

Resíduos de construção e demolição aplicados nas camadas de pavimento rodoviário: uma revisão sistemática

Construction and demolition waste applied to road pavement layers: a systematic review

Residuos de construcción y demolición aplicados en capas de pavimento vial: una revisión sistemática

Recebido: 07/02/2022 | Revisado: 14/02/2022 | Aceito: 11/03/2022 | Publicado: 18/03/2022

Letícia Azevedo de Farias Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1487-4740>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: azevedo_leticia@hotmail.com

Ênio Fernandes Amorim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7386-3956>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: enio.amorim@ifrn.edu.br

Oswaldo de Freitas Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9488-4123>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

E-mail: osvaldocivil@ufrn.edu.br

Resumo

O pavimento rodoviário é a estrutura executada sobre o subleito que tem como finalidade técnica resistir aos esforços e distribuí-los para as camadas constituintes, proporcionando segurança e conforto aos usuários. A grande e crescente produção de resíduos de construção e demolição na área da construção civil desperta o interesse de cidades e empresas em empregar agregados reciclados na pavimentação, uma vez que estes materiais em sua grande parte são comercializados por preços menores do que os agregados convencionais. Assim, o presente trabalho busca apresentar uma revisão sistemática para avaliar quais pesquisas acerca da aplicação dos resíduos de construção e demolição (RCC/RCD) foram desenvolvidas entre os anos de 2015 e 2019 e simultaneamente analisar em qual camada do pavimento rodoviário ocorreu o maior uso de resíduos de construção e demolição, proporcionando assim o desenvolvimento de novos estudos sobre a temática. Verificou-se que a grande maioria dos trabalhos avaliados integralmente desenvolveram pesquisas inserindo resíduos de construção e demolição em misturas asfálticas, ou seja, composições destinadas à execução de camadas de revestimento.

Palavras-chave: Rodovias sustentáveis; Agregados reciclados; RCC; RCD.

Abstract

The road pavement is the structure executed on the subgrade whose technical purpose is to resist the efforts and distribute them to the constituent layers, providing safety and comfort to users. The large and growing production of construction and demolition waste in the area of civil construction arouses the interest of cities and companies in using recycled aggregates in paving, since these materials are mostly sold at lower prices than conventional aggregates. Thus, the present work seeks to present a systematic review to evaluate which researches on the application of construction and demolition waste (CDW) were developed between the years 2015 and 2019 and simultaneously analyze in which layer of the road pavement the greatest use occurred. of construction and demolition waste, thus enabling the development of new studies on the subject. It was found that the vast majority of the works evaluated in full developed research by inserting construction and demolition waste into asphalt mixtures, that is, compositions intended for the execution of coating layers.

Keywords: Sustainable roads; Recycled aggregates; CDW; C&D.

Resumen

El pavimento vial es la estructura ejecutada sobre la subrasante cuyo propósito técnico es resistir los esfuerzos y distribuirlos a las capas constituyentes, brindando seguridad y comodidad a los usuarios. La gran y creciente producción de residuos de construcción y demolición en el ámbito de la construcción civil despierta el interés de ciudades y empresas por utilizar áridos reciclados en pavimentación, ya que estos materiales se comercializan en su mayoría a precios más bajos que los áridos convencionales. Así, el presente trabajo busca presentar una revisión sistemática para evaluar qué investigaciones sobre la aplicación de residuos de construcción y demolición (RCD) se desarrollaron entre los años 2015 y 2019 y simultáneamente analizar en qué capa del pavimento vial ocurrió el mayor aprovechamiento. de residuos de construcción y demolición, posibilitando así el desarrollo de nuevos estudios sobre el

tema. Se constatou que a grande maioria dos trabalhos avaliados em plena investigação desenvolveram a inserção de resíduos de construção e demolição em misturas asfálticas, ou seja, composições destinadas à execução de camadas de revestimento.

Palavras chave: Carreteras sustentáveis; Áridos reciclados; RCC; RCD.

1. Introdução

O pavimento é a união de camadas em que materiais de diferentes propriedades são colocados em contato para suportar os carregamentos oriundos do tráfego resultando assim em um elemento com elevado grau de complexidade em relação ao cálculo de tensões e deformações que se desenvolvem neste (DNIT, 2006). Se destina técnica e economicamente a resistir aos esforços e de distribuí-los para as camadas constituintes, proporcionando segurança e conforto aos usuários. Divide-se em: Reforço do subleito, Sub-base, Base e Revestimento, e o comportamento estrutural das camadas depende da espessura, da rigidez destas e do subleito, bem como da interação entre as camadas (Senço, 2007; Bernucci, et. al., 2010).

A NBR 15116:2004 define resíduos da construção civil como todos os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solo, rocha, madeira, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, calça ou metralha. Assim, os resíduos da construção civil e de demolição após passarem por um processo podem ser reutilizados. Sua utilização vai além da economia e reciclagem de materiais, pois proporciona à sociedade a limpeza urbana e conseqüentemente saúde, visto que estes resíduos não serão descartados de modo inadequado.

A resolução N° 307/2002 do CONAMA classifica os resíduos da construção civil em quatro classes distintas, são elas: Classe A, Classe B, Classe C e Classe D. A Tabela 1 foi elaborada com base na referida resolução e destaca os materiais que são considerados para cada classe. A heterogeneidade dos resíduos de construção e demolição e a dependência direta de suas propriedades referente a obra que lhe deu origem, podem se alterar de faixa de classificação, ou seja, uma obra pode oferecer um resíduo inerte e outra pode apresentar materiais que o tornem não-inerte.

Tabela 1 - Classificação dos resíduos da construção civil

Classe	Aplicação	Tipos de resíduos
A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
B	São os resíduos recicláveis para outras destinações	Plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros
C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação	
D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção	Tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde

Fonte: Elaborada pelos autores.

As técnicas para melhorar as condições do pavimento, com o intuito de deixá-lo mais resistente e confortável para os usuários, foram se aprimorando e surgiram novos métodos construtivos e novos materiais. A utilização de materiais derivados da reciclagem na área de pavimentação vem crescendo ao longo dos anos. De acordo com Motta (2005) a ampla produção de resíduos da construção civil nas cidades com médio e grande porte populacional levou empresas e cidades a empregarem os agregados reciclados na pavimentação, pois estes materiais normalmente são comercializados por preços inferiores aos dos granulares tradicionalmente utilizados.

Novais (2018) relata que na década de 90 deu-se início a instalação de usinas de reciclagem, mas não havia normalização para o uso de agregados reciclados em pavimentação. Com o desenvolvimento de diversos estudos bem como da NBR 15116 (2004), para utilização de agregados reciclados em camadas de pavimento, várias cidades do Brasil e no exterior passaram a utilizar agregados reciclados para este fim e os resultados satisfatórios vêm demonstrando a boa adequação desse material.

Lunardi (2020) relata que seu estudo corrobora a viabilidade técnica do reuso de RCD nas camadas inferiores de pavimentos rodoviários, com destaque para os aspectos econômicos da reutilização. A autora enfatiza também que apesar da grande quantidade de pesquisas desenvolvidas ainda ocorre falta de informação e desconfiança acerca da reincorporação dos resíduos no ciclo produtivo, salientando a necessidade de ampliação e divulgação destes estudos.

Na pesquisa desenvolvida por Melo, et al. (2021) os autores exemplificam as distintas aplicabilidades dos resíduos de construção e demolição por meio de uma revisão desenvolvida com base em pesquisas que analisaram o desempenho do RCD e a viabilidade de reincorporação destes resíduos no ciclo construtivo. O estudo destacou algumas aplicações bem-sucedidas que fizeram uso do RCD e salientou os melhores métodos para reutilização do RCD em cidades em desenvolvimento.

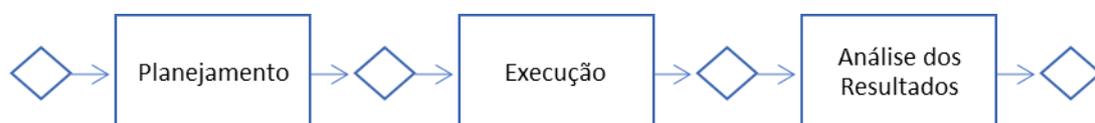
Desse modo, no presente trabalho será apresentada uma revisão sistemática da literatura científica (RSL) para avaliar e quantificar pesquisas sobre a aplicação dos resíduos de construção e demolição (RCC/RCD) que foram desenvolvidas entre os anos de 2015 e 2019 bem como mensurar em quais camadas do pavimento rodoviário foram aplicados os resíduos, proporcionando assim um direcionamento para novos estudos sobre a temática a partir da avaliação dos resultados.

2. Metodologia

Uma revisão sistemática da literatura científica (RSL) sobre determinada temática torna-se relevante para identificar questões de pesquisa, bem como por justificar pesquisas futuras nessa área. Assim, é essencial para pesquisadores que precisam de uma abordagem sistemática para aprender o trabalho realizado até agora, os métodos que foram utilizados, os resultados obtidos, as propostas apresentadas pelos autores, quem são os principais autores de uma área e quais bancos de dados e publicações que eles usam para apresentar seu trabalho, permitindo-lhes saber como obter informações atualizadas e permanentes sobre os resultados dinâmicos publicados por vários laboratórios, centros de pesquisas e instituições de ensino superior em geral (Torres-Carrión, et. al., 2018).

Desse modo, a revisão sistemática foi conduzida por meio de um processo que envolve três fases: planejamento, execução e análise dos resultados. Para realização de todo o procedimento utilizou-se o software *State of the Art through Systematic Review* (START), visto que este torna a seleção e avaliação dos artigos mais rápida. A Figura 1 ilustra o procedimento da RSL adotado com base nas proposições de Biolchini, et. al. (2005).

Figura 1 - Processo de Revisão Sistemática de Literatura Científica



Fonte: Elaborada pelos autores.

Na fase de planejamento, inicialmente foi definida a motivação para a execução da RSL. Em seguida estabeleceu-se o protocolo da revisão, elemento essencial para a execução. No protocolo foram especificadas as questões de pesquisa, a estratégia utilizada para a condução, as fontes consideradas para as buscas, os critérios de seleção e definição da qualidade dos estudos, a forma de extração dos dados e, por fim, como seria realizada a sintetização dos dados.

Posteriormente, realizou-se a fase de condução, em que os estudos foram identificados por meio de uma estratégia de busca ampla e selecionados através da aplicação de critérios de inclusão e de exclusão. Após a seleção, os artigos aceitos passaram pela extração e sintetização. A última fase foi destinada a avaliação dos resultados obtidos.

2.1 Planejamento

A priori, estabeleceu-se o objetivo da pesquisa: investigar estudos desenvolvidos entre os anos de 2015 e 2019 sobre a aplicação dos resíduos de construção e demolição (RCC/RCD) nas camadas do pavimento. Na sequência definiu-se as questões de pesquisa, sendo estas:

Q1 – Foram desenvolvidos muitos estudos sobre a aplicação de resíduos de construção e demolição na área de pavimentação entre 2015 e 2019?

Q2 – O RCD/RCC foi mais avaliado em qual camada do pavimento?

Destarte, foram definidas as *strings* de busca, de modo que as expressões (*Keywords*) mais representativas para a pesquisa, foram: “*Pavement*” e “*Paving*” bem como “*Construction and Demolition Wastes*”, “*RCA*” e “*CDW*”, variando as combinações entre elas e formando várias expressões finais (Tabela 2) de forma a capturar o maior número de estudos possível. Ressalta-se que a escolha das *strings* em inglês se deu devido a ocorrência de maior número de estudos com a utilização desta língua.

Os bancos de dados foram definidos com base no critério de utilização de plataformas que possibilitassem exportar as pesquisas no formato BibTex. Dessa forma, foram selecionadas as plataformas: Scopus, Science Direct e Engineering Village.

2.2 Execução

Os critérios de exclusão iniciais foram estabelecidos e aplicados nos filtros que as plataformas apresentavam com o intuito de restringir os resultados de busca e importar para o START os dados mais relevantes para a pesquisa. Assim, inicialmente foram obtidos 3138 estudos com base nas *strings* definidas. Ao aplicarmos o filtro 1 para captura somente de estudos desenvolvidos entre 2015 e 2019 foram exclusas 1208 pesquisas e com a aplicação do filtro 2, de exclusão de artigos pagos, foram retirados 1730, ao todo restaram 200 estudos para a etapa seguinte. Os números obtidos em cada busca realizada estão expostos na Tabela 2.

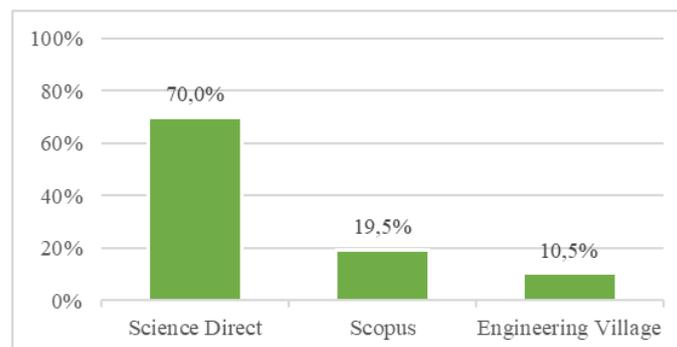
Tabela 2 - Resumo dos filtros aplicados nas plataformas.

Strings	Banco de dados	Total Obtido	Filtro 1	Filtro 2	Total Final
(pavement) AND (construction and demolition wastes)	Science Direct	889	-267	-553	69
(pavement) AND (RCA)		366	-130	-213	23
(pavement) AND (CDW)		121	-44	-72	5
(paving) AND (construction and demolition wastes)		394	-153	-212	29
(paving) AND (CDW)		61	-20	-37	4
(paving) AND (RCA)		151	-66	-75	10
(pavement) AND (construction and demolition wastes)	Scopus	218	-107	-98	13
(pavement) AND (RCA)		239	-101	-122	16
(pavement) AND (CDW)		42	-20	-21	1
(paving) AND (construction and demolition wastes)		39	-18	-17	4
(paving) AND (CDW)		14	-4	-7	3
(paving) AND (RCA)		31	-14	-15	2
(pavement) AND (construction and demolition wastes)	Engineering Village	183	-90	-88	5
(pavement) AND (RCA)		232	-102	-123	7
(pavement) AND (CDW)		50	-25	-24	1
(paving) AND (construction and demolition wastes)		47	-19	-24	4
(paving) AND (CDW)		19	-8	-8	3
(paving) AND (RCA)		42	-20	-21	1
TOTAL		3138	-1208	-1730	200

Fonte: Elaborado pelos autores.

A Figura 2 demonstra os percentuais de estudos obtidos em relação ao total para cada base de dados após a primeira triagem.

Figura 2 - Percentual de estudos obtidos em cada base de dados



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados dos 200 estudos retornados através das buscas foram exportados no formato BibTex e inseridos no START. No programa foram aplicados os seguintes critérios:

- Exclusão de artigos duplicados/repetidos;
- Exclusão de artigos com *score* igual a 0 (a fim de aplicar um critério de qualidade);
- Exclusão de artigos cujo título e resumo não condiziam com o foco da pesquisa.

Desse modo, a segunda seleção dos artigos foi realizada e foram obtidos os seguintes dados: artigos duplicados, um total de 72; artigos com *score* igual a zero e artigos cujo título e resumo não condiziam com o foco da pesquisa totalizaram 93 artigos rejeitados, sendo excluídos assim 165 estudos, restando então 34 artigos para a próxima etapa.

Os números de estudos obtidos após a aplicação dos critérios elencados acima estão demonstrados na Tabela 3, através de dados quantitativos, e na Figura 3, de forma percentual.

Tabela 3 - Quantitativo de estudos avaliados

Status	Nº de artigos
Aceitos	34
Rejeitados	94
Duplicados	72
TOTAL	200

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 3 - Percentual de estudos rejeitados, duplicados e aceitos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Os 34 artigos passaram para a fase de extração e sumarização. Na aplicação do formulário de extração foram definidas quatro perguntas:

- Os estudos evidenciam maior utilização do RCD/RCC em que camada do pavimento?
- Foram realizados ensaios para análise do RCD/RCC no pavimento? Se sim, quais?
- Quais os aspectos positivos da inserção do RCD/RCC na mistura?
- Quais os aspectos negativos da inserção do RCD/RCC na mistura?

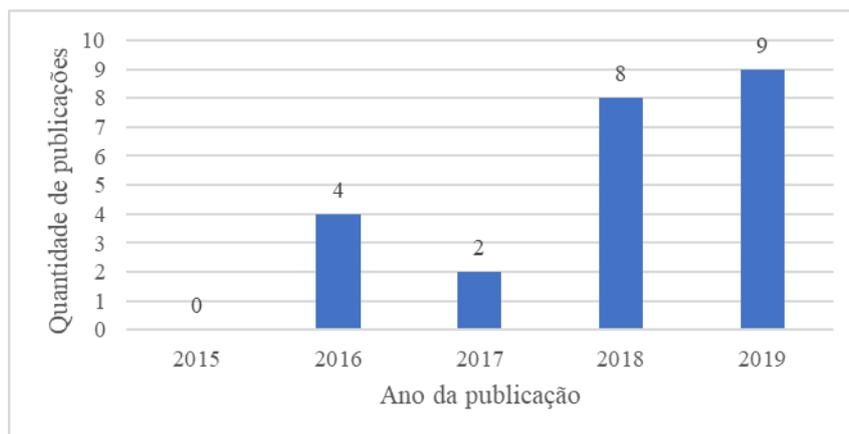
Assim, a terceira etapa da seleção consistiu na leitura parcial dos trabalhos e a partir desta foram excluídos artigos que não abordavam os resíduos de construção e demolição aplicados na área de pavimentação da forma esperada (apenas faziam citações ao tema), dispensando assim 11 estudos, restando somente 23 artigos.

A aplicação dos vários critérios resultou na seleção de publicações que, posteriormente, foram analisadas através da leitura do completo teor. Tais estudos foram avaliados para responder as perguntas iniciais da pesquisa.

3. Resultados e Discussão

Os 23 artigos selecionados, seguindo os critérios de exclusão e inclusão, estão quantificados na Figura 4, que indica a distribuição dos artigos em relação ao ano de publicação. Percebe-se que de modo geral houve uma tendência de crescimento, exceto pelo ano de 2017, no desenvolvimento de estudos voltados à análise da inserção da resíduos de construção e demolição nas camadas do pavimento.

Figura 4 - Quantidade de artigos selecionados por ano de publicação.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 4 apresenta parte das informações extraídas dos artigos selecionados a partir da aplicação da estratégia de extração de dados, nela temos descrito os tipos de ensaios executados para análise das propriedades e características dos resíduos individualmente bem como do desempenho das misturas elaboradas.

Tabela 4 - Dados extraídos dos artigos selecionados.

Ordem	Referência	RCD aplicado em qual camada do pavimento	Foram feitos ensaios?	Quais ensaios?
1	TAHMOORIAN e SAMALI (2018)	Misturas asfálticas / Revestimento	Sim	Propriedades físicas e mecânicas do RCD
2	ARISHA <i>et. al.</i> (2016)	Base e Sub-base	Sim	Caracterização das misturas e Teste Triaxial de Carga Repetida
3	TATARANNI <i>et. al.</i> (2018)	Base	Sim	Propriedades físicas e mecânicas das misturas
4	SHARKAWI <i>et. al.</i> (2018)	Misturas asfálticas / Revestimento	Sim	Granulometria, LL, atividade pozolânica, composição química e XRF dos resíduos. As propriedades do CDW triturado foram comparadas de acordo com as técnicas de trituração e o tipo de material produzido.
5	YAGHOUBI <i>et. al.</i> (2016)	Não menciona	Sim	Análise do comportamento não saturado em termos de diferença no SWCC e módulo resiliente
6	JAYAKODY <i>et. al.</i> (2019)	Base	Sim	Testes de carga tri-axial repetida foram realizados para investigar a resposta do RCA a deformações elásticas e plásticas
7	POURANIAN e	Não menciona	Sim	Avaliação do desempenho através do exame de sulcos,

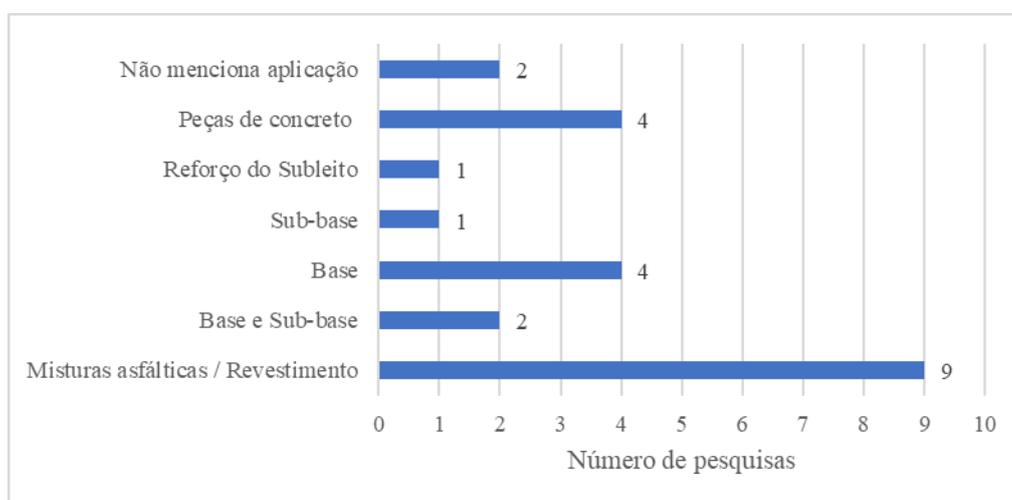
	SHISHEHBOR (2019)			suscetibilidade à umidade, resistência térmica e à fissuração por fadiga.
8	MARTINEZ-ARGUELLES <i>et. al.</i> (2019)	Misturas asfálticas / Revestimento	Sim	Determinação de propriedades físicas, mecânicas e químicas de acordo com as normas colombianas. Também foram empregues técnicas de microscópio eletrônico de varredura (MEV) para fornecer imagens sobre a morfologia da superfície da RCA e sua composição, apresentando diferenças significativas entre a RCA e a agregado natural
9	TAHMOORIAN <i>et. al.</i> (2018)	Misturas asfálticas / Revestimento	Sim	Ensaio de caracterização
10	SARAVANAN <i>et. al.</i> (2016)	Sub-base	Sim	Ensaio de Cisalhamento Direto, CBR e Resistência à compressão não confinada
11	KOX <i>et. al.</i> (2019)	Peças de concreto	Sim	Absorção, densidade específica e resistência à abrasão dos resíduos
12	CHAKRAVARTHI <i>et. al.</i> (2019)	Base	Sim	Propriedades físicas, características de compactação e testes de desempenho como Resistência à Compressão Não Confinada, Resistência à Tração Indireta e Módulo de Elasticidade aos 7 dias do período de cura
13	VEGA <i>et. al.</i> (2019)	Misturas asfálticas / Revestimento	Não	-
14	ARSHAD (2019)	Base e Sub-base	Sim	Ensaio de CBR e de módulo de resiliência
15	GIWANGKARA <i>et. al.</i> (2019)	Base	Sim	Densidade, absorção de água, ensaio de abrasão, compactação e teste de penetração
16	HOU <i>et. al.</i> (2018)	Misturas asfálticas / Revestimento	Sim	Desempenho de fadiga da mistura de asfalto com diferentes agregados e dosagens de RCA, estabilidade Marshall e resistência à tração
17	NOKKAEW (2018)	Misturas asfálticas / Revestimento	Sim	Módulo resiliente das misturas e curvas de características da água no solo (SWCC) foram determinados para cada material
18	ALBAYATI <i>et. al.</i> (2018)	Misturas asfálticas / Revestimento	Sim	Amostras com o teor ideal de cimento asfáltico foram preparadas e testadas no teste de tensão indireta para avaliar sua suscetibilidade à umidade.
19	TAHMOORIAN <i>et. al.</i> (2017)	Misturas asfálticas / Revestimento	Sim	Propriedades do RCA, tais como: Granulometria, índice de forma, abrasão, densidade, absorção, resistência do agregado, análise do percentual de finos.
20	FRANCISCO <i>et. al.</i> (2019)	Peças de concreto	Sim	As propriedades das peças obtidas foram analisadas de acordo com as normas brasileiras para resistência à compressão e absorção de água.
21	JUAN-VALDÉS <i>et. al.</i> (2018)	Peças de concreto	Sim	Testes de absorção de água, abrasão e teste de congelamento/degelado. Caracterização dos elementos pré-moldados reciclados, cobrindo propriedades mecânicas, microestruturais e de durabilidade.
22	LI <i>et. al.</i> (2017)	Reforço do Subleito	Sim	Foi realizado um amplo conjunto de testes de compactação em laboratório e em campo para determinar as propriedades físicas e as características de engenharia dos resíduos de C&D. O efeito da cura na resistência dos resíduos de C&D foi investigado usando resistência à compressão não

				confinada, índice de suporte califórnia (CBR) e testes de deflexão.
23	KIM <i>et. al.</i> (2016)	Peças de Concreto	Sim	Massa específica, Absorção, Peso unitário, Resistência à abrasão, composição química dos agregados. Resistência à compressão e módulo de elasticidade das amostras.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 5 demonstra a distribuição dos estudos desenvolvidos por aplicação do RCC/RCD nas diferentes camadas do pavimento, tais como: Reforço do subleito, Base, Sub-base, Revestimento (misturas asfálticas e peças de concreto para pisos intertravados).

Figura 5 - Aplicação do RCD/RCC no pavimento.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A partir da análise deste pode-se inferir que as pesquisas realizadas entre 2015 e 2019 foram voltadas para a inserção do RCD/RCC em misturas asfálticas destinadas à camada de revestimento, prioritariamente. Pesquisas com foco na análise destes resíduos em camadas de base e sub-base apresentam-se menos expressivas.

A confecção de peças de concreto com resíduos para fins de pavimentação também possuiu certo destaque. Verificou-se ainda que alguns estudos somente avaliaram a inserção do resíduo nas misturas com solo para comparação destes resultados com os resultados do desempenho individual do solo, porém não mencionaram a aplicabilidade da mistura em camadas do pavimento. Estes estudos não foram descartados devido à qualidade dos dados dos ensaios realizados.

Em relação à realização de ensaios verificou-se que quase todos os estudos apresentaram alguma avaliação por meio da execução de ensaios com o agregado oriundo do resíduo de construção e demolição bem como ensaios para verificação do desempenho das misturas. O artigo de Vega *et. al.* (2019) foi o único que não apresentou ensaios, pois não teve como foco a análise do desempenho dos resíduos, mas a avaliação dos aspectos ambientais envolvendo a inserção dos resíduos na mistura asfáltica.

4. Considerações Finais

Esta pesquisa iniciou com uma busca de estudos através de um processo que envolveu planejamento, execução e análise de resultados utilizando o *software* START. Por fim, foram avaliados integralmente 23 artigos que apresentaram

distintas aplicações para os resíduos de construção e demolição (RCC/RCD) nas camadas do pavimento. A partir dos quantitativos elaborados com base nos referidos artigos, podemos concluir que:

1. Em média foram publicados mais de quatro estudos por ano sobre a temática entre os anos de 2015 e 2019;
2. Verificou-se um aumento no número de estudos desenvolvidos sobre a temática, exceto no ano de 2017;
3. Percebeu-se também que dentre os trabalhos avaliados a inserção dos resíduos de construção e demolição em misturas asfálticas aplicadas em camadas de revestimento foi preponderante frente às demais camadas;
4. A grande maioria dos estudos desenvolvidos realizaram ensaios para verificação das propriedades individuais do RCD/RCC para compará-las com as propriedades dos agregados naturais bem como realizaram investigações sobre o desempenho das misturas de solo e resíduos por meio dos ensaios de CBR, resistência à compressão e módulo de resiliência.

Maior parte dos resultados expostos nas pesquisas avaliadas demonstraram a eficiência e o bom desempenho das misturas produzidas com RCD para as diferentes camadas do pavimento. Os aspectos negativos da inserção dos resíduos de construção e demolição nas misturas, em geral, também foram destacados pela grande maioria dos estudos, porém ressalta-se que tal desempenho não se tornou prejudicial a ponto de inviabilizar a utilização destas nas camadas do pavimento.

Diante do exposto, recomenda-se que a execução de novas pesquisas seja voltada prioritariamente para a análise do desempenho dos resíduos de construção e demolição nas camadas do pavimento que apresentaram menor número de aplicação na RSL desenvolvida, tais como: camadas de Base, Sub-base e Reforço do subleito, visto que este material já possui uma quantidade significativa de estudos em camadas de revestimentos, principalmente os revestimentos asfálticos.

Referências

- Akula, S., Ravindran, G., Murthi, P. & Gaikadi, S. (2019). Mechanical Properties of Pavement Quality Concrete Using Recycled Aggregate. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.35940/ijitee.A3898.119119>
- Albayati, A., Al-Mosawe, H., Allawi, A. & Oukaili, N. (2018). Moisture Susceptibility of Sustainable Warm Mix Asphalt. *Advances in Civil Engineering*, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2018/3109435>
- Arisha, A., Gabr, A., El-Badawy, S. & Shwally, S. (2016). Using Blends of Construction & Demolition Waste Materials and Recycled Clay Masonry Brick in Pavement. *Procedia Engineering*, 143, 1317-1324. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.148>
- Arshad, M. (2019). Development of a Correlation between the Resilient Modulus and CBR Value for Granular Blends Containing Natural Aggregates and RAP/RCA Materials. *Advances in Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2019/8238904>
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (2004). NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro.
- Bernucci, L. B. et al. (2010). *Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda.
- Biolchini, J., Mian, P.G., Natali, A.C.C. & Travassos, G.H. (2005). Systematic review in software engineering. *Technical Report ES 679/05, System Engineering and Computer Science Department COPPE/UFRJ*. Rio de Janeiro.
- Chakravarthi, S., Boyina, A., Singh, A.K. & Shankar, S. (2019). Evaluation of cement treated reclaimed asphalt pavement and recycled concrete pavement bases. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 12, 581-588. <https://doi.org/10.1007/s42947-019-0069-1>
- Conselho nacional do meio ambiente - CONAMA. (2002). RESOLUÇÃO N° 307. Publicada no DOU n° 136, de 17/07/2002, págs. 95-96. Alterada pela Resolução n° 469/2015.
- Departamento Nacional De Infraestrutura De Transportes - DNIT. (2006). Manual de Pavimentação. *Publicação IPR 719*.
- Francisco, J. T. M., Souza, A. E. de, & Teixeira, S. R. (2019). Construction and demolition waste in concrete: property of pre-molded parts for paving. *Cerâmica*, 65(Suppl. 1), 22-26. <https://doi.org/10.1590/0366-6913201965S12595>.
- Giwangkara, G. G., Mohamed, A., Khalid, N. H. A., Nor, H. M., Hainin, M. R., Jaya, R. P., Sani, W. N., Ismail, C. R. & Aziz, M. M. A. (2019). Recycled concrete aggregate as a road base material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 527(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/527/1/012061>
- Hou, Y., Ji, X., Li, J. & Li, X. (2018). Adhesion between Asphalt and Recycled Concrete Aggregate and Its Impact on the Properties of Asphalt Mixture. *Materials*, 11 (12), 2528. <https://doi.org/10.3390/ma11122528>

- Jayakody, S., Gallage, C. & Ramantjam, J. (2019). Performance characteristics of recycled concrete aggregate as an unbound pavement material. *Heliyon*, 5(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02494>
- Juan-Valdes, A., García-González, J., Rodríguez-Robles, D., Guerra-Romero, M., Lopez Gayarre, F., Belie, N. & Pozo, J. (2018). Paving with Precast Concrete Made with Recycled Mixed Ceramic Aggregates: A Viable Technical Option for the Valorization of Construction and Demolition Wastes (CDW). *Materials*, 12(1), 24. <https://doi.org/10.3390/ma12010024>
- Kim, N., Kim, J. & Yang, S. (2016). Mechanical Strength Properties of RCA Concrete Made by a Modified EMV Method. *Sustainability*, 8 (9), 924. <https://doi.org/10.3390/su8090924>
- Kox, S., Vanroelen, G., Van Herck, J., Krem H. & Vandoren, B. (2019). Experimental evaluation of the high-grade properties of recycled concrete aggregates and their application in concrete road pavement construction. *Case Studies in Construction Materials*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00282>
- Li, Y., Zhou, H., Su, L., Hou, H. & Dang, L. (2017). Investigation into the Application of Construction and Demolition Waste in Urban Roads. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2017/9510212>
- Lunardi, C. V. (2020). *Estudo da viabilidade técnica do uso de resíduos de construção e demolição em camadas inferiores de pavimentos rodoviários*. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Impactos Ambientais) - Universidade La Salle, Canoas. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11690/1573>. Acesso em: 15 fev. 2022.
- Martinez-Arguelles, G., Coll, M., Fuentes, L., Cotte, E., Rondon, H., Pacheco Bustos, C. A., Yepes-Martínez, J. & Espinoza, R. (2019). Characterization of Recycled Concrete Aggregate as Potential Replacement of Natural Aggregate in Asphalt Pavement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471 (10). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/10/102045>
- Melo, E. V. de, Mollo Neto, M., Bernardo, C. H. C. & Bernardo, R. (2021). Resíduos de construção e demolição: uma revisão dos usos e aplicabilidades em estradas e rodovias (2015 -2020). *Reserarch, Society and Development*, 10 (10). <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18658>.
- Motta, R. S. (2005). *Estudo laboratorial de agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil para aplicação em pavimentação de baixo volume de tráfego*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-19072006-114729/pt-br.php>. Acesso em: 5 jan. 2022.
- Nokkaew, K. (2018). Characterization of recycled aggregate for use as base course material. *International Journal of Geomate*, 15(48), 129-136. <https://doi.org/10.21660/2018.48.PRE39>
- Novais, C. (2018). Caracterização de agregados reciclados de resíduos da construção civil para uso em base e sub-base de pavimento urbano em Sinop – MT. In: *Anais Inovação, Tecnologia, Gestão e Sustentabilidade*. Mato Grosso: Tangará da Serra. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/jornada2017/54074-caracterizacao-de-agregados-reciclados-de-residuos-da-construcao-civil-para-uso-em-base-e-sub-base-de-pavimento-ur>. Acesso em: 5 jan. 2022.
- Pouranian, M. R. & Shishehbor, M. (2019). Sustainability Assessment of Green Asphalt Mixtures: A Review. *Environments*, 6, 73. <https://doi.org/10.3390/ambientes6060073>
- Saravanan, S., Venkatasubramanian, C., Muthu, D. & Ramakrishnan, K. (2016). Construction of Rural Roads using C&D Waste Materials. *Indian Journal of Science and Technology*, 9 (27). <https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i27/97634>
- Senço, W. (2007). *Manual de técnicas de pavimentação*. São Paulo: São Paulo.
- Sharkawi, A., Mofty, S., Showaib, E. & Abbass, S. (2018). Feasible Construction Applications for Different Sizes of Recycled Construction Demolition Wastes. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3351-3366. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.11.014>
- Tahmoorian F. & Samali B. (2018). Laboratory investigations on the utilization of RCA in asphalt mixtures. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(6), 627-638. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2018.05.002>
- Tahmoorian, F., Samali, B. & Yeaman, J. (2018). Study of the characteristics of different components of recycled construction aggregate (RCA): Statistical study in Sydney. *International Journal of Geomate*, 15(52), 84-90. <https://doi.org/10.21660/2018.52.58360>
- Tahmoorian, F., Samali, B., Tam, V. & Yeaman, J. (2017). Evaluation of Mechanical Properties of Recycled Material for Utilization in Asphalt Mixtures. *Applied Sciences*, 7(8), 763. <https://doi.org/10.3390/app7080763>
- Tataranni, P., Sangiorgi, C., Simone, A., Vignali, V. & Lantieri, C. & Dondi, G. (2017). A laboratory and field study on 100% Recycled Cement Bound Mixture for base layers. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(5), 427-434. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.11.005>
- Torres-Carrion, P., González-González, C., & Aciar, S. & Rodriguez, G. (2018). Methodology for Systematic Literature Review applied to Engineering and Education. *IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1364-1373. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363388>.
- Vega, D. L., Martinez-Arguelles, G. & Santos, J. (2019). Life Cycle Assessment of Warm Mix Asphalt with Recycled Concrete Aggregate. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 603 (5). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/5/052016>.
- Yaghoubi, E., Disfani, M., Arulrajah, A. & Kodikara, J. (2016). Impact of Compaction Methods on Resilient Response of Unsaturated Granular Pavement Material. *Procedia Engineering*, 143, 323-330. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.041>