



**FACULDADE UNIRB ARAPIRACA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

CECYLIA CRISTHINA SILVA VIEIRA SANTOS

SUSTENTABILIDADE NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

**ARAPIRACA/AL
2021**

CECYLIA CRISTHINA SILVA VIEIRA SANTOS

SUSTENTABILIDADE NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

TCC apresentado como requisito para conclusão do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIRB.

Orientador: Anderson Ravanny de Andrade Gomes.

**BIBLIOTECA ZUZA PEREIRA / CENTRO UNIVERSITÁRIO REGIONAL DO BRASIL –
UNIRB**

SANTOS, Cecylia Cristhina Silva Vieira
Sustentabilidade na pavimentação rodoviária./ Cecylia Cristhina Silva
Vieira Santos. – Arapiraca Al, 2021.
33f.

Monografia (graduação) do Curso de Bacharel em Engenharia Civil –
Faculdade UNIRB Arapiraca..

Orientador (a): Prof. Prof. Dr. Anderson Ravanny de Andrade Gomes.

1. Meio ambiente. 2. Sustentabilidade. 3. Pavimentação. Resíduos.
Rodovias.
I. Sustentabilidade na pavimentação rodoviária.

CDD: 624

SUSTENTABILIDADE NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

CECYLIA CRISTHINA SILVA VIEIRA SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em ENGENHARIA CIVIL da Faculdade UNIRB Arapiraca, como requisito para obtenção do título de Bacharel em ENGENHARIA CIVIL.

Trabalho aprovado em: 23/11/2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Anderson Ravanny de Andrade Gomes - Orientador

Prof. Me. Ícaro Caíque Azevedo Almeida - Examinador

Profa. Me. Julyanna de Melo Ribeiro – Examinador(a)

Arapiraca-AL

2021

Dedico esta minha graduação primeiramente a Deus, o autor e consumidor da minha fé e, aos meus pais por todo o incentivo, preocupações e renúncia.

AGRADECIMENTOS

Minha gratidão em primeiro lugar a Deus pela capacidade e força para chegar até aqui e poder dizer: Ebenézer, até aqui me ajudou o Senhor. Ele que de maneira tão linda e perfeita, fez meu sonho se tornar real.

Aos meus pais, minha eterna gratidão, por todo o incentivo nessa longa caminhada de formação acadêmica. Sei que não foi fácil, mas Deus surpreende, e pra honra e glória do Senhor, irão no mesmo ano, formar as 2 filhas. Nunca esquecerei o que fizeram e fazem para nos dá o melhor.

Coração grato também a minha irmã por tudo e tanto. Minha companheira das viagens e de luta acadêmica. Juntas provamos e passamos por muitas coisas, mas louvamos ao Senhor, que quanto chegávamos em casa, encontrávamos colo e abrigo.

Gratidão a todos os meus tios e tias pelo apoio e carinho, que juntos se uniram e embarcaram em meus sonhos e projetos. As minhas amigas e irmãs do coração, por sonharem e torcerem por mim. Sempre tinham uma palavra de conforto e apoio em dias difíceis e cansativos. Aos meus irmãos em Cristo pelas orações, intercessões e preocupações.

Sou grata a toda família Unirb, que em meio as dificuldades, sempre nos traziam resoluções e apoio. Dentre todos os que compõem a rede de ensino, hoje carrego muitos profissionais e funcionários como amigos.

Agradeço de coração por toda parcela de conhecimento, ensino e incentivo aos mestres e professores, que muitas vezes deixarem suas dores e sua missão de mestres, e nos ajudar como amigos, psicólogos e até se unirem, sentirem e entenderem o nosso lado. Por acreditarem e nos mostrarem que vale a pena toda a entrega e dedicação. Vocês por muitas vezes que paravam as aulas e nos traziam lições de exemplo e determinação.

Gratidão em especial ao professor e nosso coordenador Anderson Ravanny, que em momento bem difícil na Unirb em especial na coordenação do nosso curso, ele se dispôs a nos ajudar, esteve, está e sempre presente nos dando seu melhor. Nunca irei esquecer!

Enfim, a cada um que de maneira direta ou indireta participaram desse momento. Gratidão me define!

“A base de toda a sustentabilidade é o desenvolvimento humano que deve contemplar um melhor relacionamento do homem com os semelhantes e a natureza”.

Nagib Anderáos Neto.

RESUMO

Sustentabilidade tem sido o termo mais empregado nos últimos anos em todos os setores, como por exemplo, indústria, saúde, educação, assim como na Engenharia Civil, uma vez que, essa é uma área de construção e, precisa compreender o verdadeiro sentido e significado dessa palavra, tendo em vista que, a construção tem sido um dos fatores que mais tem contribuído com a degradação ambiental, devido aos materiais utilizados nas obras. Nesse sentido, o presente trabalho faz uma menção a respeito da pavimentação rodoviária e os materiais empregados nesse tipo de obra apresentando assim uma visão sustentável. Como objetivo, o mesmo busca conhecer os principais danos ambientais causados pelas rodovias e os de resíduos aplicados em pavimentação rodoviária que tenha uma visão sustentável. A sustentabilidade está relacionada com a manutenção de propriedades e capacidades dos ecossistemas para sustentar a vida, com um uso da natureza em sistemas produtivos que não coloquem em risco essas capacidades e que também forneçam uma qualidade adequada para as pessoas nesse contexto. São muitos os poluentes potenciais que podem prejudicar a qualidade. O homem tem buscado minimizar os danos causados ao ambiente devido as más ações, como por exemplo, o uso de materiais com potencialidade em danificar o mesmo, passando assim a utilizar resíduos com baixa potencia dos impactos negativos, principalmente nas pavimentações rodoviárias. Para o desenvolvimento desse trabalho foi utilizada a pesquisa bibliográfica tendo como fonte sites eletrônicos onde encontrou-se artigos, monografias e periódicos, realizando assim leituras pormenorizadas desses materiais. Como resultados, afirma-se que cada trabalho encontrado apontou diferentes tipos de resíduos que podem ser utilizados na pavimentação asfáltica por apresentar uma visão ecológica e totalmente sustentável, além de econômica.

Palavras-chave: Meio ambiente. Sustentabilidade. Pavimentação. Resíduos. Rodovias.

ABSTRACT

Sustainability has been the most used term in recent years in all sectors, such as industry, health, education, as well as in Civil Engineering, since this is a construction area and it needs to understand the true meaning and meaning of this word, considering that construction has been one of the factors that has contributed the most to environmental degradation, due to the materials used in the works. In this sense, the present work mentions the road paving and the materials used in this type of work, thus presenting a sustainable vision. Thus, as an objective, it seeks to know the main types of waste applied in road paving that have a sustainable vision. Sustainability is related to the maintenance of properties and capacities of ecosystems to sustain life, with a use of nature in productive systems that do not put these capacities at risk and that also provide an adequate quality for people in this context. There are many potential pollutants that can harm quality. Man has sought to minimize the damage caused to the environment due to bad actions, such as the use of materials with the potential to damage the environment, thus starting to use waste with a low potential for negative impacts, especially on road pavements. For the development of this work, bibliographical research was used, having as source electronic sites where articles, monographs and periodicals were found, thus carrying out detailed readings of these materials. As a result, it is stated that each work found pointed out different types of residues that can be used in asphalt paving for presenting an ecological and totally sustainable vision, in addition to being economical.

Key Word: Environment. Sustainability. Paving. Waste. Highways.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 A importância da sustentabilidade no século XXI.....	13
2.2 A pavimentação: contexto histórico e conceitos.....	15
2.3 Pavimentação asfáltica e os impactos ambientais	19
2.4 Estradas sustentáveis: uma proposta inovadora.....	21
3 METODOLOGIAS.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pavimento de concreto-cimento.....	15
Figura 2 – Pavimento asfáltico.....	16
Figura 3 – Estrada da Velha do Mar.....	18
Figura 4 – Poluição de uma usina de asfalto.....	20

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o setor da construção civil vem desenvolvendo técnicas e métodos viáveis de sustentabilidade no cotidiano dos canteiros de obra, aliviando os problemas ambientais causados pelos descartes inadequados. O costume de reciclagem está se tornando a escolha das indústrias da construção civil, onde tem sido uma maneira para o baixo impacto ambiental, como também reduzir despesas na elaboração de novos produtos do mesmo insumo, assegurando o reaproveitamento do mesmo material ou apenas reutilizando-os.

Segundo Oliveira (2014), gerou-se a necessidade de estabelecer um uso mais racional destes recursos com foco em uma indústria mais sustentável. Toda busca por materiais reutilizáveis no cenário de obras, está voltada à preocupação da escassez dos recursos convencionais, e, com êxito a pesquisa por materiais alternativos para a composição de estradas sustentáveis e de gasto reduzido.

De acordo com Câmara (2019), tratando-se da construção civil, mais especificadamente da pavimentação asfáltica, a construção de rodovias exige uma quantidade significativa de materiais não renováveis. O entulho, por exemplo, é um material utilizado para a preparação de base, sub-base e revestimento primário de pavimentos.

Portanto, pensando na necessidade de aliar as questões sociais da natureza em virtude do consumo de recursos naturais renováveis e não renováveis e a evolução e transformação imposta a construção, no decorrer dos anos surgiram diversas versões alternativas, econômicas ou ecológicas na execução da pavimentação asfáltica.

A construção de novas estradas causa impactos que afetam tanto a vida de pessoas como o meio ambiente. Ao construir uma rodovia, realiza-se uma série de estudos acerca dos possíveis impactos ambientais que essa construção pode causar. Boa parte desses estudos indicam possíveis impactos e, em grande parte dos projetos, não há medidas mitigadoras. Existem impactos na fabricação de produtos asfálticos que podem trazer riscos tanto ao bem estar da sociedade como ao meio ambiente. Para Ribeiro et al., (2018), o segmento de pavimentação rodoviária contribui com a produção de poluentes atmosféricos, causando elevado impacto na qualidade do ar. O problema mencionado deve-se aos componentes das misturas no processo de obtenção do asfalto.

Para o autor, os elementos utilizados na pavimentação, como ligante asfáltico, também chamado de Cimento Asfalto Petróleo (CAP), causam sérios danos devido ao material ser constituído da última fração resultante do processo de destilação desse material, caracterizado pela alta viscosidade, cor escura e por ser um material inflamável. Entretanto, a preocupação que se tem entorno desse processo é decorrente da sua composição química. Trata-se de uma mistura de hidrocarbonetos (90 a 95%), contendo, também, heteroátomos de nitrogênio, enxofre, entre outros (5 a 10%). Ainda no processo de fabricação, no momento do aquecimento, as temperaturas podem chegar a 150°C, e, com isso, estes hidrocarbonetos que compõem o ligante são emitidos no ar.

Além da falta de sustentabilidade existem outros problemas que de acordo com Tundisi (2008) no amplo contexto social, econômico e ambiental do século XXI, as principais causas dos grandes problemas da degradação ambiental são os resíduos utilizados em diversas construções, como por exemplo, nas rodovias e estradas. A inovação se torna necessária e, com o avanço tecnológico é possível construir rodovias e estradas que tenham em sua composição resíduos sustentáveis, ou seja, materiais com baixo teor de contaminação ou poluição.

A partir dessas informações surge o seguinte problema: Quais os tipos de resíduos utilizados nas obras de pavimentação de rodovias que tem uma visão sustentável? Para a busca da resolução da problemática utilizou-se como recurso metodológico a pesquisa bibliográfica, tendo como fonte sites eletrônicos, como o Scielo, Google Acadêmico e outros. Nestes foram encontrados artigos, monografias e periódicos que abordaram o tema de forma significativa.

Os objetivos que nortearam a pesquisa foram: conhecer os principais danos ambientais causados pelas rodovias e os de resíduos aplicados em pavimentação rodoviária que tenha uma visão sustentável; apontar os resíduos mais indicados e sustentáveis na pavimentação de rodovias; citar as consequências de utilizar resíduos não sustentáveis nas pavimentações de rodovias e destacar impactos ambientais negativos causados por pavimentação rodoviária.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Importância da Sustentabilidade no Século XXI

A sustentabilidade tem sido um tema bastante discutido na sociedade contemporânea em todos os segmentos, como por exemplo, na engenharia, pois o grande número de entulhos e resíduos provenientes da indústria e da construção civil tem gerado problemas para o meio ambiente. O desenvolvimento sustentável está relacionado com a manutenção de propriedades e capacidades dos ecossistemas para sustentar a vida, com um uso da natureza em sistemas produtivos que não coloquem em risco essas capacidades e que também forneçam uma qualidade adequada para as pessoas nesse contexto (PINTO, 2005).

É importante ressaltar ainda que, para que o desenvolvimento sustentável obtenha sucesso, não basta apenas a conscientização da sociedade em proteger o seu meio ambiente, mas é primordial a adoção de políticas públicas eficazes que comportem um desenvolvimento capaz de atender as necessidades das gerações presentes sem comprometer o futuro das próximas gerações (VIANA e COSTA, 2015).

O conceito de sustentabilidade começou a ser delineado na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano (United Nations Conference on the Human Environment - UNCHE), realizada na Suécia, na cidade de Estocolmo de 5 a 16 de junho de 1972, a primeira conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente e a primeira grande reunião internacional para discutir as atividades humanas em relação ao meio ambiente.

Para Leite (2003), terminologias como tecnologia limpa, processo limpo, síntese limpa e sustentabilidade, tem se tornado frequente na literatura dos últimos anos e demonstram uma nova conduta química para o aprimoramento de processos com o objetivo de redução na geração de resíduos e efluentes tóxicos, bem como a menor produção de gases indesejáveis ao meio ambiente.

Observam-se que na modernidade, a população tem se preocupado com o lixo que produz buscando novas maneiras de reduzi-los a ponto de causar pouco impacto ao ambiente. Tem-se ouvido bastante nos últimos anos a questão do reciclar, recriar e reutilizar. Essa iniciativa tem causado grande mudança ao ambiente, pois se

percebe a redução de muitos resíduos que outrora estavam espalhados pelas ruas ou jogados em rios e mares.

Segundo Prado (2003) a sustentabilidade tem a preocupação com o desenvolvimento de tecnologias e processos capazes de reduzir ou não gerar poluição, isto é, reduzir o impacto que processos químicos provocam ao meio ambiente, gerando o desenvolvimento econômico e social de forma limpa e sustentável.

A 1ª Conferência Nacional de Saúde Ambiental (CNSA), realizada em dezembro de 2009, tratou da Saúde Ambiental na cidade, no campo e na floresta. Objetivando construir uma cidadania com qualidade de vida e territórios sustentáveis. Este evento por sua vez foi muito importante, não simplesmente pelo fato deste ter sido o primeiro que tratasse da sustentabilidade ambiental, mas também pelo caráter transversal e intersetorial do campo explicitado no objetivo geral, indicando que a promoção da Saúde Ambiental pressupõe a realização de políticas públicas integradas.

Nesta Conferência foi tratado temas relevantes que diz respeito à sustentabilidade, como por exemplo, desenvolvimento e sustentabilidade socioambiental no campo, na cidade e na floresta; trabalho, ambiente e saúde: desafios dos processos de produção e consumo nos territórios; democracia, educação, saúde e ambiente: políticas para uma construção de territórios sustentáveis (1ª CNSA, 2009).

A Conferência de Estocolmo lançou as bases das ações ambientais em nível internacional, chamando a atenção internacional especialmente para questões relacionadas com a degradação ambiental e a poluição que não se limita às fronteiras políticas, mas afeta países, regiões e povos, localizados muito além do seu ponto de origem (ONU, 1972).

É interessante saber também que a Declaração de Estocolmo, que se traduziu em um Plano de Ação, define princípios de preservação e melhoria do ambiente natural, destacando a necessidade de apoio financeiro e assistência técnica a comunidades e países mais pobres. Embora a expressão "desenvolvimento sustentável" ainda não fosse usada, a declaração, no seu item 5, já abordava a necessidade ímpar: "defender e melhorar o ambiente humano para as atuais e futuras gerações" (ONU, 1972).

Tem-se realizado diversos movimentos e campanhas em prol da sustentabilidade, sendo assim, faz-se necessário uma conscientização mais precisa para a população compreender que, se não houver mudanças nas construções, ou seja, utilização de recursos materiais com visão sustentável, apresentando assim uma baixa potencialidade dos impactos negativos, as gerações futuras, provavelmente terão sérios problemas de sobrevivência.

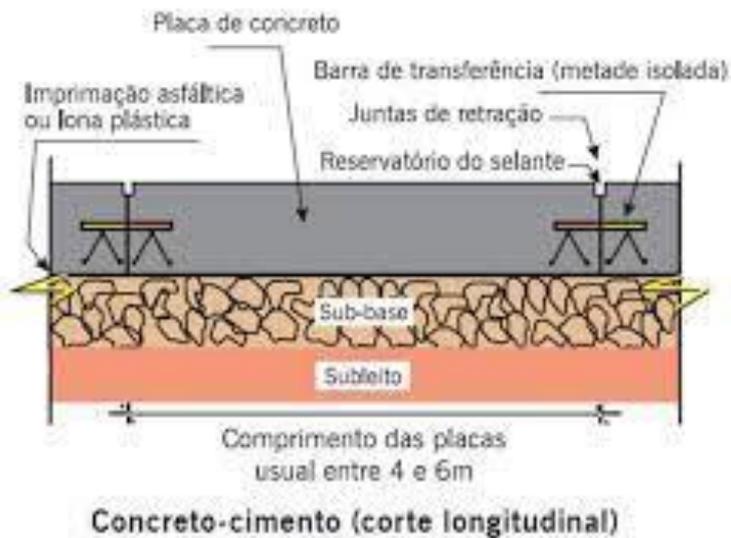
2.2 A pavimentação: contexto histórico e conceitos

De acordo com Liedt Bernucci et al., (2006), pavimento pode ser compreendido como uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas sobre a superfície final de terraplanagem, com a finalidade para resistir aos esforços decorrentes do tráfego de veículos e do clima. Outra finalidade da pavimentação é oferecer melhorias às pessoas nas possibilidades do ir e vir com maior conforto, segurança e economia.

Os autores supracitados afirmam ainda que, o pavimento rodoviário é classificado de forma tradicional em dois tipos, a saber: rígido e flexível, porém, devido aos avanços tecnológicos, recentemente surgiu uma nova tendência que é o uso do termo pavimentos de concreto de cimento Portland (ou simplesmente concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento.

Os pavimentos de concreto-cimento são aqueles em que o revestimento é uma placa de concreto de cimento Portland. Nesses pavimentos a espessura é fixada em função da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes. As placas de concreto podem ser armadas ou não com barras de aço, como mostra a Figura 1. É comum nesse tipo de pavimento designar a subcamada como uma sub-base, uma vez que a qualidade dos resíduos ou materiais são equivalentes a sub-base de pavimentos asfálticos.

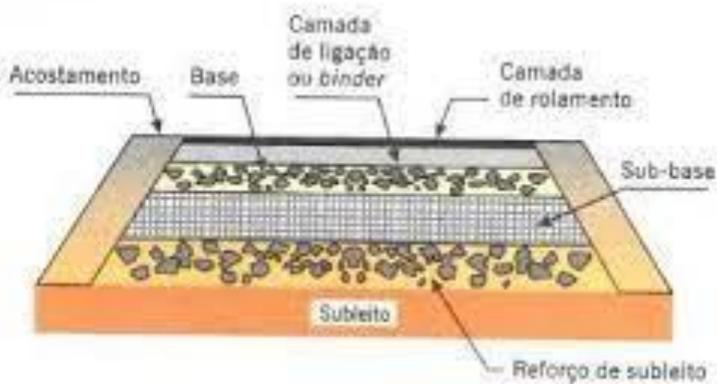
Figura 1 – Pavimento de concreto-cimento



Fonte: Bernucci et al., (2006)

Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico pode ser composto por camada de rolamento em contato direto com as rodas dos veículos e por camadas intermediárias ou de ligação, por vezes denominadas de *binder*.

Figura 2 – Pavimentos asfálticos



(b) Asfáltico (corte transversal)

Fonte: Bernucci et al., (2006)

Os revestimentos asfálticos são constituídos por associação de agregados e de materiais asfálticos, podendo ser de duas maneiras principais, por penetração ou por mistura. Por penetração refere-se aos executados através de uma ou mais aplicações de material asfáltico e de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. No revestimento por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material asfáltico, antes da compressão (BERNUCCI ET AL., 2006).

A história da pavimentação concerne à história da humanidade, englobando assim, questões do povoamento continental, as conquistas de cada território, a expansão comercial, a cultura, religião, urbanização e desenvolvimento de forma geral. Uma das estradas pavimentadas mais antigas contemplada na história humana teve como finalidade a passagem de trenós transportando cargas e não veículos de rodas (BERNUCCI ET AL., 2006).

De acordo com Saunier (1936), para a construção das pirâmides no Egito entre os anos de 2600-2400 a.C, foram construídas vias com lajões justapostas em base com uma boa capacidade de suporte. A atrição era minimizada a partir do umedecimento de forma constante com água, azeite ou musgo molhado.

No decorrer da história da humanidade foram muitos os tipos de estradas construídas, possibilitando assim, o transporte de mercadorias, veículos e de pessoas. Bittencourt (1958) registra diversas referências históricas de estradas construídas no tempo antigo que atendiam à Assíria (reino também na Mesopotâmia) e à Babilônia, assim como velhos caminhos da Índia e da China, mesmo aqueles considerados apenas itinerários, e identificados a partir de estudos arqueológicos, históricos, agrícolas e linguísticos. Entre esses caminhos, merece destaque a chamada Estrada da Seda, uma das rotas de comércio mais antigas e historicamente importantes devido a sua grande influência nas culturas da China, Índia, Ásia e também do Ocidente. Lembrando que, a Estrada da Seda não existia apenas com o propósito do comércio da seda, mas de diversas outras mercadorias como ouro, marfim, animais e plantas exóticas (BERNUCCI ET AL., 2006).

Muitas das estradas da antiguidade, como a de Semíramis, transformaram-se na modernidade em estradas asfaltadas. Embora seja reconhecida a existência remota de sistemas de estradas em diversas partes do globo, construídas para fins religiosos (peregrinações) e comerciais, foi atribuída aos romanos a arte maior do planejamento e da construção viária (BERNUCCI ET AL., 2006).

De acordo com Ribas (2003), no Brasil, uma das primeiras estradas reportadas tem início em 1560, à época do terceiro governador-geral do país, Mem de Sá. Trata-se do caminho aberto para ligar São Vicente ao Planalto Piratininga. Em 1661, o governo da Capitania de São Vicente recuperou esse caminho, construindo o que foi denominada Estrada do Mar (ou Caminho do Mar), permitindo assim o tráfego de veículos. Na atualidade, essa estrada é conhecida como Estrada Velha do Mar, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Estrada Velha do Mar



Ribas (2003)

Em 1789, a estrada foi recuperada, sendo a pavimentação no trecho da serra feita com lajes de granito, a chamada Calçada de Lorena, ainda em parte preservada. A Estrada do Mar emprestou parte do seu traçado para a construção da Estrada da Maioridade, em homenagem à maioridade de D. Pedro II, iniciada em 1837 e concluída em 1844. Em 1913, iniciou-se novamente uma recuperação, mas a estrada foi posteriormente abandonada devido à concorrência da linha férrea. Todavia, no ano de 1928, o então presidente Washington Luiz, no dia 25 de agosto inaugurou a estrada Rio-Petrópolis, a primeira rodovia asfaltada do Brasil. O Presidente tinha o seguinte lema: “Governar é abrir estradas”.

Mediante a essa história sucinta, porém bastante enriquecedora, percebe-se que, a questão da pavimentação e construção de rodovias é algo que acontece há muito tempo e, em cada época, conta a história que, as estradas foram pavimentadas por diferentes materiais, como pedras ou cimentos. No entanto, com a crescente demanda e, a necessidade de ampliar novas possibilidades ou estradas para a

expansão comercial e outras, novos resíduos ou materiais têm sido aplicado nessas construções. Porém, são materiais que apresentam um grande potencial prejudicial ao meio ambiente. Assim, busca-se por meio desse estudo apresentar os impactos que a pavimentação causa ao ambiente e a necessidade de se utilizar resíduos com visão sustentável.

2.3 Pavimentação asfáltica e os impactos ambientais

Apesar dos grandes benefícios que as estradas e rodovias promovem à humanidade, pode-se dizer que as mesmas são também causas da degradação que se tem observado no meio ambiente. Quando se constrói uma rodovia, são realizados diagnósticos que tenham a capacidade de apontar os possíveis danos ao meio ambiente, no entanto, boa parte dos projetos não apresentam medidas mitigatórias, ou seja, medidas estabelecidas antes da instalação do empreendimento, e visam à redução dos efeitos provenientes dos impactos ambientais negativos gerados por tal ação. De acordo com Ribeiro et al., (2018), a pavimentação de rodovias tem contribuído com a produção de potentes resíduos que causam grandes impactos na qualidade do ar atmosférico.

A poluição por resíduos advindos dos componentes das misturas do material utilizado no asfalto tem sido um dos problemas a ser solucionados, por isso, busca-se, a partir dos avanços tecnológicos e da ciência por materiais que tenham uma visão sustentável, ou seja, que tenha um baixo teor de poluentes, evitando assim danos à saúde das pessoas, assim como ao meio ambiente. A sustentabilidade não deve ser preocupação unicamente das indústrias alimentícias ou têxteis, mas também de todas as esferas e, a construção civil não deve ficar de fora. É preciso inovar a partir de materiais ou resíduos que garanta a população melhorias em todos os sentidos, principalmente na saúde e sustentabilidade ambiental.

Os elementos utilizados na pavimentação, como ligante asfáltico, também chamado de Cimento Asfalto Petróleo, causam sérios danos devido ao material ser constituído da última fração resultante do processo de destilação desse material, caracterizado pela alta viscosidade, cor escura e por ser um material inflamável. Entretanto, a preocupação entorno desse processo é decorrente da sua composição química. Trata-se de uma mistura de hidrocarbonetos (90 a 95%), contendo, também,

heteroátomos de nitrogênio, enxofre, entre outros (5 a 10%). Ainda no processo de fabricação, no momento do aquecimento, as temperaturas podem chegar a 150°C, e, com isso, estes hidrocarbonetos que compõem o ligante são emitidos no ar (RIBEIRO ET AL., 2018).

Outro grande problema apontado pelos autores Ribeiro et al., (2018) diz respeito as usinas convencionais que fabricam os materiais para aplicar no asfalto. A poluição ao redor é intensa, ocasionando assim grandes transtornos à população ao redor, como ilustra a Figura 4. São muitas as pessoas que desenvolvem patologias decorrentes da poluição advindas das usinas que produzem materiais asfálticos.

Figura 4 – Poluição de usina de asfalto



Fonte: Ribeiro et al., (2018)

De acordo com Oliveira (2014), empregar resíduos ou materiais com visão de sustentabilidade, é imprescindível para um meio ambiente com mais qualidade e, evitar assim impactos que causam mal não só a natureza, mas a todas as pessoas. Entretanto, tais resíduos só podem ser utilizados se, de fato houver um conhecimento acerca de suas composições, evitando assim novas contaminações e/ou poluição ambiental.

A ideia de construir estradas com visão sustentável é uma grande oportunidade de minimizar os impactos ambientais ocasionados pela aplicação de resíduos com alta taxa de poluição, sendo assim, é necessário conhecer melhor os métodos, técnicas e as verdadeiras possibilidades de se empregar no território brasileiro estradas sustentáveis. Nesse sentido, Teixeira (2019) apresenta alguns exemplos de estradas executadas em outros países que, de certa forma inovou e, o mais relevante, minimizou os impactos ambientais.

Teixeira (2019) diz ainda que, “as estradas sustentáveis atuam como uma alternativa limpa”. Na tentativa de melhorar a saúde dos holandeses e proporcionar preservação ambiental, a Holanda criou uma estrada sustentável na cidade de Roterdã, inserindo assim plásticos reaproveitados. Percebe-se que esta ação pode ser compreendida como uma das grandes possibilidades para diminuir o impacto humano no planeta. Assim, já existe um pavimento em fase de experimentos nesse país que é capaz de neutralizar os índices de poluição no ar causada, justamente, pelos veículos automotores. Estes novos asfaltos, além de serem produzidos com a utilização de resíduos, são capazes de mitigar em até 19% os gases poluentes emitidos durante um dia, contando com temperaturas climáticas favoráveis. Este pavimento também pode absorver 45% dos gases poluentes emitidos por veículos.

Nesse sentido, Rosa (2017) diz que há inúmeros materiais capazes de reter a poluição do ar ou pelo menos diminuir esse problema ambiental. A necessidade de se aplicar resíduos sustentáveis na confecção de estradas na contemporaneidade é imprescindível para se obter um ambiente mais saudável e agradável para se conviver.

2.4 Estradas sustentáveis: uma proposta inovadora

De acordo com Aquino et al., (2015), o desenvolvimento sustentável, a prevenção e controle integrados da poluição, são palavras-chave para uma nova abordagem, visando a proteção ambiental. O progresso é uma realidade e necessidade da humanidade, uma vez que, a partir dos avanços tecnológicos os indivíduos usufruem de melhorias e um bem-estar maior, sendo assim, é imprescindível buscar novas possibilidades de desenvolvimento e crescimento como por exemplo, a construção de estradas e rodovias que, proporcionou não só a

expansão e exploração dos territórios, do comércio, mas também da cultura e segurança no deslocamento das pessoas.

Mas, é importante ressaltar que, o progresso precisa acontecer de modo que dê segurança às pessoas e tenha visão sustentável, nesse sentido, as estradas e rodovias devem ser elaboradas ou construídas a partir de materiais que sejam sustentáveis, ou seja, que tenha uma baixa potência de degradação. Segundo Rosa (2017), existem novos materiais que são capazes de absorver a poluição do ar, ou, pelo menos minimizar o impacto destes sobre o meio ambiente. Estes novos asfaltos, além de serem produzidos com a utilização de resíduos, são capazes de mitigar em até 19% os gases poluentes emitidos durante um dia, contando com temperaturas climáticas favoráveis. Este pavimento também pode absorver 45% dos gases poluentes emitidos por veículos.

No entendimento de Tavares (2007), o Brasil é um dos países que mais gasta com reparos em rodovias e estradas consumindo uma grande quantidade de matéria prima o que leva o setor como já ocorre nos países desenvolvidos a desenvolver alternativas para substituir a composição dos agregados de pavimentação preservando as fontes primárias dos recursos naturais.

Para Carneiro et al., (2001), o uso de agregado reciclado em estratos de pavimentação urbana tem sido uma das formas mais regulares para sua reutilização. O proveito deste material em pavimento mostra as muitas vantagens de utilizar quantidades significativas de material reciclado, seja na porção graúda quanto na miúda, pois apresenta facilidade nos processos de execução do pavimento e de produção do agregado reciclado (separação e britagem primária).

Ressalta-se ainda que, segundo Malta, Silva e Gonçalves (2013), todos estes fatores colaboram para a diminuição dos gastos, favorece a propagação dessa maneira de reutilização e contribui para a utilização dos mais variados materiais e componentes dos resíduos de construção e demolição como argamassa, areia, pedras, concretos, e materiais cerâmicos.

De acordo com Brasileiro e Matos (2015), desde o início dos anos 2000 o Brasil tem vivido um novo momento ou cenário que demonstra em várias situações o desejo de apresentar uma sustentabilidade que seja de fato eficaz ao meio ambiente e, esse período tem sido marcado pelas políticas públicas ambientais.

O autor acima (2015) diz ainda que, no ano de 2004 é visível utilização de agregados reciclados em diversas obras e serviços da construção civil, destacando

assim a pavimentação que ganha status e projetos voltados para as obras sustentáveis como os projetos de pavimento ecológico, que busca utilizar apenas materiais reciclados em todo o processo de construção da estrutura da pavimentação.

Logo, entende-se que, os estratos base e a sub-base do pavimento é feita com o implemento de agregado reciclado produzido a partir dos resíduos sólidos de construção civil (BRASILEIRO; MATOS, 2015). Lembrando ainda que, a escolha da proporção das misturas é encontrada na norma NBR 15115/04, intitulada “Agregados Reciclados de Resíduos Sólidos da Construção Civil

Para Teixeira (2018), o uso do concreto reciclado em conformidade com Resolução Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N.º 307, de 2002 pode ser utilizado como materiais secundários para obras residenciais, pavimentação, calçadas, pisos, e meio-fio.

Segundo Gonçalves (2001), o concreto reciclado é produto inanimado recuperado da construção civil por dois aspectos fundamentais, o ambiental proporcionado a diminuição de resíduos produzidos nos canteiros de obras, e o econômico que reduz a utilização da matéria prima original, além de apresentar aspectos de resistência e durabilidade quando comparados com a pasta de cimento puro.

3 METODOLOGIA

3.1 Tipo de pesquisa e Método de abordagem

Para o desenvolvimento do trabalho foi desenvolvida uma revisão bibliográfica do tipo narrativa, realizada a partir da busca de materiais já publicados na literatura e artigos científicos divulgados no meio eletrônico.

Para Fonseca (2002, p. 32), a pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites.

De acordo com Rother (2007), a “revisão narrativa” não utiliza critérios explícitos e sistemáticos para a busca e análise crítica da literatura, ela se baseia nos contextos e ideias de autores, as quais levam para um mesmo desfecho. Vale ressaltar ainda que, a busca pelos estudos não precisa esgotar as fontes de informações, dado que muitas vezes o assunto é extremamente complexo, cheio de novidades científicas e aplicações técnicas atualizadas de forma muito rápida. Ressalta-se ainda que, a seleção dos estudos e a interpretação das informações podem estar sujeitas à subjetividade dos autores.

Pode-se dizer então que, as informações contidas no trabalho foram coletadas por meio da busca não sistematizada tendo como fontes artigos, monografias e periódicos encontrados em bases de dados disponíveis on-line, como por exemplo, o Scielo, Bireme e Google acadêmico. Foram utilizados os seguintes descritores na busca: sustentabilidade, pavimentação, resíduos sustentáveis.

3.2 Delimitação do universo

A partir desse estudo pretende-se conhecer de forma ampla as seguintes questões: quais os resíduos utilizados nas pavimentações de rodovias que apresente um maior teor de sustentabilidade; as consequências do uso de resíduos inadequados nas pavimentações; impactos ambientais causados pela pavimentação de rodovias sem um consentimento da lei; quais leis devem-se observar ao projetar uma pavimentação rodoviária; estradas sustentáveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o desenvolvimento desse trabalho foram selecionados 15 obras, dentre estas, monografias e artigos que abordaram a questão sobre o uso de resíduos em pavimentação rodoviária a partir de uma visão sustentável, de modo bastante satisfatório. Como resultados foi possível compreender que, de acordo com Rezende e Coelho (2015) existe uma relação intrínseca entre desenvolvimento socioeconômico e a construção de rodovias, uma vez que, estas formam criadas com a finalidade de exportar, levar matéria prima para outros lugares, por meio de veículos, assim como, para melhorias, segurança, comodidade e bem-estar das pessoas no ir e vir.

Porém, foi percebido nas pesquisas que, embora as estradas e rodovias são imprescindíveis para o desenvolvimento e progresso da humanidade, estas são também uma das principais causas de grandes impactos ambientais. Dentre os danos ocasionados ao meio ambiente decorrentes da construção de rodovias, de acordo com Rezende e Coelho (2015) estão: aumento de emissão de ruídos, poeira e gases, erosões, carreamento de sólidos e assoreamento da rede de drenagem, má qualidade das águas tanto superficial quanto subterrâneas, comprometimento da vida aquática, extinção de vegetação nativa e, conseqüentemente modificação nos habitats, atropelamentos da fauna, potencialidade de propiciar a invasão de espécies exóticas, perda da biodiversidade devido a fragmentação e isolamento de populações, aumento da caça predatória, formação de ambientes propícios ao desenvolvimento de vetores, alteração no cotidiano da população, possibilidade de acidentes com cargas perigosas com contaminação de rios e lagos, disseminação de doenças entre as comunidades de silvícolas, facilitação das atividades de madeireiras ilegais e da ocorrência de desmatamento, aumento da incidência de incêndio próximo as rodovias, aumento do comércio ilegal como o de carne de animais selvagens, extração ilegal de recursos naturais e incentivo à garimpagem ilegal, dentre outros.

Segue abaixo o quadro dos principais artigos pesquisados para a fundamentação desse estudo, apresentando assim os resultados que cada autor alcançaram a partir de suas pesquisas.

<p>Tema: Utilização dos resíduos sólidos da construção civil na pavimentação de estradas vicinais</p> <p>Autor: Mariana de Faria Gardingo Diniz</p> <p>Ano: 2017</p> <p>Resultados: os resíduos gerados nas obras do município podem ser utilizados como agregado reciclado tendo potencial adequado para ser utilizado em camadas (base e sub-base) de pavimentos de estradas vicinais.</p>
<p>Tema: Os impactos ambientais provocados pela construção da duplicação da rodovia go 213 (morrinhos-caldas novas): debilitando a passagem da fauna</p> <p>Autor: Rosana dos Santos Brandao Ferreira</p> <p>Ano: 2019</p> <p>Resultados: Qualquer atividade que o homem exerce no meio ambiente provocará um impacto ambiental seja ele positivo ou negativo. Infelizmente na maioria das vezes, os impactos são negativos, acarretando degradação, poluição e como no nosso caso da construção ou ampliação de Rodovias atropelamento da fauna, extinção de espécies, perda de hábitat entre outros grandes fatores.</p>
<p>Tema: A importância da sustentabilidade em obras de infraestrutura de transporte</p> <p>Autor: Paulo Ricardo dos santos e Laurence</p> <p>Ano: 2014</p> <p>Resultados: Para a execução de uma obra sustentável, os projetos devem levar em consideração a conservação ambiental por meio de técnicas e métodos que evitem e mitiguem possíveis degradações.</p>
<p>Tema: Estradas sustentáveis são o caminho para o desenvolvimento consciente das cidades</p> <p>Autor: Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte</p> <p>Ano: 2017</p> <p>Resultados: Investir na gestão sustentável em uma concessão rodoviária, alinha a responsabilidade ambiental ao desenvolvimento dos negócios da empresa, pois, além de oferecer segurança e conforto aos usuários, ajuda a minimizar os impactos dessas construções ao meio ambiente”, destaca o coordenador de Meio Ambiente e Sustentabilidade da concessionária,</p>
<p>Tema: A perspectiva da sustentabilidade no setor do transporte rodoviário</p> <p>Autor: Fernando Burg et al.,</p> <p>Ano: 2013</p> <p>Resultados: Os motoristas devem estar atentos, e sempre primar pela utilização de combustíveis que não afetam o meio ambiente, além disso, as empresas também devem agir de acordo com os princípios da sustentabilidade. A sustentabilidade é baseada nos fatores sociais, econômicos e ambientais.</p>
<p>Tema: Práticas sustentáveis nos pavimentos e sua possível aplicação no mercado brasileiro: presente e futuro</p> <p>Autor: Francisco Guerrero Gómez-Pablo</p> <p>Ano: 2017</p> <p>Resultados: No caso de agregados reciclados, não limitar seu uso a base de pavimentos para tráfego leve, mas exigir que o material passe por um controle adequado e possa ser utilizado como material de base para outros níveis de tráfego, inclusive como agregado para revestimento.</p>

A partir das pesquisas realizadas nos artigos e monografias, observou-se que, os autores alertam sobre o aumento de ruídos que provocam danos não só à população próxima ou aos operários, mas principalmente a fauna ali presente. São muitos os animais nativos que são perturbados pelos ruídos ou barulhos advindos dos

veículos que trafegam dia e noite no transporte de mercadorias ou pessoas. Lembrando que, esse impacto acontece desde a construção e, por todo o período em que a estrada existir.

Mas, para Laurance (2014), as rodovias são parte indispensável da sociedade moderna e, embora existam impactos negativos, há também impactos positivos, por isso, faz-se necessário lembrar não só dos danos, mas também dos benefícios. Para a autora, os impactos positivos principais são: maximização da produtividade agrícola, instalações de fábricas e indústrias nas suas proximidades, aumento de empregos, aumento de arrecadação pública, assim como do comércio legal, aumento da demanda dos bens e serviços, facilidade de deslocamento proporcionando assim aos usuários bem-estar, segurança e economia, contribui para melhorias na saúde e educação da população uma vez que há acesso mais fácil e rápido aos hospitais e escolas, facilita transporte de cargas, aumento do turismo, facilita o escoamento dos produtos da região, evita a perda de produtos perecíveis, contribui para a realização de novos negócios e para a exportação de produtos. Além disso, atraem migrantes para longe das áreas selvagens vulneráveis, melhorias na qualidade de vida das pessoas, e outros.

Percebe-se que, o mal ocasionado pela construção de rodovias, pode ser superado pelos benefícios que as mesmas oferece, no entanto, a questão da sustentabilidade deve estar bem compreendido na mente do homem. Como visto, a sustentabilidade é desenvolver algo que promova satisfação ao indivíduo contemporâneo, porém, sem comprometer as futuras gerações. Sendo assim, é fato que as rodovias são imprescindíveis à humanidade, porém, a sua edificação ou construção deve ser voltada a uma visão sustentável, ou seja, construída sem comprometer o futuro daqueles que virão.

Nesse sentido, o Princípio 8 da Conferência de Estocolmo (1972) diz que: “o desenvolvimento econômico e social é indispensável para assegurar ao homem um ambiente de vida e trabalho favorável e para criar na terra as condições necessárias de melhoria da qualidade de vida”. Já a Organização das Nações Unidas (ONU), no Princípio 1 da Carta do Rio de Janeiro (1992) afirma que “os seres humanos estão no centro das preocupações com o desenvolvimento sustentável. Têm direito a uma vida saudável e produtiva, em harmonia com a natureza”.

Percebe-se então que, o progresso é positivo, deve ser buscado e, alcançado, porém, deve-se ter a consciência de utilizar recursos sustentáveis, materiais que

sejam capazes de minimizar os impactos e preservar o meio ambiente para que, a população do presente construa um espaço de equilíbrio que será usufruído pela geração vindoura.

A Carta da ONU direcionada ao Rio/92, no seu Princípio 1 diz ainda o seguinte: “para alcançar o desenvolvimento sustentável, a proteção ambiental deve constituir parte integrante do processo de desenvolvimento, e não pode ser considerada isoladamente deste”.

Entende-se então com esse princípio que, o desenvolvimento sustentável deve estar atrelado com a proteção ambiental, isso significa que, para se construir algo com visão sustentável, é necessário pensar no ambiente e, de todas as formas buscar protegê-lo. O progresso pode e deve acontecer, mesmo diante de uma explosão de recursos tecnológicos. É preciso recorrer a estas ferramentas como aliadas nesse avanço buscando também estratégias de cuidado e proteção.

5 CONCLUSÃO

A sustentabilidade diz respeito a capacidade de criar ou construir algo que seja capaz de satisfazer as necessidades do presente sem diminuir as chances das futuras gerações de ressarcir suas necessidades. Sendo assim, pode-se dizer que, o foco desse trabalho foi o de conhecer melhor os danos causados ao meio ambiente pela pavimentação rodoviária e, os principais tipos de resíduos empregados na construção de estradas com visão sustentável.

As estradas estão interligadas com o progresso e o desenvolvimento, sendo assim, afirma-se que estas obras são indispensáveis à humanidade que, embora tenham grandes vantagens, como por exemplo, melhorias no transporte de cargas e mercadorias, comodidade, segurança e conforto nas idas e vindas de pessoas, etc.,

Na sociedade moderna existem materiais com visão sustentável que podem ser utilizados na construção de estradas, como por exemplo, os resíduos de construção e demolição como, argamassa, areia, pedras, concretos e materiais cerâmicos. Estes, além de proporcionar economia favorece a propagação da prática da reutilização e contribui para o uso dos mais variados materiais. Estes são capazes de absorver a poluição do ar, ou, pelo menos minimizar o impacto destes sobre o meio ambiente. Estes novos asfaltos, além de serem produzidos com a utilização de resíduos, são capazes de mitigar em até 19% os gases poluentes emitidos durante um dia, contando com temperaturas climáticas favoráveis. Este pavimento também pode absorver 45% dos gases poluentes emitidos por veículos.

REFERÊNCIAS

ABNT (2004d). **NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil –Execução de camadas de pavimentação –Procedimentos**. Associação, 2004.

BOCCATO, V. R. C. **Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação**. São Paulo, v. 18, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 001**, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Brasília, DF, 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conoma/legiabre.cfm?codlegi=23>. Acesso em mai. 2021

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria da construção civil (Literature review: reuse of construction and demolition waste in the construction industry). **Cerâmica**, v. 61, p. 178-189, 2015.

FILHO, José; JUNIOR, Glediston. **Pavimentação Asfáltica com utilização de borracha como agregado sob uma visão teórica**. Brazilian Journal Of Development, 19533. Curitiba, 2020.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados Reciclados de Resíduos de Concreto: um Novo Material para Dosagens Estruturais**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2001.

LAURANCE, Bill. **Global ‘roadmap’ shows where to put roads without costing the earth**. The Conversation. Ago. 2014. Disponível em: <http://theconversation.com>. Acesso em: nov. 2021.

BERNUCCI Liedi Bariani et al., **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006.

MALTA, Juliana Oliveira; SILVA, Vanessa Silveira; GONÇALVES, Jardel Pereira. **Argamassa contendo agregado miúdo reciclado de resíduo de construção e demolição**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 1, n. 2, p. 176-188, 2013.

MEDEIROS, Vinicius Matos. SOARES, Sávio Rodrigues. SILVA, Wellington Cesar Teles Da. Estradas sustentáveis. **A utilização de resíduos na pavimentação rodoviária**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 11, Vol. 25, pp. 38-52. Novembro de 2020. ISSN: 2448-0959.

NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camadas de pavimentação – Procedimentos. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, M. D. de. **Utilização de Resíduos em Pavimentação Rodoviária**. 2014. 116f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, 1992. Disponível em: <http://www.onu.org.br/rio20>. Acesso em nov. 2021.

REZENDE, Elcio Nacur; COELHO Hebert Alves. **Impactos ambientais decorrentes da construção de estradas e suas consequências na responsabilidade civil**. RVMD, Brasília, V. 9, nº 2, p. 155-180, Jul-Dez, 2015.

RIBAS, M.C. **A história do Caminho do Ouro em Paraty**. 2. ed. Paraty: Contest Produções Culturais, 2003.

RIBEIRO, J. P. et al. Avaliação da emissão de poluentes atmosféricos durante os processos de usinagem, transporte e aplicação de misturas asfálticas em ambiente urbano. In: 32º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET. 32., 2018, Gramado – RS. **Anais...** Gramado: ANPET, 12 p. 2018.

ROTHER, E. T. **Revisão Sistemática x Revisão Narrativa**. Acta paul. enferm., São Paulo, v. 20, n. 2, pág. v-vi, junho de 2007.

SANT'ANA FILHO, J. N. de. **Estudos de reaproveitamento de resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados**. 2013. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Matérias) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

ROSA, M. **Asfalto que absorve a poluição**. 2017. Ciclo Vivo. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/asfalto-que-absorve-poluicao-do-ar-e-criado-na-holanda/>. Aceso em 05 out. 2020.

TAVARES, Liliana de Paula Martins et al. **Levantamento e análise da deposição e destinação dos resíduos da construção civil em Ituiutaba, MG**. 2007.

TEIXEIRA, José Henrique. Resíduos de construção e demolição – concreto reciclável. **Revista Científica Semana Acadêmica**. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000144, 20/11/2018.

TEIXEIRA, C. P. **O futuro das estradas: as vantagens da sustentabilidade**. 15 de nov. de 2019. Radar do Futuro. Disponível em: <https://radardofuturo.com.br/futuro-das-estradas-as-vantagens-da-sustentabilidade>. Acesso em: nov. 2021.