

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/660

Aplicação de lodo de estação de tratamento de água em mistura asfáltica a quente

Gizelle Aguiar Dias

Discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, gizelleaguiar@yahoo.com.br

Hebert da Consolação Alves

M.Sc Engenheiro Geotécnico, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, alves@ufop.edu.br

RESUMO: O lodo de estação de tratamento de água (ETA) é um resíduo sólido gerado durante o processo de tratamento da água. A geração desse material é um problema no Brasil, uma vez que a maior parte dele é descartado de maneira inadequada, principalmente em corpos d'água. Outro desafio é a infraestrutura de transportes rodoviários, principal responsável pela movimentação de cargas e passageiros no país, mas que apresenta problemas, muitos deles relacionados à pavimentação. Nesse cenário, o presente estudo propõe a aplicação do lodo de ETA em misturas asfálticas a quente, utilizadas na camada de revestimento de pavimentos rodoviários, e apresenta uma comparação entre os métodos de dimensionamento do DNER e MeDiNa. Para isso, foi realizada a dosagem da mistura com uso de lodo de ETA como material de enchimento. Em sequência, essa mistura foi submetida a uma análise comparativa de desempenho em relação ao de uma mistura de referência. Essa campanha, que avaliou a resistência à tração, estabilidade, fluência, fadiga e módulo de resiliência, apresentou resultados favoráveis à aplicação. A partir disso, foi realizado o dimensionamento de quatro pavimentos, em dois subleitos distintos, que aplicam a mistura com lodo de ETA na camada de revestimento, utilizando os métodos do DNER e MeDiNa. Para fins de comparação, os mesmos dimensionamentos foram realizados considerando a mistura asfáltica de referência, encontrando camadas mais espessas para atender às mesmas demandas de tráfego que o pavimento cujo revestimento tem adição de lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação, Mistura Asfáltica a Quente, Lodo de ETA, Análise de desempenho.

ABSTRACT: Water treatment plant sludge (WTP) is solid waste produced during the water treatment process. The production of this material is an issue in Brazil, as the majority of it is thrown inappropriately, primarily into bodies of water. Another challenge is the road transport system, which is primarily responsible for the flow of products and passengers around the country but faces numerous problems, many of which are related to paving. In this setting, the current study proposes the use of WTP sludge in hot asphalt mixtures for the coating layer of road pavements and presents a comparison between DNER and MeDiNa design methods. The mixture was dosed using WTP sludge as filling material. Subsequently, this mixture was subjected to a comparative performance analysis in relation to that of a reference mixture. This campaign, which evaluated tensile strength, stability, creep, fatigue, and resilience modulus, presented favorable results for the application. From this, four pavements were designed utilizing the DNER and MeDiNa methods, applying the mixture containing WTP sludge in the coating layer to two distinct subgrades. The reference asphalt mixture was used for comparison, and thicker layers were found to attend the same traffic demands as the pavement with the sludge added to the coating.

KEYWORDS: Paving, Hot Mix Asphalt, WTP Sludge, Performance Analysis.

1 INTRODUÇÃO

O abastecimento de água potável é um serviço garantido no Brasil pela Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007). Para a prestação efetiva desse serviço, é necessário que sejam atendidos os padrões de qualidade conforme estabelecido pela Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (2011), sendo necessário um processo de tratamento que varia de acordo com o estado natural da água, no

momento de captação, e que é normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da norma NBR 12.216 (ABNT, 1992). Esse processo de tratamento ocorre em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) e, segundo Richter (2009), o tipo de ETA mais empregado no Brasil é o convencional, que gera resíduos nos decantadores e filtros, sendo que, os dos decantadores são os que possuem mais sólidos (Cordeiro, 2001).

De acordo com a norma NBR 10.004, esses resíduos são classificados como resíduos sólidos (ABNT, 2004) e devem, portanto, atender às disposições da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Brasil, 2010). Apesar dessa previsão, a maior parte desses resíduos são inadequadamente lançados *in natura* em corpos d'água (Cordeiro, 2001). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) (2020), dos 1.825 municípios brasileiros que geravam lodo de ETA no ano de 2017, 1.030 descartavam o material dessa maneira. Essa realidade tem motivado diversos estudos que avaliam a aplicabilidade do material em diferentes setores, sugerindo destinações mais adequadas e sustentáveis do que a adotada atualmente. Em uma revisão bibliográfica, Mine *et al.* (2018) identificaram estudos que propõem para o lodo de ETA a disposição em áreas de degradação; aplicação em aterros sanitários; aplicações no setor de construção civil para obtenção de argamassas, concretos, cerâmicas e blocos; além de aplicações na pavimentação.

A relevância da aplicação específica na pavimentação rodoviária se dá pela importância do setor no contexto do transporte no Brasil. Segundo a Confederação Nacional de Transporte (CNT) (2023), no ano de 2022 o modal rodoviário foi responsável por cerca de 65% das movimentações de carga e de 95% das movimentações de passageiros no Brasil. Dessa forma, o transporte pelo modal rodoviário pode ser apontado como item de extrema importância para o desenvolvimento socioeconômico do país e para a integração de suas regiões, dada sua extensão territorial. No entanto, os levantamentos da confederação apontam que, em 2022, dos 1.720.909 km de rodovias do país apenas 213.500 km eram pavimentados e, uma pesquisa realizada no mesmo ano, que avaliou 110.333 km de rodovias, concluiu que 55,5% dessa extensão possuía algum problema específico na pavimentação (CNT, 2023).

Com isso, diversos estudos avaliam a aplicabilidade do lodo de ETA como material alternativo empregado em pavimentos. Estudos como os de Alves (2019), Delgado (2016) e Lucena (2012) apontaram a viabilidade técnica para uso do material em camadas de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentação. Enquanto Martinez (2014) e Silva (2008) avaliaram a adição de lodo de ETA em misturas asfálticas empregadas na camada de revestimento, encontrando resultados promissores. A viabilidade de aplicação de diferentes resíduos no setor de pavimentação também tem sido explorada em outros estudos recentes, como é o caso de Mendonça (2023), que avaliou a aplicabilidade de resíduo de quartzito nas camadas de base e revestimento; Antunes (2022), que analisou a empregabilidade de resíduo de ardósia na composição granulométrica da camada de revestimento; e Silva (2017), que propôs o uso de rejeito de minério de ferro do quadrilátero ferrífero em Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) para revestimento.

Nesse cenário, o presente estudo tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica de aplicação do lodo de ETA em misturas asfálticas a quente, como material de enchimento, a partir da comparação de desempenho com uma mistura padrão de referência. Além disso, pretende-se comparar pavimentos dimensionados para essas duas misturas, a partir do Método de Dimensionamento Nacional (MeDiNa) e do método do DNER.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais

Nas misturas asfálticas em análise foram empregados os seguintes materiais:

- Lodo da ETA Bela Fama, localizada na cidade de Nova Lima/MG;
- Brita de Gnaiss, como material de referência;
- Ligante asfáltico do tipo Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) 50/70.

2.2 Métodos

2.2.1 Dosagem

Para a dosagem da mistura de brita de Gnaisse com adição de lodo de ETA utilizou-se a metodologia Marshall, conforme o método de ensaio DNER-ME 043/95 (DNER, 1995), empregando a maior quantidade possível de filer, dentro dos limites estabelecidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006a), na especificação de serviço DNIT 031/2006, para uma mistura asfáltica da faixa C, aplicável em camadas de rolamento.

Enquanto a mistura padrão de referência, sem adição de lodo, foi adotada conforme a dosagem na faixa C apresentada por Silva (2017), que também utilizou a metodologia Marshall, com os mesmos materiais e instalações de laboratório que o presente trabalho.

2.2.2 Avaliação de desempenho

A avaliação de desempenho consistiu de uma análise comparativa entre ambas as misturas, com uma campanha de ensaios, cuja composição é detalhada pelo Quadro 1. Uma vez determinados os módulos de resiliência e os parâmetros de fadiga, foi possível definir a classe de fadiga das misturas em análise.

Quadro 1. Campanha de ensaios para análise de desempenho

Ensaio	Norma
Determinação da resistência à tração por compressão diametral	DNIT 136/2018 – ME (DNIT, 2018a)
Ensaio Marshall	DNER-ME 043/95 (DNER, 1995)
Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada	DNIT 183/2018 – ME (DNIT, 2018b)
Determinação do módulo de resiliência	DNIT 135/2018 – ME (DNIT, 2018c)

2.2.3 Dimensionamento

A partir dos parâmetros encontrados conforme o item 2.2.2, realizou-se o dimensionamento de propostas para pavimentação, aplicando as misturas em análise na camada de revestimento. A Tabela 1 apresenta um resumo dessas propostas.

Tabela 1. Propostas de pavimentos

Identificação	Material de revestimento	Metodologia	Subleito
LD-M01	Mistura com lodo de ETA	MeDiNa	01
LD-M02	Mistura com lodo de ETA	MeDiNa	02
LD-D01	Mistura com lodo de ETA	DNER	01
LD-D02	Mistura com lodo de ETA	DNER	02
REF-M01	Mistura de referência (Gnaisse)	MeDiNa	01
REF-M02	Mistura de referência (Gnaisse)	MeDiNa	02
REF-D01	Mistura de referência (Gnaisse)	DNER	01
REF-D02	Mistura de referência (Gnaisse)	DNER	02

A Tabela 2 apresenta as camadas dos pavimentos dimensionados, com seus respectivos módulos de resiliência (MR), deformações permanentes (DP) e coeficientes de Poisson (ν). Os materiais de base e sub-base foram adotados de acordo com a biblioteca disponível no banco de dados do programa computacional MeDiNa, selecionados de acordo com os critérios apresentados por Bernucci *et al.* (2022). Enquanto as duas alternativas de subleito foram adotadas conforme Lima *et al.* (2018) e Guimarães (2009).

Os dados de tráfego, número de operações de eixo padrão $N = 9,71 \times 10^6$, e a estrutura inicial dos pavimentos em análise, base e sub-base granulares, foram adotados de acordo com Silva (2017). Esses dados foram submetidos aos procedimentos de dimensionamento pelos métodos MeDiNa (DNIT, 2021) e DNER (1981). No segundo caso, foi necessário fazer uma correlação entre a classificação MCT (Miniatura,

Compactado, Tropical), definida conforme a norma DNIT 259/2023 (DNIT, 2023), e o MR dos solos para obtenção do Índice de Suporte Califórnia, conforme o Manual de Pavimentação do DNIT (2006b).

Tabela 2. Camadas dos pavimentos

Camada	Material	MR [MPa]	MR regressão $k_1; k_2; k_3; k_4$	DP $\psi_1; \psi_2; \psi_3; \psi_4$	v
Revestimento	Concreto asfáltico – REF		Caracterizado nesta pesquisa		0,30
Revestimento	Concreto asfáltico – LD		Caracterizado nesta pesquisa		0,30
Base	Gnaisse C5 (MeDiNa)	381	-	0,0868; -0,2801; 0,8929; 0,0961	0,35
Sub-base	Gnaisse C1 (MeDiNa)	259	-	0,1608; -0,0970; 0,5250; 0,0752	0,35
Subleito - 01	Solo Laterítico BR-493/RJ (Lima <i>et al.</i> , 2018)	568	531,5000; 0,6125; -0,7330; -	0,0940; 0,3800; 0,9460; 0,0420	0,45
Subleito - 02	Solo Laterítico SP-333 (Guimarães, 2009)	258	446,5000; 0,2620; -0,0860; -	0,2060; -0,2400 1,3400; 0,0380	0,45

Os pavimentos dimensionados pelo método do DNER também passaram por uma avaliação no MeDiNa, com o objetivo de analisar a área trincada e o afundamento de trilha de roda, sem alterar as espessuras das camadas. Em todos os casos, a análise no MeDiNa considerou uma via do tipo sistema arterial principal, o que retorna um nível de confiabilidade de 95% nas análises, e um período de projeto de 10 anos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Dosagem

O teor ótimo de ligante encontrado para a mistura com lodo de ETA foi de 6,35%, superior ao da mistura de referência que possui 5,0%, conforme Silva (2017). Ainda assim, o valor atende às especificações do DNIT (2006a), que prevê um teor entre 4,5 e 9,0% para as misturas asfálticas da faixa C.

3.2 Avaliação de desempenho

A Tabela 3 apresenta um resumo comparativo dos resultados encontrados nas análise de desempenho, para a mistura com lodo de ETA (LD) e a de referência (REF). Na mesma tabela também são apresentados os valores requeridos pelo DNIT (2006a), na especificação de serviço DNIT 031/2006; os valores requeridos pelo DER-SP (2005), na especificação técnica ET-DE-P00/027, que apresenta padrões mais rigorosos que o DNIT; e, no caso do módulo de resiliência, é apresentada uma média esperada para o ligante asfáltico utilizado, conforme Medina e Motta (2015).

Tabela 3. Resultados da análise de desempenho

Parâmetro	LD	REF	DNIT (2006a)	DER-SP (2005)	Medina e Motta (2015)
Resistência à tração [MPa]	1,12 ± 0,08	1,60 ± 0,07	≥ 0,65	≥ 0,80	-
Estabilidade [kN]	17,88 ± 2,25	24,91 ± 2,16	≥ 5,00	≥ 8,00	-
Fluência [mm]	3,30 ± 0,44	2,12 ± 0,39	-	2,00 a 4,00	-
Módulo de resiliência [MPa]	5911 ± 942	8833 ± 1331	-	-	4000

Os resultados encontrados indicam que ambas as misturas apresentam parâmetros que atendem aos requisitos estabelecidos pela bibliografia, ainda que a mistura com lodo de ETA seja ligeiramente inferior. Quanto à análise relacionada à fadiga apresentada pelas misturas, a Figura 1 apresenta em um gráfico a classe de fadiga das misturas com lodo (em amarelo) e de referência (em azul). Os pontos em cinza são referentes a

105 misturas asfálticas densas, com diferentes tipos e tamanhos de agregados, utilizando diferentes ligantes asfálticos, que foram apresentadas por Medina e Motta (2015).

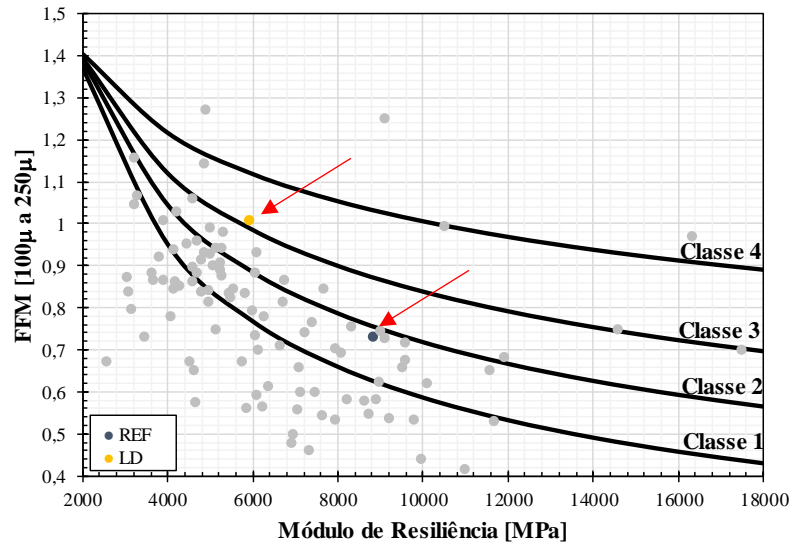


Figura 1. Classe de Fadiga

A partir dessa análise é possível perceber que a mistura com lodo apresenta resultados muito promissores quanto à classe de fadiga, superior à mistura de referência e à maior parte das misturas apresentadas por Medina e Motta (2015). A Tabela 4 apresenta um resumo dos parâmetros utilizados no dimensionamento.

Tabela 4. Parâmetros do revestimento para dimensionamento

Camada	Material	MR [MPa]	Curva de fadiga $k_1; k_2$	ν
Revestimento	Concreto asfáltico – REF	5911	$2,4076E^{-12}; -3,7728$	0,30
Revestimento	Concreto asfáltico – LD	8833	$3,8164E^{-13}; -3,7505$	0,30

3.3 Dimensionamento

A Tabela 5 apresenta os pavimentos dimensionados por meio do MeDiNa, com os seus respectivos dados de área trincada e afundamento de trilha de roda. Em ambos os cenários de subleito, o revestimento com adição de lodo apresenta uma espessura inferior ao da mistura de referência. Enquanto o dimensionamento pelo método do DNER sugere a aplicação das estruturas ilustradas pela Figura 2.

Tabela 5. Pavimentos dimensionados por meio do MeDiNa

Identificação	Estrutura	Área trincada	Afundamento de trilha de roda
LD-M01	Revestimento – 11,6 cm	29,5%	4,2 mm
	Base – 15,0 cm		
	Sub-base – 15,0 cm		
LD-M02	Revestimento – 12,5 cm	30,0%	6,3 mm
	Base – 20,0 cm		
	Sub-base 30,0 cm		
REF-M01	Revestimento – 13,2 cm	29,3%	3,5 mm
	Base – 15,0 cm		
	Sub-base – 15,0 cm		
REF-M02	Revestimento – 14,4 cm	29,9%	5,0 mm
	Base – 20,0 cm		
	Sub-base 30,0 cm		

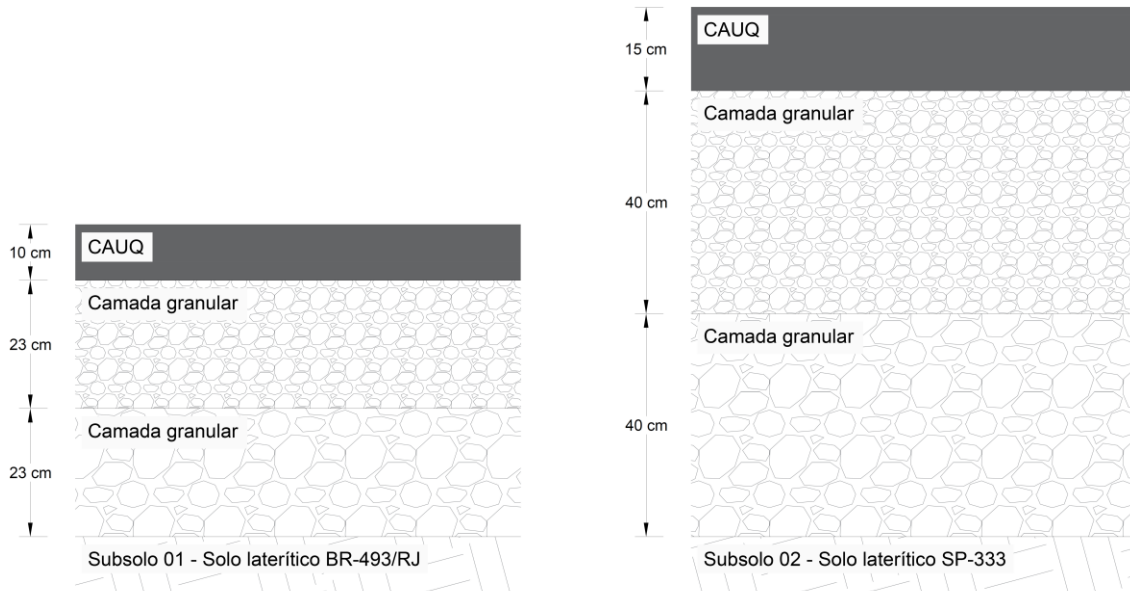


Figura 2 – Estrutura dos pavimentos dimensionados pelo método do DNER

Analisando essas estruturas por meio do MeDiNa, aplicando os mesmos materiais que os pavimentos dimensionados diretamente pelo programa computacional, foram obtidos os dados descritos na Tabela 6. Os pavimentos LD-D01 e REF-D01, ambos com o subleito 01, foram apontados como inadequados para o tráfego em análise.

Tabela 6. Pavimentos dimensionados por meio do método do DNER

Identificação	Estrutura	Área trincada	Afundamento de trilha de roda	Observação
LD-D01	Revestimento – 10,0 cm	37,1%	6,1 mm	Tráfego elevado para a estrutura proposta.
	Base – 23,0 cm			
	Sub-base – 23,0 cm			
LD-D02	Revestimento – 15,0 cm	12,9%	6,8 mm	-
	Base – 40,0 cm			
	Sub-base – 40,0 cm			
REF-D01	Revestimento – 10,0 cm	51,8%	5,7 mm	Tráfego elevado para a estrutura proposta.
	Base – 23,0 cm			
	Sub-base – 23,0 cm			
REF-D02	Revestimento – 15,0 cm	23,5%	6,1 mm	-
	Base – 40,0 cm			
	Sub-base – 40,0 cm			

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista as análises realizadas, é possível verificar um potencial de aplicação do lodo de ETA em misturas asfálticas a quente, uma vez que essa mistura atende aos requisitos e expectativas das normas e bibliografias disponíveis. A característica em destaque para o material é a classe de fadiga, que no dimensionamento pelo MeDiNa leva a menores espessuras para o revestimento, enquanto no dimensionamento pelo método do DNER gera áreas trincadas menores em relação à mistura de referência.

Além disso, também foi possível verificar que, no cenário do subleito 01, os pavimentos dimensionados pelo método do DNER não foram aprovados pelo MeDiNa, provavelmente devido à falta de uma análise aprofundada em relação à fadiga, ao longo da vida útil do pavimento, no primeiro método. Já no cenário do subleito 02, apesar de os pavimentos encontrados por meio do método do DNER terem sido aprovados pelo

MeDiNa, eles apresentam camadas mais espessas que aqueles dimensionados diretamente pelo segundo método.

Em estudos futuros, poderão ser analisados outros aspectos dessa aplicabilidade, como a viabilidade financeira e a avaliação prática da mistura proposta, por meio de uma pista experimental.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal de Ouro Preto, em especial ao Laboratório de Ferrovias e Asfalto, cujas instalações possibilitaram a condução desse projeto. Ao Whilison, do Laboratório de Geotecnia de Pavimentos do NUGEO, por fornecer o ligante asfáltico e auxiliar a interpretação dos ensaios de MR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992). NBR 12216. *Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004). NBR 10004. *Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro.
- Alves, H. C. (2019) *Análise laboratorial de lodos desidratados de estações de tratamento de água da região metropolitana de Belo Horizonte – MG para uso em pavimentação*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia. Escola de Minas/ UFOP, 112 p.
- Antunes, M. A. D. G (2022) *Estudos geotécnicos de resíduos sólidos industriais de ardósia visando seu emprego na pavimentação viária na região central de Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia. Escola de Minas/ UFOP, 218 p.
- Bernucci, L. B. *et al.* (2024) *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*, 2ª ed., Gráfica Imprinta, Rio de Janeiro, 504 p.
- Brasil (2007). Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. *Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- Brasil (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- Confederação Nacional do Transporte. (2023) *Boletins Técnicos CNT – janeiro 2023*. Brasília, 33 p.
- Cordeiro, J. S. (2001) *Processamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água (ETAs)*. In: ANDREOLI, C. V. *Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final*, 1ª ed., RiMa, Rio de Janeiro, 282 p.
- Delgado, J. V. C. (2016) *Avaliação da aplicação do lodo da ETA Guandu na pavimentação como disposição final ambientalmente adequada*. Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Civil, COPPE/ UFRJ, 132 p.
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (2005). ET-DE-P00/027. *Especificação técnica: concreto asfáltico*. São Paulo, 45 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1981). *Método de projeto de pavimentos flexíveis*, 3ª. ed, Rio de Janeiro, IPR, 34 p.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1995). DNER-ME 043/95. *Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall*, 11 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006a). DNIT 031/2006. *Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço*, IPR, Rio de Janeiro, 14 p.

- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2006b). *Manual de Pavimentação*, IPR, Rio de Janeiro, 274 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2018a). DNIT 136/2018. *Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio*, IPR, Rio de Janeiro, 9 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2018b). DNIT 183/2018. *Pavimentação asfáltica - Ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada – Método de ensaio*, IPR, Rio de Janeiro, 15 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2018c). DNIT 135/2018. *Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência - Método de ensaio*, IPR, Rio de Janeiro, 13 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2021). IS-247. *Estudos para Elaboração de Projetos de Implantação usando o Método de Dimensionamento Nacional - MeDiNa*, 20 p.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2023). DNIT 259/2023. *Solos – Classificação de solos finos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos de prova compactados em equipamento miniatura – Classificação*, IPR, Rio de Janeiro, 8 p.
- Guimarães, A. C. R. (2009). *Um método mecânico empírico para a previsão da deformação permanente em solos tropicais constituintes de pavimentos*. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia Civil, COPPE/ UFRJ, 352 p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). *Pesquisa nacional de saneamento básico - 2017*. Rio de Janeiro, 124 p.
- Lima, C. D. A. *et al.* (2018) Contribution to the Study of Brazilian Tropical Soils as Pavement Materials, Fortaleza, *13º Conference on asphalt pavements – ISAP*.
- Lucena, L. C. F. L. (2012) *Estudo da aplicação da mistura solo-lodo em base e sub-base de pavimentos*. Dissertação de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociência/ UFPE, 263 p.
- Martínez, J. G. B. (2014) *Avaliação de desempenho de Misturas Betuminosas com adição de lodos de ETA e de ETE*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil/ UnB, 97 p.
- Medina, J. D.; Motta, L. M. G. D. (2015) *Mecânica dos Pavimentos*, 3ª. ed., Interciência, Rio de Janeiro.
- Mendonça, Whilison M. (2023) *Desempenho do resíduo de quartzito como agregado em camadas de base e revestimento de pavimentos*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia. Escola de Minas/ UFOP, 166 p.
- Mine, J. H. *et al.* (2018) *Reaproveitamento de lodos de saneamento de ETA, fossa e tanque séptico como matéria-prima na construção civil: uma revisão*. São Paulo, 8 p.
- Ministério da Saúde (2011). Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. *Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 15 jan. 2024.
- Richter, C. A. (2009) *Água: métodos e tecnologia de tratamento*, Blucher, São Paulo, 340 p.
- Silva, J. F. A. (2008) *Comportamento de concreto asfáltico tendo lodo da ETA da cidade de Manaus como filler*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/ UFAM, 161 p.
- Silva, R. G. O. *Caracterização de concreto asfáltico elaborado com rejeitos de minério de ferro do quadrilátero ferrífero*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Núcleo de Geotecnia. Escola de Minas/ UFOP, 205 p.