de 400 m de extensão, no caso de materiais homogêneos.
Índice de Suporte Califórnia	Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão, pelo método DNER-ME 049/94, com energia de compactação, para o material coletado na pista, a cada 400 m em locais escolhidos aleatoriamente, onde foram retiradas amostras para o ensaio de compactação. A frequência destes ensaios pode ser reduzida, a critério da Fiscalização, NORMA DNIT 137/2010-ES para uma amostra a cada 800 m de extensão, no caso de materiais homogêneos.

- b) Controle de execução: O controle da execução da regularização do subleito deve ser exercido mediante a coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória, de acordo com o Plano de Amostragem Variável. Devem ser efetuados as determinações e ensaios descritos na seguinte tabela:

TABELA 2 – Métodos de controle de compactação de camadas de aterro e regularização do subleito (Execução)

Ensaio	DNIT 137/2010
Ensaio de umidade higroscópica	Para cada 100 m de pista a ser compactada, em locais escolhidos aleatoriamente. A tolerância admitida para a umidade higroscópica deve ser de $\pm 2\%$ em relação à umidade ótima.
Ensaio de massa específica aparente seca “in situ”.	Para pistas de extensão limitada, com volumes de, no máximo, 1.250 m ³ de material, devem ser feitas, pelo menos, cinco determinações para o cálculo de grau de compactação (GC).

2.5.5 Verificação do produto segundo a norma DNIT 137/2010

A verificação final da qualidade da camada de regularização do subleito (Produto) deve ser exercida através das determinações executadas de acordo com o Plano de Amostragem Variável. Após a execução da regularização do subleito, deve-se proceder ao controle geométrico, mediante a relocação e o nivelamento do eixo e das bordas, permitindo-se as seguintes tolerâncias:

- a) ± 10 cm, quanto à largura da plataforma;
- b) até 20%, em excesso, para a flecha de abaulamento, não se tolerando falta;
- c) ± 3 cm em relação às cotas do greide do projeto.

2.5.6 Plano de amostragem – Controle tecnológico segundo a norma DNIT 137/2010

O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico da execução e do produto devem ser estabelecidos segundo um Plano de Amostragem aprovado pela

Fiscalização, elaborado de acordo com os preceitos da Norma DNER-PRO 277/97. O tamanho das amostras deve ser documentado e previamente informado à Fiscalização.

2.7 Especificações de serviços para consulta contidas na norma DNIT 137/210

DNIT 105-ES: Terraplenagem – Caminhos de serviço – Especificação de serviço. Rio de Janeiro:

IPR.

DNIT 106-ES: Terraplenagem – Cortes – especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR.

DNIT 107-ES: Terraplenagem – Empréstimos – Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR.

DNIT 108-ES: Terraplenagem – Aterros – Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR

5. Considerações finais

Mediante os graves problemas de infraestrutura enfrentados pelo sistema rodoviário brasileiro, que segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT) usufrui apenas de 12,4% da malha rodoviária asfaltada e em sua maioria de pistas simples, e com mais da metade delas classificadas como regulares, ruins, ou péssimas, entende-se que é de uma importância a aplicação de medidas em caráter de urgência com a finalidade de se resolver essa problemática.

Sendo assim, reitera-se a necessidade da implementação e/ou conclusão de projetos que visam adequar e devolver as condições ideais do pavimento, através de serviços como a regularização do subleito, nos principais pontos críticos e estratégicos da malha rodoviária nacional.

Dessa forma, através de uma pesquisa bibliográfica e documental, foi possível abordar e detalhar de forma clara e coerente as informações necessárias para a compreensão dos recursos e processos envolvidos no controle tecnológico da regularização do subleito, segundo recomendações da DNIT 137/2010, cuidados fundamentais para a garantia da qualidade do pavimento de rodovias e na prevenção de defeitos futuros.

Desse modo, conclui-se que o presente trabalho cumpriu com seu objetivo, ao fornecer informações diretas e categóricas a respeito dos principais recursos e processos que englobam o controle tecnológico da regularização do subleito. Possibilitando o desenvolvimento e a ampliação de pesquisas e trabalhos futuros e contribuindo para o enriquecimento da literatura voltada para essa temática.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAM, *Manual Prático de Terraplenagem*, 1ªed., Salvador/BA, 2000.

ALDO, *Artigos técnicos, materiais de 1ª, 2ª e 3ª categorias*. 2017. Disponível em: <<https://www.poenarco.com.br/2017/04/07/material-de-1a-2a-e-3a-categorias/>> Pesquisar (Google.com) > Acesso em 17/10/2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5681 (ABNT, 2015) - Controle tecnológico da execução de aterros em obras de edificações. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 6457 (ABNT, 2016) - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 6459 (ABNT, 1984) – Determinação do Limite de liquidez. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6484 (ABNT, 2001) - Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6497 (ABNT, 1983) - Levantamento geotécnico. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7180 (ABNT, 1984) – Determinação do Limite de Plasticidade. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).NBR 7181
(ABNT, 1984) – Análise granulométrica – Método de ensaio. Brasil. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).NBR 7182
(ABNT, 1986) - Ensaio de compactação – Método de ensaio. Brasil. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).NBR 7185
(ABNT, 1986) – Determinação de Massa específica Aparente "in Situ", com
emprego do Frasco de Areia. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 9895
(ABNT, 1987) – Índice de Suporte Califórnia – Requisitos gerais. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR11682
(ABNT, 2009) – Estabilidade de Taludes. 2009.

CAPUTO, Homero Pinto. *Mecânica dos Solos. Volume I*, Rio de Janeiro:
Editora Livros Técnicos e Científicos S.S., 1975.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT) – 21ª Pesquisa CNT
de Rodovias – 2017

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER)
NORMA DNER – ME 049/94 - Solos - Determinação do Índice de Suporte
Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER)
NORMA DNER – ME 052/94 - Solos e agregados miúdos - Determinação da
umidade com emprego do "Speedy". 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER)
NORMA DNER – ME 080/94 - Solos - Análise granulométrica por
peneiramento. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER)
NORMA DNER – ME 082/94 - Solos - Determinação do limite de plasticidade.
1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER)
NORMA DNER – ME 122/94 - Solos- Determinação do limite de liquidez -
Método de referência e método expedito. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER)
NORMA DNER – ME 129/94 - Solos - Compactação utilizado amostras não
trabalhadas. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER)
NORMA DNER – ME 277/97 - Metodologia para controle estatístico de obras e
serviços. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
(DNIT) NORMA DNIT 05-ES: Terraplenagem – Caminhos de serviço –
Especificação de serviço. Rio de Janeiro: IPR. 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
(DNIT) NORMA DNIT 106-ES: Terraplenagem – Cortes – especificação de
serviço. Rio de Janeiro: IPR. 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
(DNIT) NORMA 107-ES: Terraplenagem – Empréstimos – Especificação de
serviço. Rio de Janeiro: IPR. 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
(DNIT) NORMA 108/2009 – ES - Terraplenagem - Aterros - Especificação de
Serviço. 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
(DNIT) NORMA 137/2010 – ES - Pavimentação – Regularização do subleito -
Especificação de serviço. 2010.

E.L PASTORE e R.M. FONTES. *Classificação e caracterização dos solos*.
1998.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2002.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. *Metodologia científica*. São Paulo: Atlas, 1999.

LETURCQ, G. *Differences and similarities in Impacts of Hydroelectric dams between north and south of Brazil*. 2018.

MAGALHÃES, FELIPE MOREIRA DE. *Influência dos equipamentos no processo de compactação em solos na cidade de Mossoró*. Mossoró 2012.

MARANGON, M. *Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra*. 2009. Disponível em: < http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid02.1GeotFund-AterroSolosMoles.pdf>. Acesso em: 15/10/2022.

MASSAD, Faíçal. *Obras de Terra-Curso Básico de Geotécnica*. Editora Oficina de Textos, 2003.

NICHOLS, & DAVID, Day, *Moving the Earth: The workbook of excavation*, 6th .ed. - McGraw-Hill Professional, 2010.

OLIVEIRA, MIRELLY SOUZA PEREIRA DE, *Análise do controle de compactação "In Situ"*, Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário do Vale do Ipojuca – UNIFAVIP, 2014.

RAMIREZ, T.; ZARATE, C. *Uma análise dos problemas socioambientais criados pela construção de túneis rodoviários na Colômbia: estudo de caso*. 2018.

RICARDO, Hélio de Souza; CATALANI, Guilherme. *Manual Prático de Escavação. Terraplenagem e Escavação de Rocha*. 3ªed. Editora PINI. 2007.

SILVA, Leonardo Rodrigues Eiras. *"Compactação do Solo"*. Monografia defendida e aprovada na Universidade São Francisco, 2008.

SOUZA, F. B. R. *Controle Tecnológico Aplicado a obras de Terraplenagem*. 2014. 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

UDESC. *Práticas de laboratório – Mecânica dos solos e Fundações* . 2018