

CENTRO UNIVERSITÁRIO FACVEST – UNIFACVEST
ENGENHARIA CIVIL

HERLON BORTOLI

**VIABILIDADE DO REFORÇO DO SUBLEITO EM FAIXAS ADICIONAIS E
APRESENTAÇÃO DO DENSÍMETRO PARA ANÁLISE DE COMPACTAÇÃO E
DENSIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LAGES

2020

HERLON BORTOLI

**VIABILIDADE DO REFORÇO DO SUBLEITO EM FAIXAS ADICIONAIS E
APRESENTAÇÃO DO DENSIMETRO PARA ANÁLISE DE COMPACTAÇÃO E
DENSIDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIFACVEST como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Ms. Aldori Batista dos Anjos

Lages
2020

VIABILIDADE DO REFORÇO DO SUBLEITO EM FAIXAS ADICIONAIS E APRESENTAÇÃO DO DENSÍMETRO PARA ANÁLISE DE COMPACTAÇÃO E DENSIDADE

Herlon Bortoli¹

RESUMO

O presente trabalho apresenta a importância do uso do densímetro e subleitos em faixas adicionais onde o fluxo de veículos pesados é maior e requer uma estrutura que os dê suporte. Este tema é ainda pouco debatido, apesar de ser de extrema importância para a estrutura da pavimentação asfáltica. Por estar trabalhando na área, percebo a necessidade de apresentar este método e como é feito a análise do pavimento, já que o densímetro é uma inovação para o mercado e apresenta bons resultados além de facilitar os trabalhos desenvolvidos em laboratório. A pesquisa tem como objetivo geral avaliar a importância do densímetro na pavimentação asfáltica em camadas de subleito. Especificamente o trabalho buscará entender o processo de pavimentação, compreender a importância do densímetro e analisar as vantagens do densímetro para a execução de obras de subleito e pavimentação. O método parte a partir de uma revisão bibliográfica, e se qualifica como uma pesquisa qualitativa, pois os aspectos conceituais sobrepõem números. Com o avanço da tecnologia, hoje pode-se contar com o Densímetro Elétrico, recurso que vem sendo bastante utilizado na verificação da densidade em obras de pavimentação. Ele utiliza diversas séries de medições elétricas do solo com o objetivo de inferir a baridade e o teor de água presente no solo. Portanto, atualmente, o uso do densímetro elétrico em obras de pavimentação é mais eficaz, pois auxilia na certeza de que a construção realizada pode ter maior qualidade, podendo, assim, prever e solucionar ainda em fase de finalização possíveis problemas que possam ocorrer com o asfalto.

Palavras-chave: Pavimentação; Densímetro; Subleito.

¹ Graduando em Bacharel em Engenharia Civil – UNIFACVEST. E-mail: herlonbortoli@gmail.com

FEASIBILITY OF REINFORCING THE SUBLEITE IN ADDITIONAL TRACKS AND PRESENTING THE DENSIMETER FOR ANALYSIS OF COMPACTION AND DENSITY

Herlon Bortoli²

ABSTRACT

The present work presents the importance of using the densimeter and subgrade in additional lanes where the flow of heavy vehicles is greater and requires a structure that supports them. This topic is still little debated, despite being extremely important for the structure of the asphalt pavement. As I am working in the area, I realize the need to present this method and how the analysis of the pavement is done, since the densimeter is an innovation for the market and presents good results in addition to facilitating the work developed in the laboratory. The research has as general objective to evaluate the importance of the densimeter in the asphalt pavement in layers of subgrade. Specifically, the work will seek to understand the paving process, understand the importance of the densimeter and analyze the advantages of the densimeter for the execution of subgrade and paving works. The method starts from a bibliographic review, and qualifies as a qualitative research, since the conceptual aspects overlap with numbers. With the advancement of technology, today we can count on the Electric Densimeter, a feature that has been widely used in the verification of density in paving works. It uses several series of electrical measurements of the soil in order to infer the barity and the water content present in the soil. Therefore, currently, the use of the electric densimeter in paving works is more effective, as it assists in the certainty that the construction carried out can have higher quality, thus being able to predict and solve possible problems that may occur with the asphalt.

Keywords: Paving; Hydrometer; Subgrade.

² Graduando em Bacharel em Engenharia Civil – UNIFACVEST. E-mail: herlonbortoli@gmail.com

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CA – Concreto Asfáltico

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

DE – Densímetro Elétrico

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ISC - Índice de Suporte Califórnia

NBR - Normas Brasileiras

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estruturas de pavimentos	12
Figura 2 – Sistema de camadas de um pavimento de tensões solicitantes.	13
Figura 3 – Reforço do Subleito feito com Pedra detonada.....	14
Figura 4 – Reforço do subleito feito com Rachão	14
Figura 5 – Preparo do Subleito	15
Figura 6 – Escavação para reforço do subleito.....	15
Figura 7 – Reforço do subleito e diferença da estrutura do pavimento antigo.....	16
Figura 8 – Viga Benkelman no Reforço do Subleito	16
Figura 9 - Viga Benkelman na medição do limite de deflexão	17
Figura 10 – Cálculo da Viga Benkelman	18
Figura 11 – Densímetro de Boyle.....	19
Figura 12 – Análise da camada de CBUQ com densímetro	20
Figura 13 – Dois exemplos de densímetro	21
Figura 14 – Densímetro Elétrico durante um ensaio	21
Figura 15 – Métodos mais utilizados para medir a densidade.....	22
Figura 16 – Determinação dos pontos de ensaio	23
Figura 17 – Cálculo de offset	24
Figura 18 – Corpo de prova, leitura com densímetro	24
Figura 19 – Resultado das leituras do densímetro	25
Figura 20 – Ciclo da vida do pavimento.....	26
Figura 21 – Ciclo de vida com ações de preservação do pavimento asfáltico	28
Figura 22 – Relação entre as ações do homem e os impactos ambientais.....	30

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	8
1. PAVIMENTAÇÃO	9
1.1 TIPOS DE PAVIMENTO	10
1.2 ESTRUTURA DO PAVIMENTO.....	11
1.2 SUBLEITO	13
2. DENSÍMETRO	19
2.1 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO DENSÍMETRO.....	19
2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO DENSÍMETRO	20
2.3 A IMPORTÂNCIA DA DENSIDADE	22
3. SUSTENTABILIDADE	26
3.1 PAVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	26
3.2 PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS	27
4. IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE	30
CONCLUSÃO.....	33
REFERÊNCIAS	34

INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta a importância do uso do densímetro e subleitos em faixas adicionais onde o fluxo de veículos pesados é maior e requer uma estrutura que os dê suporte.

Este tema é ainda pouco debatido, apesar de ser de extrema importância para a estrutura da pavimentação asfáltica. Por estar trabalhando na área, percebo a necessidade de apresentar este método e como é feito a análise do pavimento, já que o densímetro é uma inovação para o mercado e apresenta bons resultados além de facilitar os trabalhos desenvolvidos em laboratório.

Faz-se necessário iniciar, neste primeiro momento, um levantamento topográfico da área analisando as características planimétricas e altimétricas para determinar as condições do relevo existente do local para executar tais obras. Através do levantamento topográfico faz-se a sondagem do solo para analisar o tipo e a qualidade do solo que possui no local e assim fazer o projeto da obra.

O reforço do subleito é uma camada de espessura constante posta devido às circunstâncias técnico-econômicas acima da regularização para que possa receber os esforços transmitidos de outras camadas.

Uma inovação do mercado na área de pavimentação é o densímetro elétrico. Para a determinação da densidade de pavimentos asfálticos, esse aparelho utiliza a tecnologia de espectroscopia de impedância, que consiste em colocar a amostra do material sob investigação entre dois eletrodos, aplicar um estímulo elétrico e medir a resposta resultante.

A pesquisa tem como objetivo geral avaliar a importância do densímetro na pavimentação asfáltica e as camadas de subleito. Especificamente o trabalho buscará entender o processo de pavimentação, compreender a importância do densímetro e analisar as vantagens do densímetro para a execução de obras de subleito e pavimentação.

O método parte a partir de uma revisão bibliográfica, e se qualifica como uma pesquisa qualitativa, pois os aspectos conceituais sobrepõem números.

Este trabalho de conclusão de curso está subdividido em dois capítulos básicos, inicialmente será abordado os conceitos de pavimentação, os tipos, a estrutura e o subleito.

Posteriormente, o segundo capítulo abordará o densímetro, trazendo inicialmente seu desenvolvimento histórico, o seu funcionamento e, por fim, a importância da densidade na execução de obras de pavimentação.

1. PAVIMENTAÇÃO

De acordo com Balbo (2007) pavimentar significa construir uma estrutura a qual tem por objetivo melhorar o tráfego, independentemente de sua natureza, conforme se cria uma superfície mais regular e aderente, o que permite um conforto durante o deslocamento, bem como a segurança em diversas condições como pista úmida.

Ela é uma estrutura não perene que é composta por diversas camadas sobrepostas feitas por várias compactações de materiais diversos, visando atender a estrutura e a operacionalidade do trânsito, durável e com custo pequeno, levando em consideração diferentes fontes de serviços de manutenção de prevenção, correção e reabilitação obrigatória. (BALBO, 2007)

Benucci *et al* (2006) já afirma que pavimento é a estrutura de múltiplas camadas com espessuras finas, feitas sobre uma superfície após terraplanagem. Deve-se levar em questão o tráfego, bem como os materiais disponíveis, podendo, assim, ter falta de alguma camada. Estas são postas sobre o subleito.

Assim, pode-se entender que a pavimentação asfáltica utilizada é um facilitador do tráfego, auxiliando a todos os usuários das estradas e rodovias sua melhor locomoção, além de proporcionar mais estabilidade e, assim, maior segurança para quem trafega nestas pistas.

A NBR-7207/82 da ABNT define o pavimento da seguinte forma:

O pavimento é uma estrutura construída após terraplanagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a: a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego; b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

As cargas são envidas à fundação de maneira leve e cheia de critérios, o que impede as deformações na estrutura. Portanto, cada camada deve conter uma ou várias funções, as quais promovem nos veículos condições certas de suporte e rolamento nas mais diversas condições naturais.

Porém, mesmo com bastante qualidade, ao passar do tempo os pavimentos se desgastam naturalmente, podendo ocorrer deformações e rachaduras que ocorre tanto por meio das cargas aplicadas por veículos que utilizam as vias, como também por conta das condições climáticas.

O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoelástico, impermeável à água e pouco reativo. A baixa reatividade química a muitos agentes

não evita que esse material possa sofrer, no entanto, um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com o ar e a água. (BERNUCI *et al*, 2008, p. 12)

As estruturas do pavimento são formadas por diversas camadas que se assentam a fundação conhecida por Subleito. Ao longo do tempo, a pavimentação também vai reagir de acordo com a espessura de cada camada, bem como a rigidez tanto das camadas quanto dos subleitos, assim também conforme o modo em que as diferentes camadas interagem entre si. O Manual Técnico emitido pelo DNIT (2006) classifica os pavimentos em flexíveis, semirrígidos e rígidos.

1.1 TIPOS DE PAVIMENTO

Portanto os pavimentos podem ser classificados, como dito anteriormente, segundo o DNIT (2006) em flexíveis, semirrígidos e rígidos.

Os pavimentos rígidos consistem naqueles em que o revestimento possui uma elevada rigidez comparado com as camadas inferiores, sendo assim, ocorrendo uma maior absorção de todas as tensões vindo de carregamentos.

Bernucci *et al* (2008) estes pavimentos estão associados ao cimento Portland, estes os que o revestimento é constituído por uma placa de concreto. Neles a espessura é fixada pela sua resistência à flexão das placas de concreto, bem como das resistências das camadas subjacentes. Estas placas podem ainda ser ou não armadas por barras de aço.

De acordo com Bernuci *et al* (2008) esse tipo de pavimentação tem uma vida funcional maior, já que oferece resistência a combustíveis e ainda apresentam alta rigidez e resistência.

Já os semirrígidos aquele composto pela base cimentada, ou seja, por uma camada de cimento revestir com outra asfáltica.

Para Ferrara (2006) os pavimentos semirrígidos são vistos como uma situação intermediária. É um pavimento asfáltico e base de cimento, cal e outros, os quais apresentam uma pouca melhoria na resistência à tração.

E os pavimentos considerados como flexíveis consistem naqueles em que ocorrem em todas as camadas deformações elásticas de acordo com o carregamento que lhe foi aplicado, desta forma, tem maior absorção de todas as tensões, as quais lhe são aplicadas. São feitos de uma camada superficial asfáltica, apoiada por base, sub-base e, ainda, o reforço do subleito.

Estas constituídas por materiais granulares, solos ou, ainda, misturados de solos sem agente de cimento.

Contudo, Medina (1997) considerava apenas dois tipos de pavimento, os rígidos e os flexíveis, afirmando que se perdeu o sentido de definir os tipos de acordo com suas funções, já que atualmente se analisa-o a partir das camadas que o compõe, bem como os cálculos de tensões e deformações. Segundo ele:

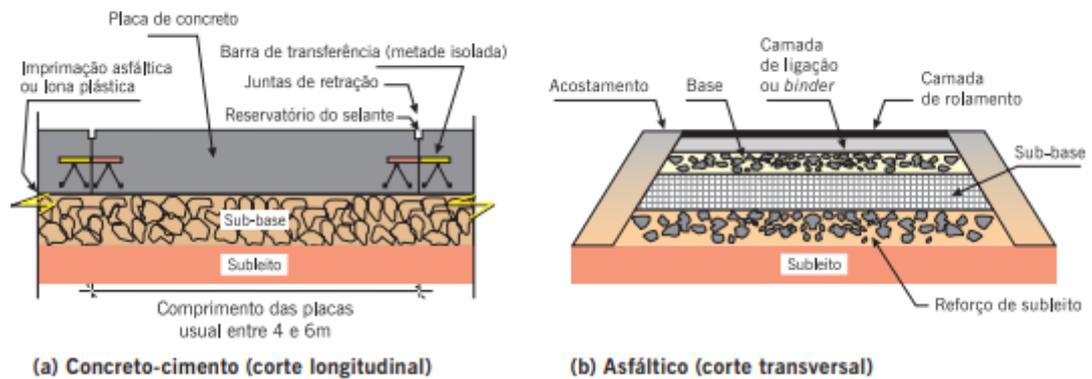
- Pavimento flexível: constituído por um revestimento betuminoso sobre uma base granular ou de solo estabilizado granulometricamente.
- Pavimento rígido: construído por placas de concreto (raramente é armado) assentes sobre o solo de fundação ou Sub-base intermediária. (MEDINA, 1997, p. 25)

Sendo assim, ainda é importante salientar que a durabilidade do pavimento também dependerá, além de um bom tipo de pavimento escolhido, de um bom revestimento.

1.2 ESTRUTURA DO PAVIMENTO

O pavimento é estruturado por algumas camadas que são feitas após a terraplanagem, acima do subleito e variam de acordo com o que é analisado do tráfego local. Esta estrutura encontra-se sobre o subleito que é a fundação do sistema que recebe os esforços vindos do pavimento. Portanto, sobre ele é construído uma regularização, um reforço e, se houver necessidade, uma sub-base, posteriormente a base e, finalmente, um revestimento.

Figura 1 - Estruturas de pavimentos

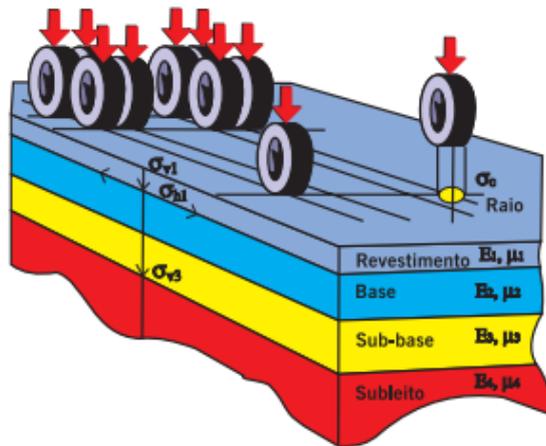


Fonte: BERNUCCI *et al* (2008).

De acordo com a Instrução de projeto do Departamento de Estradas de Rodagens de 2006, a camada de melhoria e preparo do subleito deve conter: capacidade de suporte de acordo com o Índice de Suporte Califórnia (ISC) superior ou igual à 2%; grau de compactação de 100% do Proctor Normal, em caso de solos granulares ou finos lateríticos pode-se usar a energia de 100% do Proctor Intermediário.

O concreto asfáltico, o qual é uma das camadas, é feito a partir da mistura de agregados e ligantes asfálticos (BERNUCCI *et al*, 2008). O granular faz parte da estrutura que garante a rigidez da mistura e depois o ligamento asfáltico é responsável pela coesão. Por vezes pode ser acrescentado aditivos a fim de aprimorar esta mistura (ALMEIDA, 2013).

Figura 2 – Sistema de camadas de um pavimento de tensões solicitantes.



Fonte: BERNUCCI *et al* (2008).

Segundo Bernucci (*et al*, 2008) o asfalto é um ligante betuminoso proveniente do petróleo. Ele é um material colante termoviscoplastico, impermeável e com baixo grau de reação a alguns elementos agressivos.

A suscetibilidade térmica é uma das principais características do ligante asfáltico, de acordo com Rhode (2007). A temperatura funciona como fator necessário no desempenho deste e nos materiais que o compõe, assim alterando o estado físico e consistência.

1.2 SUBLEITO

Assim que se encerram o período de terraplanagem, obtém-se o leito, este limitará o terreno superior do pavimento que é conhecido como Subleito.

O DNER (2017) define o subleito como maciço de terra que serve de fundação para o pavimento ou o seu revestimento.

Como já visto anteriormente, o pavimento precisa de uma sucessão de camadas que vão se sobrepôr a fim de criar uma boa pavimentação, a qual é capaz de receber a carga recebida, evitando assim a deterioração rápida desta pavimentação.

Para isso, o pavimento recebe, também um reforço. Este reforço, de acordo com as normas do DNER (2017) é uma camada granular do pavimento cujo objetivo é melhorar a capacidade do suporte de carga do subleito e, assim, reduzir a espessura da sub-base.

BERNUCCI (*et al*, 2008) afirma que as camadas de base, sub-base e reforço do subleito tem como objetivo resistir aos esforços advindos do revestimento, mostrando pequenas

deformações e permeabilidade compatível com o que se espera, o que consegue a drenagem do pavimento. Assim, estas precisam ter os materiais selecionados de acordo para que cumpram sua função na estrutura. Geralmente, são constituídas de agregados graúdos e miúdos, solo e, de acordo com o que é preciso, pode ser acrescentado cimento, cal, emulsão asfáltica ou ainda outros materiais.

Figura 3 – Reforço do Subleito feito com Pedra detonada



Fonte: Bortoli (2020)

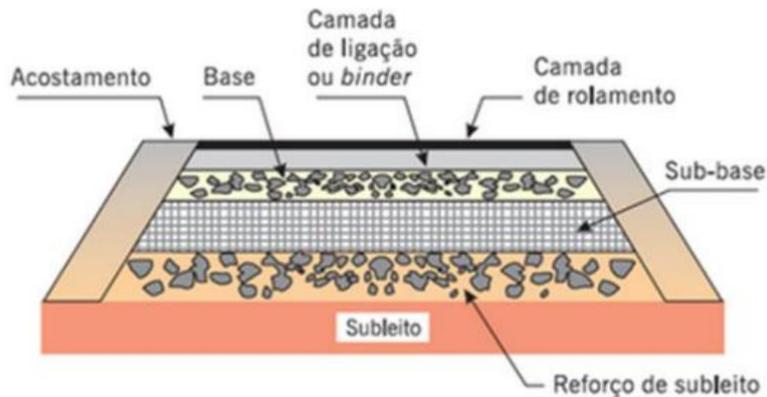
Figura 4 – Reforço do subleito feito com Rachão



Fonte: Bortoli (2020)

Este reforço do subleito pode ser feito com vários materiais como: pedra detonada, rachão isto vai depender da sondagem feita e também do tipo de solo que se tem para a construção da pavimentação.

Figura 5 – Preparo do Subleito



Fonte: DNIT, 2009

Para tanto, deve-se fazer a supressão, que é a retira de toda a vegetação que se encontrar no leito, depois deve prosseguir com uma escarificação com profundidade de 20 cm, acompanhada de pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento.

Figura 6 – Escavação para reforço do subleito



Fonte: Bortoli (2020)

De acordo com Balbo (2007) o subleito é formado por materiais locais que são consolidados e compactados, assim não apresenta espessura definida.

Portanto, considera-se esta como a fundação do pavimento posterior a regularização do nivelamento. Quando apresenta pouca capacidade de suporte, pode ser feito um complemento na camada para o reforço do subleito elevando, dessa forma, a sua resistência. Contudo, em

algumas situações, este reforço não desempenha o que é esperado, sendo assim, o solo residual deve ser parcialmente retirado e trocado por outro material que apresente uma capacidade melhor de suporte. (PINTO, 2010)

Figura 7 – Reforço do subleito e diferença da estrutura do pavimento antigo.



Fonte: Bortoli (2020)

Salienta-se também, na questão do reforço do subleito até a última camada de CBUQ o uso da Viga Benkelman. Na prática, ela mensura o deslocamento vertical sofrido na superfície de análise, quando submetido a um carregamento.

Figura 8 – Viga Benkelman no Reforço do Subleito



Fonte: Bortoli (2020)

Ela é feita de uma parte fixa que é apoiada no pavimento através de três pés reguláveis e uma viga móvel que está anexada por uma articulação, deixando uma das extremidades em contato com o pavimento e a outra acionando um extensômetro com precisão de centésimos de milímetro. O ponto de articulação divide a haste em duas partes proporcionais.

Figura 9 - Viga Benkelman na medição do limite de deflexão



Fonte: Bortoli (2020)

De acordo com o DNER e ABNT as leituras precisam ser feitas com o caminhão estacionado sobre o local onde ocorrerão as leituras (*Creep Speed Rebound Deflection*).

2. DENSÍMETRO

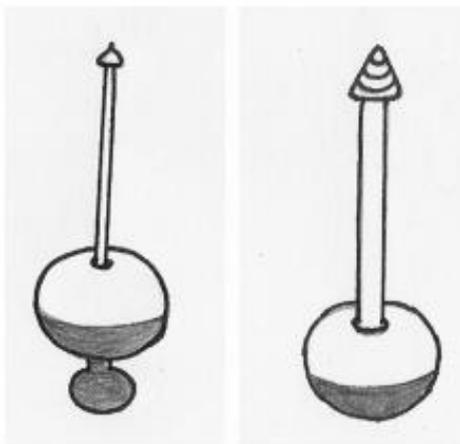
2.1 A EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO DENSÍMETRO

Existem relatos de uso do densímetro desde os primórdios, usado pelo matemático Pappos (290-350). Em 410 Sinésio (373-414) escreveu uma carta a Hipátia (355-415) falando sobre um aerômetro feito de folhas de prata, considerando-o como algo inovador.

Marana (1599) cita em sua obra *De Ponderibus et Mensuris* cita um aerômetro construído no século 1 d.C. Contudo, é difícil afirmar quem construiu/inventou este aparelho, porém, nota-se pelos registros históricos que ele já é um instrumento antigo. (BOYER, 1942)

Foi a partir do século XVII com a tecnologia da construção que o densímetro evoluiu consideravelmente. Boyle construiu em 1676 um aerômetro de vidro com um lastro de mercúrio na esfera inferior a fim de determinar a densidade dos líquidos. (DAVIS, 1929).

Figura 11 – Densímetro de Boyle



Fonte: Davis, 1929

A partir do século XVIII o densímetro começou a passar por diversas alterações e mudanças, tendo o foco em dois estilos: aqueles que servem para medir a densidade de sólidos e líquidos por meio de *pesos* fixados em hastes e os que possuem peso constante, determinando apenas o volume.

Em meados do século XIX o densímetro passou a ser associado com o termômetro, tornando-se uma ferramenta importante tanto para a indústria quanto para o ensino. (BOYER, 1942)

Com o avanço da tecnologia e da utilização desse aparelho, sendo ele importante em vários campos de atuação, atualmente existem diversos tipos de densímetro, alguns ainda manuais, mas também existem os elétricos. Estes, atualmente, são bastante usados na área da pavimentação, pois são importantes para o cálculo do CBUQ.

Figura 12 – Análise da camada de CBUQ com densímetro



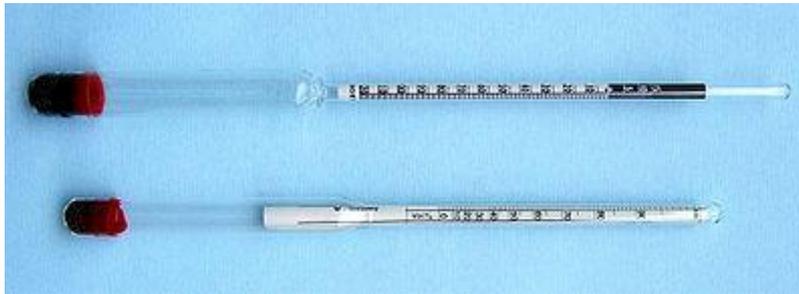
Fonte – Bortoli (2020)

O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), também chamado de concreto asfáltico (CA), é um dos diversos tipos de misturas que são utilizadas em pavimentação no Brasil. (BERNUCCI, *et al*, 2008)

2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO DENSÍMETRO

O densímetro é um instrumento de medição da densidade relativa de um líquido. O funcionamento dele está baseado no princípio de Arquimedes o qual possibilita determinar a impulsão sobre um corpo mergulhado em fluido em descanso, força vertical em subida cuja intensidade é igual ao peso do fluido deslocado (RIBEIRO, 2014)

Figura 13 – Dois exemplos de densímetro



Fonte: Ribeiro, 2014

De acordo com Ribeiro (2014) este princípio baseia-se no momento em que é mergulhado um objeto sólido em um líquido com maior densidade, conforme a densidade o objeto mergulha mais ou menos. Sendo assim, possível estabelecer a densidade a partir de uma escala.

Humboldt (2008) afirma que o densímetro elétrico objetiva fornecer valores da baridade do solo, do teor em água, bem como da compactação relativa em solos utilizados em materiais de construção de aterros, fundações e camadas de pavimentos.

O DE é considerado uma tecnologia não-nuclear, a qual é recente. Ela usa várias séries de medições elétricas junto a modelos do solo a fim de inferir a baridade e o teor em água de um solo. Normalmente, usa-se dois métodos para construção de modelos de solos: o primeiro está baseado na baridade e no teor em água e tem por fundamento as medições feitos com equipamento nuclear e com a garrafa de areia; já o segundo modelo aplica os resultados em ensaios de compactação de Proctor, feitos a partir de um molde maior (MEEHAM *et al*, 2011).

Figura 14 – Densímetro Elétrico durante um ensaio



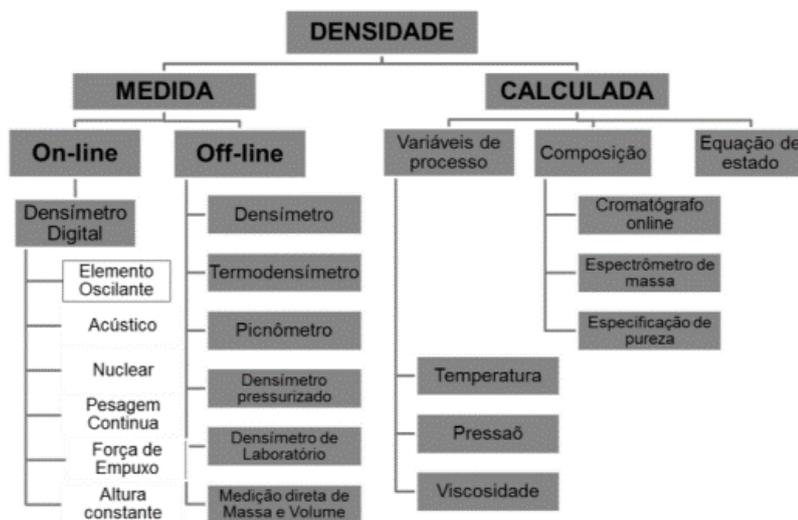
Fonte: Meehan *et al*, 2011

2.3 A IMPORTÂNCIA DA DENSIDADE

A medida da densidade se faz importante para que se caracterize materiais, assim também sendo importante em questões de ensino, já que se encontram importantes relatos no ensino de física, por exemplo, no estudo da densidade. (OLIVEIRA *et al*, 2010)

A medida da densidade pode ser feita de várias maneiras e pode, ainda, ser realizada diretamente ou por meio de cálculos por meio da composição do fluido ou de outras propriedades físicas. Pode ser feita na linha (durante o processo) ou off-line, por meio da extração de uma amostra.

Figura 15 – Métodos mais utilizados para medir a densidade



Fonte: API MPMS, 2000

De acordo com a determinação da ARTERIS para pavimentação asfáltica:

Para determinação da densidade de pavimentos asfálticos, o densímetro elétrico utiliza a tecnologia de espectroscopia de impedância, que consiste em colocar a amostra do material sob investigação entre dois eletrodos, aplicar um estímulo elétrico e medir a resposta resultante. (ARTERIS, 2018, p. 2)

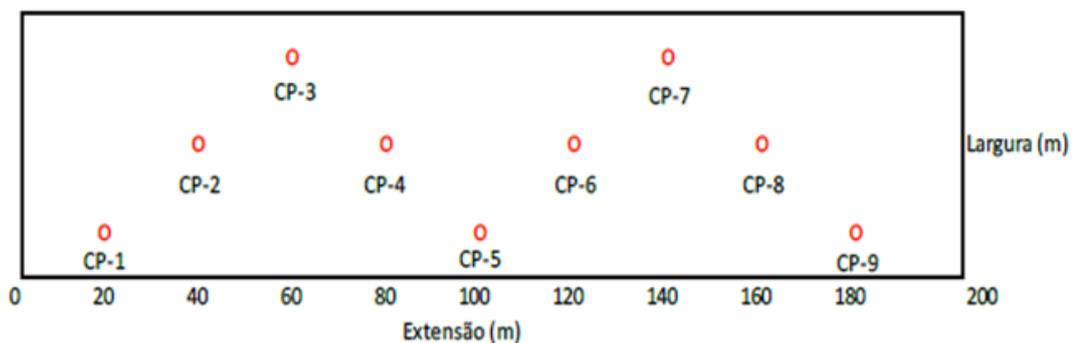
A ARTERIS (2018) ainda determina que para controlar a espessura, precisa ser realizado uma medida a cada 20 metros na caixa de fresagem de, no mínimo, três medidas, com

linha e trena. As leituras feitas com o uso do DE não devem ser realizadas em dias de chuva ou com o asfalto molhado.

De acordo com Birman (*apud* CERATTI *et al*, 2007) a densidade da mistura asfáltica é influenciada, sobretudo, pela temperatura dela. Segundo o autor, boa parte dos problemas na execução da pavimentação poderiam ser resolvidos caso se fizesse com que as misturas asfálticas fossem todas compactadas nos limites de temperaturas que são determinadas no projeto.

Conforme a mistura asfáltica é posta em temperaturas mais altas, sua densidade aumenta. Portanto, a temperatura está relacionada diretamente com o desempenho da compactação da mistura asfáltica.

Figura 16 – Determinação dos pontos de ensaio



Fonte: CDT (Centro de Desenvolvimento Tecnológico)

Assim que as condições para o uso do DE forem verificadas, o responsável previamente define com tinta os pontos onde serão feitas as leituras. Estas precisam ser feitas a cada 10m para segmentos até 400m e a cada 20m para segmentos superiores a 400m.

Figura 17 – Cálculo de offset

Localização	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4	CP-5	CP-6	CP-7	CP-8	CP-9
Densidade Corpo de prova (g/cm ³)	2,428	2,428	2,428	2,429	2,362	2,406	2,419	2,404	2,413
Densidade PQJ (g/cm ³)	2,255	2,274	2,259	2,242	2,199	2,254	2,234	2,225	2,216
Diferença (g/cm ³)	0,173	0,154	0,169	0,187	0,163	0,152	0,185	0,179	0,197
Offset (g/cm ³)	0,173								

Fonte: CDT, 2020

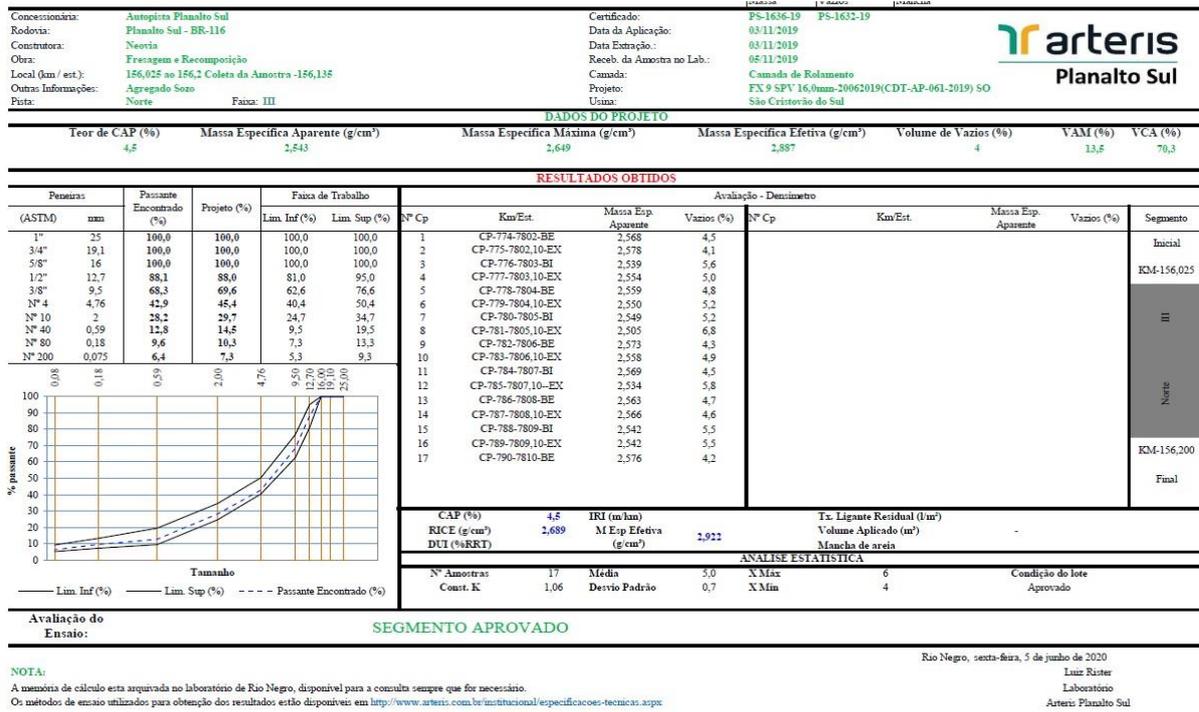
Figura 18 – Corpo de prova, leitura com densímetro



Fonte: Bortoli (2020)

A cada 1000 toneladas de CBUQ que se aplica, ou em caso de grandes aplicações como 2000 toneladas, faz-se necessário calibrar o densímetro e então refazer a leitura e, posteriormente, extrair o CP do mesmo local da leitura e verificar em laboratório se é a mesma densidade exatamente.

Figura 19 – Resultado das leituras do densímetro



Fonte: Bortoli, 2020.

Caso apresente segregação, elas precisam ser removidas antes de iniciar o processo de compactação da mistura asfáltica. Assim que feitas as leituras, o responsável envia para o laboratório para a emissão do laudo. (ARTERIS, 2018)

3. SUSTENTABILIDADE

3.1 PAVIMENTO SUSTENTÁVEL

Sustentabilidade pode ser definida como a forma que o homem interage com o mundo, mas preservando o meio ambiente a fim de não comprometer os recursos naturais disponíveis que serão utilizados pelas gerações futuras. (LEITE, 2013)

De acordo com Van Dam *et al.* (2015) pavimento sustentável é aquele que alcança os objetivos funcionais: atende às necessidades do homem, usa recursos efetivamente e preserva e restaura o meio ambiente. Por meio de um diagrama, Van Dam *et al.* (2015) estabeleceram o pavimento sustentável, englobando a reutilização de recursos.

Figura 20 – Ciclo da vida do pavimento



Fonte: Van Dam *et al.*, 2015

Leite (2013) afirma que a sustentabilidade na pavimentação asfáltica impacta, diretamente, em fatores como saúde, análise do ciclo da vida e pegada de carbono, misturas mornas, segurança, conforto, ruído, asfaltos drenantes e controle da água da chuva, reciclagem, emprego de rejeitos, agregados alternativos e bioprodutos, na durabilidade, em casos de mudanças climáticas e na questão de normatização e legislação em contratos ecológicos.

Atingir a sustentabilidade requer regulamentação e normalização para incentivo do uso de técnicas sustentáveis citadas acima. Indicadores de sustentabilidade na pavimentação podem ajudar a priorizar os projetos. O emprego de rejeitos em camadas betuminosas pode ajudar na redução de passivos ambientais. Misturas mornas e reciclagem parecem ser as tecnologias mais importantes para garantir a sustentabilidade. A mudança de clima trará novos desafios à pavimentação asfáltica, e a durabilidade se tornou sinônimo de sustentabilidade. Emprego de técnicas antirruído e que viabilizem texturas abertas para dar mais segurança e conforto será exigido. O emprego de aditivos modificadores no ligante asfáltico se faz necessário para melhoria de desempenho e atendimento das técnicas requeridas. (LEITE, 2013, p. s/n)

Segundo Azebedo (2015) é necessário observar as atividades isoladamente em cada fase da produção asfáltica, para que assim seja possível escolher a prática sustentável para cada uma delas.

Na fase de produção de materiais, estar atento às escolhas dos materiais para o pavimento (extração de agregados, petróleo, asfalto), bem como o seu processamento (mistura, refinamento) no qual também está incluído os processos de usinagem e transporte. Já no projeto de pavimento, faz-se importante identificar critérios funcionais, além de coleta de dados como o clima, tráfego e subleito para que possa selecionar os materiais corretos e, assim, definir a estrutura asfáltica. (AZEVEDO, 2015)

No processo de construção é preciso cuidar dos processos e dos equipamentos que realizarão a construção do pavimento, bem como a reconstrução. No uso é necessário estar atento com as características do pavimento que possam afetar a energia consumida nos veículos e, assim, suas emissões, assim como os efeitos para com o meio ambiente (retenção de água, ruído, condutividade do calor e absorção solar). (AZEVEDO, 2015)

No que diz respeito a preservação, manutenção e reabilitação deve-se aplicar formas de tratamento em pavimentos existentes que possam reter a deterioração ou, ainda, corrigir problemas funcionais ou na estrutura. (AZEVEDO, 2015)

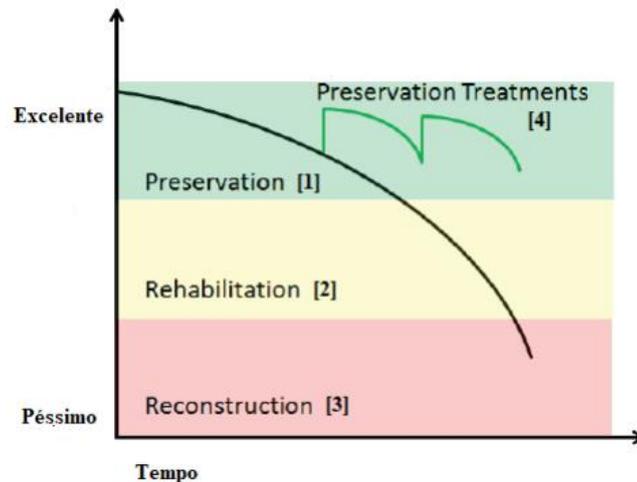
Ao fim do ciclo da vida do pavimento, Azebedo (2015) expõe que é preciso processar ou, ainda, reciclar parte do pavimento que alcançou o fim de sua vida útil.

3.2 PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS

Algumas práticas auxiliam no processo de pavimentação sustentável. Uma delas é a prevenção. Muitas vezes é empregado formas de tratamento de baixo custo ou de baixo impacto ambiental que pode prolongar a vida útil do pavimento ou, ainda, retardar a reabilitação. Isto pode reduzir o uso de materiais novos como reduzir a emissão de gases do efeito estufa. Além disso, pavimentos bem conservados disponibilizam superfícies mais suaves, seguras e

silenciosas, o que possibilita uma maior durabilidade no uso de combustíveis no veículo, menos ocorrências de acidentes e menos ruídos, desta forma, contribuindo para a sustentabilidade. (VAN DAM *et al.*, 2015)

Figura 21 – Ciclo de vida com ações de preservação do pavimento asfáltico



Fonte: Van Dam *et al.*, 2015

De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos (DNIT, 2007) algumas ações são possíveis para a manutenção preventiva como os remendos superficiais, a desobstrução dos sistemas de drenagem, reparos localizados, limpeza da pista, selagem de pequenas trincas a fim de realizar uma manutenção preventiva ou rotineira. Assim também, em uma manutenção periódica pode-se realizar o tratamento superficial, a lama asfáltica, os reforços esbeltos em concreto asfáltico, banhos selantes

Alguns especialistas reclamam da pouca manutenção preventiva nos asfaltos no Brasil, apontado como umas principais causas de uma degradação precoce. Isso decorre devido a falta de planejamento de manutenção, além de questões orçamentárias para realizar esta prática, pois é necessário estar previsto no planejamento de uma rodovia nova. (CNT, 2017)

Sobre a questão da durabilidade, Leite (2013, p. s/n) afirma que:

A sustentabilidade só é possível com pavimentos duráveis. Durabilidade e melhor desempenho nos pavimentos são a chave da sustentabilidade. O emprego de pavimentos perpétuos, por exemplo, deve ser incentivado. O dimensionamento correto de espessuras de camadas de pavimento (utilização de projetos de

dimensionamento mecânico), a seleção de materiais de acordo com o clima e tráfego, a dosagem adequada (emprego de compactadores giratórios), a mistura e compactação corretas conduzem à sustentabilidade. O emprego de modificadores no ligante e da cal hidratada se faz necessário para melhoria do desempenho, principalmente, no tocante à coesão e à adesão.

Fazer uma manutenção com periodicidade, além de reduzir gastos, atrasa a intervenção emergencial ou ainda um nível de degradação do pavimento que exija uma restauração. Desta forma, é imprescindível implementar um sistema de gerenciamento dos pavimentos, o qual cubra toda a malha asfáltica permitindo, assim, manutenções que garantam a durabilidade das rodovias. (CNT, 2017)

Anthonissen *et al.* (2016) aponta que como são dimensionados para uma vida útil menor, é preciso que a manutenção ocorra em curtos períodos de tempo. Contudo possui um alto impacto ambiental. Quando o período de manutenção é feito entre 10 a 14 anos pode reduzir este impacto em 10%, já em períodos entre 15 a 25 anos, pode reduzir até 25%. Além disso, é preciso considerar, também, o impacto do trânsito.

No momento em que o pavimento chega ao fim de sua vida útil, pode-se permanecer no lugar e ser utilizado novamente como parte da estrutura de suporte a um novo, ser reciclado ou ainda ser removida. Cada ação desta tem custos tanto financeiros quanto ambientais que precisam ser relevados. Sendo assim, estas ações podem afetar a sustentabilidade como a formação e disposição de resíduos, a qualidade do ar e da água, além do uso de materiais que precisam ser considerados e avaliados. (VAN DAM *et al.*, 2015)

A reciclagem pode ser realizada a frio ou a quente, melhor ainda se for morna, pois admite maior quantidade de fresado. Existem tecnologias em usinas de asfalto que incorporam 100% de material fresado. Além do fresado, a sustentabilidade é conseguida pelo emprego de resíduo de construção civil, agregada de aciaria, cinza volante, resíduos de mármore e granitos, resíduos da indústria de petróleo - cascalho, borras de petróleo e ainda borracha de pneu, que pode ser introduzida na mistura asfáltica ou no ligante (processo úmido contínuo em usina ou em batelada em refinaria). (LEITE, 2013, p. s/n)

Segundo Bernucci *et al.* (2008), a reciclagem de pavimentos significa reutilizar as misturas asfálticas velhas e deterioradas para produzir novas, dessa forma, aproveita-se os agregados e ligantes que ainda estão presentes adicionando agentes rejuvenescedores, espuma de asfalto a, ainda, adicionar aglomerantes hidráulicos.

4. IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE

Segundo a NBR ISSO 140001 de 2004, impacto ambiental é a modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica que resulta, total ou parcialmente, produtos ou serviços de uma organização.

Entende-se o aspecto ambiental é a forma que o homem causa o impacto ambiental, ou seja, a ação é a causa, os impactos as consequências, já os aspectos ambientais são os mecanismos por onde ocorrem as consequências. (SÁNCHEZ, 2008)

Figura 22 – Relação entre as ações do homem e os impactos ambientais



Fonte: Sánchez, 2008

Barros (2015) aponta que as questões ambientais não dizem apenas a respeito da qualidade do ar ou água, envolve também a segurança do trabalhador e, por sua vez, a relação com os materiais perigosos que são usados na obra de pavimentação.

Art. 1. [...] considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II – as atividades sociais e econômicas;

III – a biota;

IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V – a qualidade dos recursos naturais. (BRASIL, 1986, p. 636)

O asfalto gera impactos tanto ao homem quanto ao meio ambiente, devido a sua composição química e física. Isto é evidenciado no período de produção do asfalto, momento em que as usinas são fontes de poluição, que contaminam o solo, a água, o ar, além de adensar e compactar o solo. (COELHO *et al.*, 2011)

De acordo com Rezende e Coelho (2015) entre os impactos negativos estão o aumento de emissão de ruídos, poeira e gases, ocorrência de processos erosivos, carreamento de sólidos e assoreamento da rede de drenagem, interferências na qualidade da água como a alteração do

curso, trazendo, assim, consequências para a vida aquática, deposição de materiais de descarte, supressão de vegetação nativa, alteração dos habitats, alteração dos movimentos migratórios de algumas espécies, propicia a invasão de animais exóticos, cria barreiras para a vida selvagem sensível, perda da biodiversidade devido a fragmentação e isolamento de populações, aumento da caça predatória, atropelamento de animais, formação de ambientes para o desenvolvimento de vetores, alteração na vida das pessoas, acidentes com cargas perigosos que possam contaminar rios e lagos, disseminação de doenças entre as comunidades, facilita a atividade de madeiras ilegais, além do desmatamento, especulação de terras, colonização ilegal, incêndio, comércio ilegal de carne animal selvagem, extração ilegal de recursos naturais e incentivo à garimpagem ilegal.

Os impactos causados pela construção de pavimentos asfálticos precisam ser avaliados por etapas de construção deste, considerando: fase do projeto, período de construção da obra, posterior a conclusão e entrega e a fase de operação. (BELIA e BIDONE, 1993)

De acordo com o DNIT (2006) analisa-se os seguintes aspectos considerando isoladamente as relações e a forma de interação entre rodovias e meio ambiente:

- Meio Físico: considera-se a movimentação de solos (terraplenagem, empréstimos e bota-foras); indução ao processo erosivo; instabilidade de encostas e taludes; rompimento de fundações; degradação em áreas de uso do canteiro de obras, trilhas, caminhos de serviços; rebaixamento de lençóis freáticos; risco na qualidade da água superficial e subterrânea devido a concentração de poluentes, além da qualidade do ar.
- Meio Biótico: supressão no processo de intercâmbio ecológico, por meio da dicotomia; interferências em áreas protegidas por lei e a biótopos ecológicos importantes; diminuição da cobertura vegetal e perda do patrimônio biótico; pressão sobre ecossistemas terrestres e aquáticos.
- Meio Socioeconômico: conflito de uso e ocupação do solo; alteração nas atividades econômicas; condições de emprego e qualidade de vida para as populações ou comunidades lindeiras à rodovia; segurança viária; ruídos; vibrações; emissões atmosféricas; desapropriação para áreas de uso e faixas de domínio; riscos aos patrimônios cultural, histórico, arqueológico e espeleológico; e riscos de interferências nas culturas indígenas e outras etnias.

A fim de promover a conservação do meio ambiente, considerando os conceitos básicos tratados acima, é necessário submeter a um adequado tratamento ambiental. Portanto, deve-se buscar uma adequação na eliminação e compensação dos impactos ambientais negativos em toda a abrangência da obra durante e após todo o processo de operação da via. (DNIT, 2006)

Laurance (2014) afirma que as rodovias são importantes para a sociedade moderna, pois pode trazer diversos impactos positivos como: aumento da produtividade agrícola, incentivo da instalação de fábricas e indústrias, assim possibilitando a oferta de empregos, que também podem ser ofertados para a construção da pavimentação.

Além desses fatores, também contribui para arrecadação pública do comércio, aumento de demanda de bens e serviços, qualidade do serviço no deslocamento entre cidades e estados, facilitação a acesso a sociedade como escolas e hospitais, facilitação do transporte de pessoas e cargas, sobretudo no turismo, escoamento dos produtos regionais, proporciona a realização de negócios e exportação de produtos. (REZENDE e COELHO, 2015)

Portanto, a construção de estradas precisa ser feita sob a perspectiva de prevenir ou limitar os impactos ambientais negativos a partir do estudo para a realização do projeto em locais adequados e com atenção às medidas preventivas efetivando o desenvolvimento sustentável das nações, sobretudo considerando os impactos positivos. (REZENDE e COELHO, 2015)

CONCLUSÃO

O processo de pavimentação exige um trabalho denso e com várias etapas a serem cumpridas, essas importantes para que a pavimentação tenha qualidade e não sofra danos em pouco tempo, por isso, inicialmente, faz-se necessário um levantamento de que tipos de veículos transportam nesta rodovia a fim de saber a quantidade de carga que o asfalto precisa aguentar.

Para a formação do pavimento, são necessárias as camadas que darão suporte a fim de auxiliar na sua qualidade a absorção de carga. Suas camadas são: subleito, reforço, sub-base, base e, por fim, o revestimento asfáltico. Todas essas composições ocorrem após feita a terraplanagem e a supressão dos elementos naturais existentes no espaço onde será realizada a obra.

O subleito é a camada que é o fundamento da pavimentação, ele vem logo após a terraplanagem e a supressão. Ela é importante, pois auxilia nas camadas do asfalto promovendo, assim, maior durabilidade.

Sendo assim, atualmente, o uso do densímetro passou a ser importante na construção de pavimentos asfálticos.

O Densímetro Elétrico, recurso que vem sendo bastante utilizado na verificação da densidade em obras de pavimentação. Ele utiliza diversas séries de medições elétricas do solo com o objetivo de inferir a baridade e o teor de água presente no solo.

O densímetro elétrico utiliza a espectroscopia de impedância, ou seja, coleta amostra de materiais em investigação nos dois eletrodos em que se aplica um estímulo elétrico e, assim, mensura o resultado.

A resposta a viabilidade do reforço do subleito é positiva, pois é comprovado a partir da deflexão característica medida a partir da utilização da viga benkelman.

Portanto, atualmente, o uso do densímetro elétrico em obras de pavimentação é mais eficaz, pois auxilia na certeza de que a construção realizada pode ter maior qualidade, podendo, assim, prever e solucionar ainda em fase de finalização possíveis problemas que possam ocorrer com o asfalto.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Adosindro Joaquim de. **Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas com Aplicação dos Aditivos pr plast s e pr flex 20 no Módulo Complexo e na Fadiga – Florianópolis, SC, 2013.** 261p. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

ANTHONISSEN, JOKE, VAN DEN BERGU, WIM e JOHAN, BRAET. 2016. "**Review and environmental impact assessment of green technologies for base courses in bituminous pavements**". s.l. : Environmental Impact Assessment Review, v.60, pp.139–147, 2016, 2016.

ARTERIS, **Determinação da Densidade de Pavimentos Asfálticos com o Densímetro Elétrico.** T-100, 2018. Disponível em: <https://www.arteris.com.br/wp-content/uploads/2019/01/ARTERIS-T-100-REV-2-Determinação-da-Densidade-de-Pavimentos-Asfálticos-com-o-Densímetro-Elétrico.pdf> Acesso em: 01 jun. 2020.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 720/1982: Termologia e classificação de pavimentação.** Rio de Janeiro, 1982

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 14.001:2004. Sistema de gestão ambiental: Requisitos com Orientações para Uso.** Rio de Janeiro, 2004. 27p.

AZEBEDO, Juliana Laboissière De. **A economia circular aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrmentos legais para a logística reversa.** Anais: In: XI Congresso Nacional de Excelência em gestão, 2015.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração.** Oficinas de Texto: São Paulo, 2007.

BARROS, A. M. T. C. **Análise Preliminar de Riscos na Atividade de Pavimentação Asfáltica.** São Paulo: Centro Universitário de Lins, 2015.

BELIA, V. BIDONE, E. D. **Rodovias, Recursos Naturais e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: EDUFF, 1993

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa Soares. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. PETROBRAS: Rio de Janeiro, 2008.

BOYER, C.B. **Journal of Physics** 10, 176, 1942.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 001, de 23 de fevereiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23> Acesso em: 22/07/2020

CERATTI, Jorge Augusto Pereira; et al **Estudo de misturas asfálticas mornas. Estudo laboratorial das temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas**. Porto Alegre, 2007.

CNT. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília : Confederação Nacional do Transporte - CNT, 2017

COELHO, Johnny Gilberto Moraes et al. **Asfalto ambientalmente correto: uma nova tendência de mercado**. XXXIX Congresso Brasileiro em Engenharia. COBENGE, 3 a 6 de Out., 2011, Blumenau, Santa Catarina.

DAVIS B. **New Practical Physics**. The Macmillian Co., New York, 1929

DER-MG. **Mapa Rodoviário do Estado de Minas Gerais** - 2006.

DNIT. **Manual de Pavimentação**. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte. Rio de Janeiro, RJ: IPR- 719, 2006. 3ed.

_____. **NORMA DNIT 108/2009 – ES - Terraplanagem – Aterros – Especificação de serviços**. Rio de Janeiro, RJ: IPR- 719, 2009. 3ed

_____. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro : Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2007. IPR 720

FERRARA, Renata D’Avello. **Estudo comparativo do custo x benefício entre o asfalto convencional e o asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneu**. Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2006. Disponível em <http://engenharia.anhembi.br/tcc-06/civil-57.pdf>. Acesso em: 18/05/2020

HUMBOLDT. **Compaction Uniformity via in-place Stiffness Measurement**. Schiller, Illinois, 2010

LAURANCE, Bill. **Global ‘roadmap’ shows where to put roads without costing the earth. The Conversation**. Ago. 2014. Disponível em: <http://theconversation.com>. Acesso em: 21/07/2020

LEITE, Leni Figueiredo Mathias. **Sustentabilidade de Pavimentos Asfálticos. SINCESP: 2013**. Disponível em: <http://www.sinicesp.org.br/materias/2013/bt07a.htm> Acesso em: 22/07/2020

MEDINA, J.; MOTTA, L.M.G. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro, RJ: Jaques de Medina e Laura Maria Goretti da Motta, 1997. 2 ed. 574p.

MEEHAN, C., HERTZ, J. (2011). **Using Electrical Density Gauges for Field Compaction Control**. Department of Civil and Environment Engineering, Delaware Center for Transportation, University of Delaware, Newark, Delaware.

OLIVEIRA Jr, J.M., FILHO, N. André, CHAUD, M.V., GONÇALVES, M.M., ARANHA, N. e LIMA Jr, J.R., **Química Nova**, 2010.

REZENDE, Elcio Nacur. COELHO, Hebert Alves. Impactos Ambientais Decorrentes da Construção de Estradas e suas Consequências na Responsabilidade Civil. **Revista de Mestrado em Direito**. v. 9, nº 2, p. 155-180, jul-dez, 2015.

RIBEIRO, D., (2014) **Densímetro**, Rev. Ciência Elem., V2(1):289. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2014/289/> Acesso em: 27/05/2020

ROHDE, Luciana. **Estudo de Misturas Asfálticas de Módulo Elevado para Camadas Estruturais de Pavimentos. Porto Alegre, 2007.** 250pg. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos.** 2, ed. Oficina de Textos, São Paulo, 2013.

SOARES, Jorge Barbosa; SILVEIRA, Márcio Albuquerque; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **O efeito da temperatura e do grau de compactação nas propriedades das misturas asfálticas.** 2001. Disponível em: <www.antt.gov.br/html/objects/_downloadblob.php?cod_blob=3240>. Acesso em: 01 jun. 2020

VAN DAM, Thomas J., et al. 2015. **Towards Sustainable Pavement Systems.** Washington DC : US Department of Transportation, Federal Highway Administration, 2015.