



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

YSDNEY GOMES DA SILVA

Levantamento bibliográfico sobre a influência da adição de óleos vegetais nas propriedades
mecânicas de misturas asfálticas recicladas

Cabo de Santo Agostinho - PE

2024

YSDNEY GOMES DA SILVA

Levantamento bibliográfico sobre a influência da adição de óleos vegetais nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas recicladas

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho, Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estradas

Orientadora: Profa. Me. Laiana Ferreira da Costa

Cabo de Santo Agostinho - PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586l

Silva, Ysdney Gomes da

Levantamento bibliográfico sobre a influência da adição de óleos vegetais nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas recicladas / Ysdney Gomes da Silva. - 2023.
70 f. : il.

Orientadora: Laiana Ferreira da Costa.
Inclui referências e apêndice(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em Engenharia Civil, Cabo de Santo Agostinho, 2024.

1. misturas asfálticas recicladas. 2. agente de reciclagem. 3. óleos vegetais. 4. propriedades mecânicas. I. Costa, Laiana Ferreira da, orient. II. Título

CDD 624

YSDNEY GOMES DA SILVA

Levantamento bibliográfico sobre a influência da adição de óleos vegetais nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas recicladas

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UACSA como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: **28 de abril de 2023.**

Banca examinadora

Profa. Me. Laiana Ferreira da Costa
Orientadora

Prof. Me. Osires de Medeiros Melo Neto
Examinador Externo

Profa. Dra. Thalita Maria Ramos Porto de Moraes
Examinadora Interna

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo de toda minha graduação. Sem o senhor nada disso seria possível.

Aos meus pais, Paulo e Alexandra, por todo o esforço que sempre fizeram para me proporcionar a melhor educação que eu pudesse ter, renunciando dos seus próprios sonhos para realizar o meu. Meu amor e gratidão por vocês não tem palavras para descrever, só agradecer do fundo do meu coração por tudo. Pode ter certeza que um dia eu vou retribuir tudo isso que vocês fizeram por mim. Eu amo vocês.

À minha irmã, Ysllayne, que sonhou esse sonho comigo e que me apoiou em todos os momentos, torcendo e comemorando todas as minhas conquistas. Obrigado por ser minha irmã e amiga. Te amo.

À minha noiva, Nayara, por ter compreendido todos os momentos que precisei ficar ausente por causa dos compromissos da faculdade, além de todo apoio e palavras de conforto que me deu nos meus momentos mais difíceis, me ajudando a realizar meu sonho. Eu te amo.

As minhas afilhadas, Ana Cecília e Maria Luíza, amo muito vocês.

A todos meus familiares, que de certo modo me ajudou em algum momento, me incentivando para que eu pudesse atingir meu objetivo.

Aos meus amigos, em especial aqueles que pude fazer na faculdade. Obrigado por toda a ajuda, motivação e companheirismo ao longo de todos esses anos, batalhamos nessa guerra juntos e graças a Deus saímos vitoriosos.

À minha orientadora, Professora Laina Ferreira, muito obrigado pela oportunidade, paciência, dedicação e todo o conhecimento que pode compartilhar durante todo esse período que trabalhamos juntos, apesar de todos os seus compromissos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

RESUMO

As causas ambientais vêm ganhando cada vez mais destaque no âmbito mundial, trazendo a necessidade de reduzir a utilização de recursos naturais. O uso de material fresado (*Reclaimed Asphalt Pavement – RAP*) em novas misturas asfálticas tem ganhado visibilidade, pois, promove a economia no uso de materiais virgens e nos gastos de energia. O emprego de altas porcentagens de RAP, acima de 30%, vai gerar misturas asfálticas com elevada rigidez, tornando-as susceptível ao trincamento prematuro por fadiga. A adição de agentes de reciclagem proporciona uma restauração parcial das propriedades do RAP, tornando a mistura reciclada mecanicamente viável. Os óleos vegetais são uma ótima alternativa de agente de reciclagem, pois, são ricos em ácidos graxos insaturados, contribuindo para redução da rigidez das misturas com alto teor de RAP, além de serem ecologicamente corretos. Nesse sentido, o presente trabalho reuniu, por meio de uma revisão bibliográfica, dados sobre o comportamento mecânico de misturas asfálticas recicladas com a adição de óleos vegetais. Os trabalhos foram coletados utilizando as bases de dados do *ResearchGate*, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Portal de Periódicos da CAPES e Google Scholar, priorizando publicações após o ano de 2015. Para isso, foi feita uma análise e descrição dos resultados obtidos por cada autor, verificando o comportamento para as propriedades mecânicas de estabilidade Marshall, módulo de resiliência, resistência à tração, vida de fadiga e suscetibilidade à umidade induzida. Após isso, com a utilização de gráficos de dispersão construídos para cada propriedade, foi realizado um estudo de tendência buscando estabelecer relações entre as variações de teor de RAP, teor de óleo e tipo de óleo utilizado nas misturas. Os resultados apontam que o uso de óleo vegetal em misturas asfálticas recicladas promove um comportamento mecânico semelhante ao das misturas convencionais, quando adicionados teores geralmente até 10%. Para porcentagens acima de 10%, pode-se conduzir a um amolecimento excessivo das misturas asfálticas recicladas, comprometendo assim o seu desempenho mecânico.

Palavras-chave: misturas asfálticas recicladas; agente de reciclagem; óleos vegetais; propriedades mecânicas.

ABSTRACT

Environmental causes are increasingly gaining prominence worldwide, bringing the need to reduce the use of natural resources. The use of milled material (Reclaimed Asphalt Pavement - RAP) in new asphalt mixtures has gained visibility, because it promotes savings in the use of virgin materials and energy costs. The use of high percentages of RAP, above 30%, will generate asphalt mixtures with high stiffness, making them susceptible to premature fatigue cracking. The addition of recycling agents provides a partial restoration of the RAP properties, making the recycled mix mechanically feasible. Vegetable oils are an excellent alternative recycling agent, because they are rich in unsaturated fatty acids, contributing to reduce the stiffness of mixtures with high content of RAP, besides being environmentally friendly. In this sense, the present work gathered, through a literature review, data on the mechanical behavior of recycled asphalt mixtures with the addition of vegetable oils. The papers were collected using the databases ResearchGate, Scientific Electronic Library Online (SciELO), Portal de Periódicos da CAPES and Google Scholar, prioritizing publications after 2015. For this, an analysis and description of the results obtained by each author was performed, verifying the behavior for the mechanical properties of Marshall stability, resilience modulus, tensile strength, fatigue life, and susceptibility to induced moisture. After that, with the use of scatter plots built for each property, a trend study was carried out seeking to establish relationships between variations in RAP content, oil content, and type of oil used in the mixtures. The results indicate that the use of vegetable oil in recycled asphalt mixtures promotes a mechanical behavior similar to that of conventional mixtures, when added with levels generally up to 10%. For percentages above 10%, it can lead to excessive softening of the recycled asphalt mixtures, thus compromising their mechanical performance.

Keywords: recycled asphalt mixtures; recycling agent; vegetable oils; mechanical properties.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Curvas granulométricas	17
Figura 2 - Sistema de camadas e tensões solicitantes.....	18
Figura 3 - Prensa Marshall - Manual	20
Figura 4 - Prensa Hidráulica UTM -25.....	20
Figura 5 – Prensa Mecânica.....	21
Figura 6 - Prensa para previsão de fadiga.....	22
Figura 7 - Prensa mecânica com anel dinamométrico	23
Figura 8 - Material fresado (RAP) obtido da BR – 234	24
Figura 9 - Fluxo metodológico	27
Figura 10 - Resultados Estabilidade Marshall (Kgf)	36
Figura 11 - Resultados Módulo de Resiliência (MPa)	38
Figura 12 - Resultados Resistência à Tração (MPa).....	41
Figura 13 - Resultados da Suscetibilidade à Umidade Induzida (%)	44
Figura 14 - Estabilidade Marshall (Kgf) <i>versus</i> Teor de RAP (%)	47
Figura 15 - Módulo de Resiliência (Mpa) <i>versus</i> Teor de RAP (%).....	48
Figura 16 - Resistência à Tração (MPa) <i>versus</i> Teor de RAP (%).....	50
Figura 17 - RRT (%) <i>versus</i> Teor de RAP (%)	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teor de ácidos graxos em óleos vegetais	26
Tabela 2 - Ensaio mecânico e suas especificações	29
Tabela 3 - Tabela- resumo dos estudos de abordagem quantitativa	31
Tabela 3 - Tabela- resumo dos estudos de abordagem quantitativa	32
Tabela 3 - Tabela- resumo dos estudos de abordagem quantitativa	33
Tabela 4 - Misturas de Controle	34
Tabela 4 - Misturas de Controle	35
Tabela 5 – Compilação dos resultados da estabilidade Marshall	62
Tabela 6 - Compilação dos resultados do módulo de resiliência	63
Tabela 7 - Compilação dos resultados de resistência à tração	66
Tabela 8 - Compilação dos resultados de suscetibilidade à umidade induzida	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CREEP	Compressão ou tração axial estática
CNT	Confederação Nacional de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
MR	Módulo de Resiliência
NBR	Norma Brasileira
RAP	<i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>
RRT	Resistência à Tração Retira
RT	Resistência à Tração
SciELO	<i>Scientific Electronic Library Online</i>
SUPERPAVE	<i>Superior Performance Asphalt Pavements</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
cm/min	Centímetros por minuto
Kgf	Quilograma força
Km	Quilômetro
mm	Milímetro
mm/s	Milímetros por segundo
MPa	Mega Pascal
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo do trabalho	15
1.1.1	Objetivo Geral	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Pavimentos asfálticos.....	16
2.2	Mecânica dos pavimentos	18
2.2.1	Estabilidade Marshall	19
2.2.2	Módulo de Resiliência (MR)	20
2.2.3	Resistência à tração (RT).....	21
2.2.3	Vida de fadiga.....	22
2.2.4	Suscetibilidade à Umidade Induzida (Lottman)	22
2.3	Rap e a reciclagem de revestimentos asfálticos.....	23
2.4	Óleos vegetais como agentes de reciclagem.....	25
3	METODOLOGIA.....	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1	Comportamento mecânico das misturas asfálticas recicladas com adição de óleos vegetais diversos.....	34
4.1.1	Estabilidade Marshall	35
4.1.2	Módulo de Resiliência.....	37
4.1.3	Resistência à Tração	40
4.1.4	Vida de Fadiga.....	42
4.1.5	Suscetibilidade à Umidade Induzida (Lottman)	43
4.2	Tendência de comportamento mecânico das misturas asfálticas recicladas com adição de óleo vegetal	46
4.2.1	Estabilidade Marshall	47
4.2.2	Módulo de Resiliência.....	47

4.2.3	Resistência à Tração	49
4.2.4	Suscetibilidade à Umidade Induzida	50
5	CONCLUSÃO.....	52
	REFERÊNCIAS.....	54
	APÊNDICES	62

1 INTRODUÇÃO

De acordo com os dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2022), a malha rodoviária pavimentada brasileira possui uma extensão de 213.500,0 km, sendo 30,8% rodovias federais e 69,2% rodovias estaduais, transitórias e municipais. Observou-se uma piora significativa no estado geral dos pavimentos brasileiros em relação ao ano de 2021. Dos 110.333km avaliados, 66,0% foram classificados como Regular, Ruim ou Péssimo. Em 2021, esse percentual era de 61,8% (CNT, 2022).

Os pavimentos rodoviários consomem aproximadamente 30% de recursos naturais e geram 25% de resíduos sólidos da indústria da construção em todo o mundo (BENACHIO *et al.*, 2020). A importância de executar pavimentos mais duráveis e que consigam proporcionar conforto e segurança ao usuário, reduz os danos ao meio ambiente (MOTA, 2021).

O surgimento de deficiências na camada de revestimento asfáltico dos pavimentos gera a necessidade de serviços de restaurações ou reabilitações, onde geralmente são empregadas as operações de fresagem, promovendo a geração de resíduos e a necessidade da utilização de mais recursos naturais.

O material obtido na fresagem do pavimento é denominado de RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), que possui um alto valor econômico e propriedades físicas e mecânicas que podem ser introduzidas na composição de novas misturas asfálticas, oferecendo vantagens como a redução do custo de construção do pavimento asfáltico e benefícios ambientais decorrentes da redução da demanda por recursos não renováveis (CUNHA *et al.*, 2018; MELO NETO, 2022).

Misturas asfálticas contendo altas quantidades de RAP, acima de 30%, geralmente apresentam uma elevada rigidez devido à presença do ligante envelhecido, ficando susceptível ao trincamento prematuro por fadiga, induzindo a necessidade da adição de agente de reciclagem na sua composição para tornar esse material viável mecanicamente (SEIDEL; HADDOCK, 2014).

Os óleos vegetais usados como agentes de reciclagem vêm ganhando visibilidade por serem ricos em ácidos graxos insaturados e também por possuírem uma melhor resistência à temperatura, podendo ser utilizados para a recuperação dos ligantes asfálticos envelhecidos, contribuindo para a diminuição de sua elevada viscosidade e melhorando a trabalhabilidade deste material (JI *et al.*, 2017). Aqueles classificados como resíduos industriais apresentam ainda a vantagem ambiental de estarem sendo conduzidos para uma destinação mais adequada.

Desta forma, esse trabalho objetivou reunir e analisar resultados de ensaios laboratoriais encontrados na literatura a respeito das propriedades mecânicas, referentes a misturas asfálticas recicladas com adição de óleos vegetais diversos usados como agente de reciclagem verificando

o comportamento das misturas em relação às possíveis variações dos teores de RAP e agente de reciclagem.

1.1 Objetivo do trabalho

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar um estudo baseado num levantamento bibliográfico de caráter exploratório sobre a influência da adição de óleos vegetais nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas recicladas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma compilação de resultados de ensaios mecânicos de misturas asfálticas recicladas com adição de óleos vegetais, encontrados na literatura;
- Analisar quantitativamente os dados coletados;
- Avaliar a tendência do comportamento mecânico em termos das variáveis: “teor de RAP”, “tipo de óleo” e “teor de óleo”.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimentos Asfálticos

Segundo o DNIT (2006), pavimento é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras diferentes, que está sobre uma infraestrutura ou terreno de fundação, designada de subleito. O pavimento tem a função de resistir as tensões e deformações causadas pelo tráfego de veículos, ofertando conforto e segurança para os seus usuários, sendo classificados em:

- Flexível: Sofre deformações elásticas e, portanto, a carga se distribui de forma equivalentes entre as camadas;
- Semirrígido: Apresenta base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias.
- Rígido: O revestimento tem elevada rigidez, absorvendo praticamente todas as tensões provenientes da carga aplicada.

Os pavimentos flexíveis são formados por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço de subleito. O revestimento é a camada destinada a suportar as cargas estáticas ou dinâmicas, transmitindo-as de forma atenuada para as camadas inferiores sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de componentes ou, ainda, perda de compactação. Essa camada deve ser composta por materiais bem aglutinados, de forma a evitar sua movimentação horizontal (BALBO, 2007).

Dentre os materiais que podem ser utilizados na camada de revestimento de um pavimento flexível, está o concreto asfáltico usinado a quente, composto por uma mistura de agregados graúdos e miúdos, fíler e ligantes asfálticos. A composição do concreto asfáltico deve satisfazer as tolerâncias de granulometria, qualidade de materiais e aos percentuais do ligante asfáltico determinados pelo projeto da mistura, com base nas normas e especificações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 031/2006 – ES).

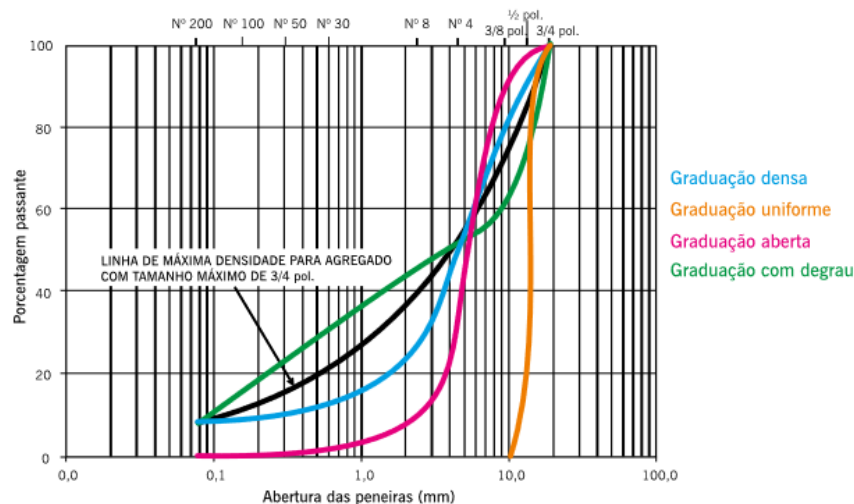
Os materiais pétreos utilizados como agregados na construção de pavimentos podem ser naturais, artificiais ou reciclados e devem ser caracterizados quanto à granulometria, massa específica, absorção, resistência à abrasão, sanidade, forma, angularidade e equivalente de areia (GENNESSEAU, 2015).

De acordo com DNER-ME 083/98, os agregados são classificados quanto ao tamanho em graúdo e miúdo. Nas misturas asfálticas se considera uma fração adicional, classificada como fíler, composta de material pulverulento (DNER–EM 367/97).

Segundo Bernucci *et al.* (2022), a distribuição granulométrica dos agregados é uma das principais características que influi no comportamento dos revestimentos asfálticos e das camadas granulares em pavimentos asfálticos. Essa influência está diretamente relacionada a propriedades como rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade etc. A seguir é informado a principal subdivisão de graduação dos agregados, podendo ser visualizado a partir de curvas apresentadas na Figura 1.

- Densa ou bem graduada: Apresenta distribuição granulométrica contínua.
- Aberta: Apresenta distribuição granulométrica contínua, mas com insuficiência de material fino (menor que 0,0075 mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores.
- Uniforme: Apresenta uma curva granulométrica bastante íngreme, por apresentar a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa bastante estreita.
- Degrau ou Descontínua: Apresenta pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários, formando um patamar na curva granulométrica correspondente às frações intermediárias, apresentando uma sensibilidade à possível segregação.

Figura 1 - Curvas granulométricas



Fonte: Bernucci *et al.* (2022)

No Brasil o ligante asfáltico é normalmente conhecido como CAP (cimento asfáltico de petróleo), seguido de um identificador numérico que é definido de acordo com a consistência à penetração (de agulha) a 25°C, em décimos de milímetros, definido pela (RESOLUÇÃO ANP Nº 897, DE 18 DE NOVEMBRO DE 2022).

Bernucci *et al.* (2022) definem o CAP como um material semissólido a baixa temperatura, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido em altas temperaturas. Tem a

propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, impermeável à água e com baixa reatividade. O material pode sofrer um processo de envelhecimento por oxidação lenta pelo contato com a água e o ar, apesar de apresentar uma reatividade baixa a vários agentes.

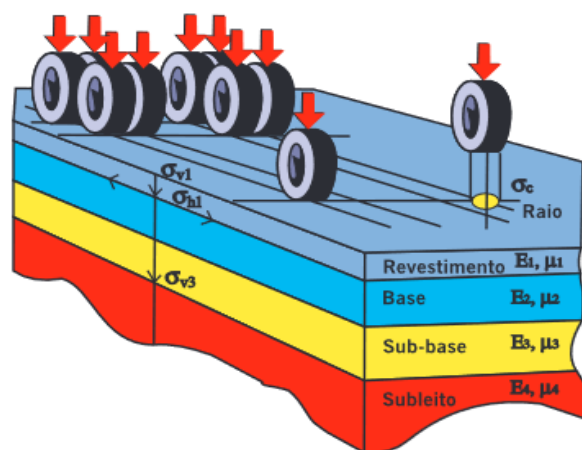
Segundo Melo Neto (2022), o processo de envelhecimento do revestimento torna-o duro e quebradiço, ficando sujeito à fadiga e a danos térmicos sob cargas de tráfego e condições térmicas, afetando a vida útil dos pavimentos asfálticos. Os pavimentos deteriorados devem passar por um processo de conservação e reabilitação, e dependendo da situação do pavimento é necessário à sua reconstrução total.

Os processos de reabilitação e reconstrução total do pavimento geram o RAP. A reciclagem de pavimentos é, portanto, uma técnica que promove o reaproveitamento desse material, acarretando a preservação de matérias-primas virgens, pois minimiza o uso de agregados naturais e ligantes de hidrocarbonetos de origem petrolífera (FLORES *et al.*, 2020).

2.2 Mecânica Dos Pavimentos

Na Figura 2 é possível verificar as tensões geradas a partir da movimentação dos automóveis ou pela ação climática e que são transmitidas para as camadas do pavimento. A mecânica dos pavimentos tem o objetivo de limitar os efeitos das tensões e conseqüentemente diminuir as deformações na estrutura, utilizando materiais e espessuras adequadas das camadas constituintes de modo a atingir as suas funções adequadamente (MEDINA; MOTTA, 2015).

Figura 2 - Sistema de camadas e tensões solicitantes



Fonte: Albernaz (1997)

Para as misturas asfálticas, o envelhecimento gradativo devido à oxidação do ligante, aumenta a dificuldade para caracterização do material (BABADOPULOS *et al.*, 2015).

A caracterização mecânica das misturas asfálticas pode ser feita utilizando ensaios laboratoriais que são classificados conforme a indicação a seguir (BERNUCCI *et al.*, 2008):

- Convencionais: Estabilidade e Fluência Marshall;
- Módulo: Módulo de resiliência e Módulo complexo;
- Ruptura: Resistência à tração estática e Vida de fadiga;
- Deformação Permanente: Simuladores de tráfego de laboratório, Compressão ou tração axial estática (CREEP) e Compressão ou tração axial de carga repetida;
- Complementares: Desgaste cântabro e Perda por umidade induzida.

Considerando o comportamento viscoelástico das misturas asfálticas, deve se considerar dois principais modos de degradação estrutural dos revestimentos asfálticos, vinculados ao desempenho desse material, são: trincamento por fadiga e deformação permanente (READ; WHITEOAK, 2003). Sendo assim, de modo a entender esse comportamento das misturas asfálticas, bem como as alterações desse comportamento com o tempo, os ensaios de estabilidade Marshall, módulo de resiliência, resistência à tração, vida de fadiga e suscetibilidade à umidade induzida são representativos para realizar essa caracterização do material.

2.2.1 Estabilidade Marshall

Especificado pela norma DNER 043/1995 – ME, o ensaio de estabilidade Marshall é determinado a partir da compressão de um corpo de prova cilíndrico. Para execução do ensaio, se faz necessário que a temperatura mínima seja de 60°C, e uma taxa de carregamento com uma velocidade de 5cm/min. Podendo ser executado utilizando uma prensa manual, conforme a Figura 3.

O ensaio é interrompido quando o corpo de prova é rompido. A estabilidade será a resistência máxima à compressão radial, expressa em Kgf.

Figura 3 - Prensa Marshall - Manual



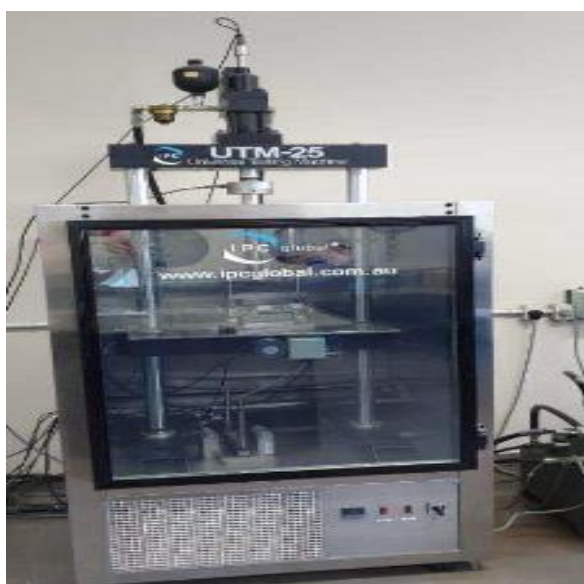
Fonte: Biopdi (2023)

2.2.2 Módulo de Resiliência (MR)

O ensaio de módulo de resiliência é especificado pela norma DNIT 135/2018 – ME, é realizado aplicando uma carga repetidamente no plano diametral vertical de um corpo de prova cilíndrico, que gera uma tensão de tração transversalmente ao plano de aplicação da carga, podendo utilizar a máquina Universal Testing Machine (UTM-25), como ilustra a Figura 4.

O valor de MR é definido como a relação entre a tensão de tração e a deformação de tração geradas na realização do ensaio, numa determinada temperatura, expresso em MPa.

Figura 4 - Prensa Hidráulica UTM -25



Fonte: Nunes (2021)

Bernucci *et al.* (2022) informam que devido à característica viscoelástica das misturas asfálticas, para um mesmo pulso de carregamento pode-se desenvolver deformações diferentes. O módulo de resiliência também é influenciado por diversos fatores, tais como, o tipo de mistura, a faixa granulométrica, o tipo de ligante asfáltico entre outras variáveis.

A dosagem Marshall e Superpave influenciam diretamente nos valores de MR, visto que as estruturas do esqueleto mineral geradas pela compactação por impacto (Marshall) e por amassamento (Superpave) são distintas e interferem no valor dessas propriedades mecânicas (NASCIMENTO *et al.*, 2006).

2.2.3 Resistência à tração (RT)

Especificado pela norma DNIT 136/2018 – ME, o ensaio de resistência à tração por compressão diametral com corpos de prova cilíndricos regulares, tem o objetivo de determinar a resistência à tração.

A resistência à tração é medida a partir da aplicação de uma carga vertical de compressão progressivamente ao longo do diâmetro, com uma velocidade de deformação de 0,8 mm/s, até que se dê a ruptura completa do corpo de prova, Figura 5. O corpo de prova precisa estar a uma temperatura média de 25°C. Considera-se que a tensão de tração que rompe o corpo de prova é igual à tensão máxima admissível do material.

Figura 5 – Prensa Mecânica



Fonte: Suzuki (2017)

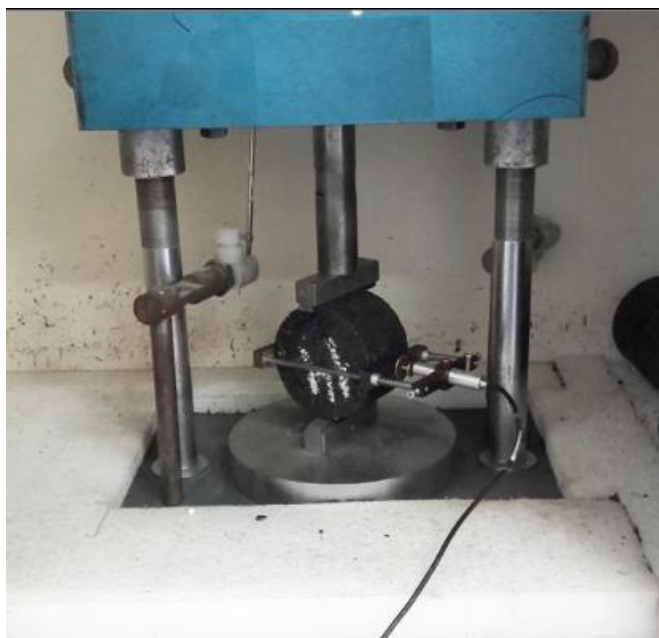
De acordo com Nunes (2021), à medida que as misturas asfálticas envelhecem em pista, a RT aumenta, o que nem sempre representa uma vantagem, visto que também perde sua flexibilidade, deteriorando o pavimento.

2.2.3 Vida de fadiga

Especificado pela norma DNIT 183/2018 – ME, o ensaio de vida de fadiga tem o objetivo de determinar o comportamento de misturas asfálticas quanto à fadiga sob um carregamento repetido, à tensão constante, usando o ensaio de compressão diametral de tração indireta, conforme ilustra a Figura 6.

Pode ser definida em termos de vida de fratura ou vida de serviço, sendo a primeira referente ao número total de aplicações de uma certa carga necessária à fratura completa da amostra e a segunda ao número total de aplicações dessa mesma carga que reduza o desempenho ou a rigidez inicial da amostra a um nível preestabelecido (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Figura 6 - Prensa para previsão de fadiga



Fonte: DNIT 183/2018 – ME

2.2.4 Suscetibilidade à Umidade Induzida (Lottman)

Especificado pela norma DNIT 180/2018 – ME, o ensaio de suscetibilidade à umidade induzida avalia o efeito da ação da água na resistência à tração indireta de misturas asfálticas. Duas condições são aplicadas para corpos de prova cilíndrico, uma em estado seco e o outro

depois de um ciclo de absorção de água, com o intuito de avaliar a adesividade agregado-ligante e a coesão da mistura em condições resultantes de saturação e de condicionamento acelerado em presença de água.

A propriedade Lottman é expressa em termos da resistência à tração retida (RRT), e é definida entre a razão entre a resistência à tração por compressão diametral dos corpos de prova condicionados e não condicionados, utilizando o equipamento mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Prensa mecânica com anel dinamométrico



Fonte: DNIT 136/2018 – ME

2.3 Rap e a Reciclagem De Revestimentos Asfálticos

O uso do material oriundo da fresagem do revestimento asfáltico, conhecido como *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) é uma alternativa sustentável e valorizada que promove a economia no uso dos recursos naturais, nos custos da pavimentação e no uso de energia (MOON *et al.*, 2017; POULIKAKOS *et al.*, 2017; NOSETTI *et al.*, 2018). A Figura 8 ilustra uma amostra de material fresado (RAP).

Figura 8 - Material fresado (RAP) obtido da BR – 234



Fonte: Adaptado de Nascimento *et al.* (2020)

De acordo com a norma DNIT 159/2011-ES, para a obtenção do material fresado é necessário realizar o corte de uma ou mais camadas do pavimento envelhecido, utilizando de um processo mecânico a frio para que seja possível a execução de um novo revestimento.

Batista (2016) classifica em três tipos a fresagem de pavimentos, sendo elas:

- Fresagem superficial: destinada apenas à correção de defeitos existentes na superfície do pavimento, não é necessário o recapeamento da pista.
- Fresagem rasa: atinge as camadas superiores do pavimento, podendo chegar à camada de ligação. Utilizado na correção de defeitos funcionais.
- Fresagem profunda: seus cortes podem alcançar, além da camada de revestimento, as camadas de ligação, de base e até sub-base do pavimento. Utilizada na recomposição da estrutura original do pavimento ou nos serviços de reciclagem.

Com o objetivo de diminuir os impactos ambientais causados tanto pela construção e reabilitação quanto pela operação e/ou manutenção de rodovias, a reciclagem de pavimentos flexíveis tem se destacado como uma alternativa para reduzir o consumo de insumos virgens (agregados e ligante asfáltico) na produção de uma nova mistura asfáltica (CANCHANYA, 2017).

Ao introduzir o RAP em novas misturas asfálticas, poderá haver: substituição parcial dos agregados virgens e o aproveitamento do ligante asfáltico envelhecido, reduzindo a quantidade necessária de ligante novo.

Os agregados reaproveitados mantêm as suas características físicas e de resistência mecânica intactas, logo sua reutilização propicia uma redução da demanda de novos materiais para novas misturas asfálticas. Devido às restrições impostas pela legislação de proteção ao meio ambiente e pela valorização das jazidas, essa reutilização é particularmente benéfica (DNIT, 2006).

O ligante asfáltico presente no RAP perde suas características originais, devido ao processo de oxidação e volatilização, tornando mais rígido, mais quebradiço e, portanto, mais suscetível a danos por fadiga devido ao tráfego e às cargas térmicas (BAGHAEI MOGHADDAM; BAAJ, 2016).

Para sua reutilização, esse ligante envelhecido pode ser combinado com um agente de reciclagem, que apresenta a função de restaurar suas características e dar a possibilidade de ser utilizado em novas misturas asfálticas (TORRES, 2020). A utilização de óleos vegetais como agentes de reciclagem tem ganhado bastante visibilidade, e investigados por vários pesquisadores (LI *et al.*, 2019; TAHERKHANI; NOORIAN, 2018; ZHANG *et al.*, 2019; ZIARI *et al.*, 2019).

2.4 Óleos Vegetais Como Agentes De Reciclagem

Almeida Júnior (2022) indica que a incorporação do material RAP em novas misturas é limitada devido às características do ligante presente no RAP, que apresenta alta rigidez, com baixa propriedade coesiva, resultando em misturas susceptíveis ao trincamento térmico e por fadiga.

Os agentes de reciclagem são produtos com características químicas e físicas projetadas para restaurar as propriedades reológicas de ligantes asfálticos envelhecidos, reduzindo a viscosidade, a rigidez e a fragilidade do ligante asfáltico reciclado e aumenta sua ductilidade (SUZUKI, 2019).

Atualmente no mercado os principais agentes disponíveis são os rejuvenescedores à base de óleo de xisto, à base de alcatrão, óleos de base biológica e óleos vegetais modificados (TORRES, 2020).

O desempenho mecânico das misturas asfálticas recicladas com adição de agente de reciclagem depende principalmente do seu tipo e dosagem que afeta diretamente no nível de redução da rigidez (DOKANDARI *et al.*, 2017).

Segundo Melo Neto (2022) a sobredosagem de agentes de reciclagem aumenta a flexibilidade das misturas podendo comprometer a resistência à deformação permanente, enquanto a subdosagem aumentará a rigidez aumentando a suscetibilidade ao trincamento por

fadiga. Portanto, a dosagem ideal de agentes de reciclagem é necessária para produzir uma mistura estável (com flexibilidade e rigidez moderadas).

Devido à característica dos óleos vegetais serem ecologicamente corretos, pois são derivados de fontes renováveis e têm componentes estáveis, a sua utilização vem ganhando relevância como agente de reciclagem em misturas asfálticas recicladas.

Segundo Portugal *et al.* (2017) os óleos de origem vegetal possuem grande quantidade de ácidos graxos não saturados e mostram alta resistência a elevadas temperaturas. Por isso, em virtude dos procedimentos de envelhecimento do ligante asfáltico, os óleos vegetais podem ser usados para a restauração de ligante asfálticos oxidados.

Na Tabela 1 estão elencados os principais tipos de óleos vegetais que são utilizados como fritura em cozinhas, e que após sua utilização se tornam resíduos. As porcentagens de ácidos graxos presentes em cada óleo são apresentadas, verificando o destaque para os ácidos graxos não saturados. As altas porcentagens desse tipo de ácido graxo é que favorece a utilização dos óleos como agentes de reciclagens.

Tabela 1 - Teor de ácidos graxos em óleos vegetais

Óleos	Ácido graxo saturado	Ácido graxo monoinsaturado	Ácido graxo poliinsaturado	
			ac. linoléico	ac. linolênico
Canola	6%	58%	26%	10%
Girassol	11%	2%	69%	0%
Milho	13%	25%	61%	1%
Oliva	14%	77%	8%	<1%
Soja	15%	24%	54%	7%

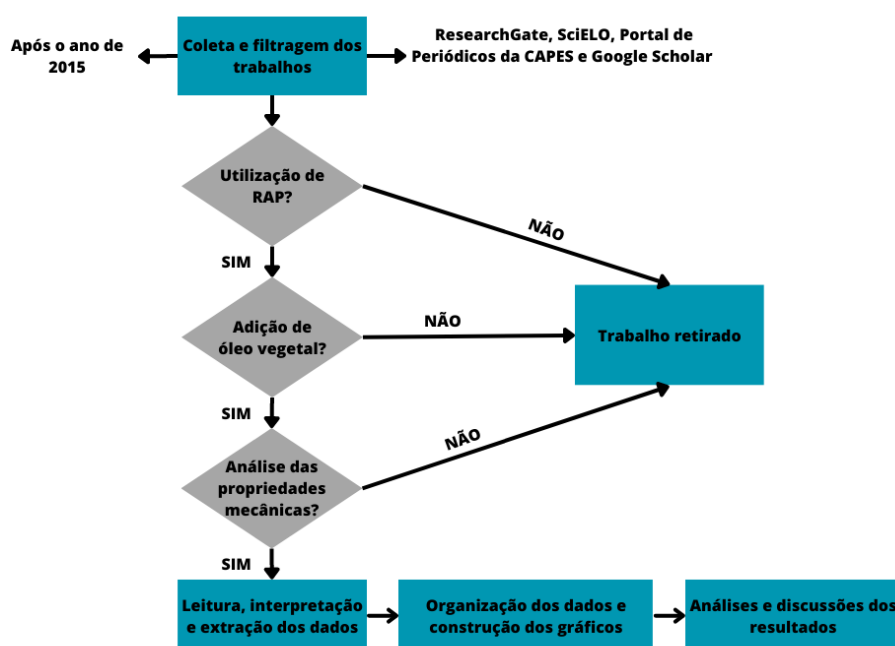
Fonte: Adaptado de Moretto e Fett (1998)

Pradhan e Sahoo (2020) analisaram uma mistura asfáltica reciclada que teve como agente de reciclagem o óleo *Calophyllum inophyllum* a 5%, popularmente conhecida como puna, nudá ou undeira. Os resultados apontam que o ligante rejuvenescido é estável até 230 °C, ou seja, pode permanecer estável durante os processos de produção e compactação de misturas recicladas. A incorporação de até 60% de RAP em misturas asfálticas com esse óleo mostrou resultados dos ensaios mecânicos de RT, MR e Lottman semelhantes ao da mistura asfáltica convencional, indicando o sucesso do uso do óleo vegetal.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa constitui um levantamento bibliográfico de carácter exploratório, que teve o intuito de ampliar o conhecimento sobre a utilização de óleos vegetais em misturas asfálticas recicladas, utilizando informações de dados quantitativos e qualitativos que foram encontrados em artigos de periódicos científicos, monografias, projetos de pesquisa, trabalhos de mestrado e doutorado, considerando referências nacionais e internacionais. As etapas deste estudo estão mostradas no fluxograma da Figura 9.

Figura 9 - Fluxo metodológico



Fonte: O autor, 2023

- Primeira fase: Coleta e filtragem dos trabalhos

A primeira fase foi elaborada no período de 20 de dezembro de 2022 a 31 de janeiro de 2023. Para isso foi feito a coleta e filtragem dos trabalhos encontrados para determinar sua elegibilidade de acordo com o projeto desenvolvido.

A coleta dos trabalhos foi realizada nas bases de dados do *ResearchGate*, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), Portal de Periódicos da CAPES e Google Scholar. As buscas foram feitas utilizando a língua portuguesa e inglesa. Os critérios de busca (palavras-chave/descriptores) durante a pesquisa realizada foram delimitados de acordo com o tema geral do projeto, tais como: Material fresado (*milled material*); pavimento asfáltico reciclado (*reclaimed asphalt pavement*); agente rejuvenescedor (*rejuvenating agent*); agente de

reciclagem (*recycling agent*). Na seleção dos estudos priorizou-se publicações a partir do ano de 2015, por se tratar de dados mais recentes.

Após a coleta, realizou-se uma filtragem detalhada com o intuito de verificar a relação com a abordagem e objetivo desse trabalho. Utilizou-se uma sequência de palavras-chaves de forma individual e escritas em português ou inglês a depender da linguagem do trabalho coletado. As palavras-chaves foram: utilização de RAP (*use of RAP*), óleo vegetal (*vegetable oil*) e propriedades mecânicas (*mechanical properties*). Os estudos foram selecionados no caso de toda a sequência ser satisfeita, ou seja, todas as palavras-chaves encontradas no texto, caso não, o trabalho não foi escolhido.

- Segunda fase: Leitura, interpretação e extração dos dados

Na segunda fase foi realizada a leitura e interpretação dos trabalhos escolhidos, de modo a definir as principais informações que iriam ser extraídas para serem utilizadas nesse projeto. Os principais dados selecionados foram os procedimentos laboratoriais dos ensaios mecânicos: estabilidade Marshall, módulo de resiliência, resistência à tração, vida de fadiga e suscetibilidade à umidade induzida.

- Terceira fase: Organização dos dados e construção dos gráficos

Nessa fase todos os valores das propriedades mecânicas estudadas por cada autor foram reunidos. Utilizando o conceito de estatística descritiva, ou seja, um conjunto de técnicas que permite descrever os dados encontrados, teve como sequência a organização dos dados em uma planilha, consistindo na ordenação e crítica quanto aos valores observados. Realizada a padronização das unidades, de modo a oferecer uma melhor visualização dos dados, foram construídas tabelas que foram organizadas de forma crescente de acordo com a porcentagem de RAP utilizada na mistura asfáltica.

Por fim, para a apresentação dos dados, foi realizada a plotagem de gráficos de dispersão para cada propriedade mecânica, com o intuito de refletir o espalhamento dos pontos em torno dos limites normatizados e possibilitar uma análise sobre possíveis correlações existentes entre teor de RAP, tipo de óleo e teor de óleo.

- Quarta fase: Análises e discussões dos resultados

Como modo de comparação dos resultados obtidos nos gráficos desenvolvidos, as análises das discussões de cada autor sobre o comportamento mecânico das misturas asfálticas recicladas foram avaliadas. Com o intuito de verificar uma tendência de comportamento comum entre as misturas, foi feita uma análise em relação as variáveis de teor de RAP, tipo e teor de óleo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 indica as normas técnicas, os valores limites e os valores típicos encontrados na literatura a respeito de cada ensaio avaliado nesse estudo. Os valores foram utilizados nas construções dos gráficos e na análise da tendência para avaliação dos resultados obtidos.

Tabela 2 - Ensaio mecânicos e suas especificações

ENSAIOS	NORMAS NACIONAIS	LIMITES MIST. CONVENCIONAIS	VALORES TÍPICOS CONVENCIONAIS
Estabilidade marshall	DNER 043/1995 - ME	Mínimo 500 kgf para camada de rolamento (DNIT 031/2006 - ES)	NA
Módulo de resiliência	DNIT 135/2018 – ME;	NA	2.000 a 12.000 MPa a 25°C (BERNUCCI <i>et al.</i> , 2022)
Resistência à tração estática	DNIT 136/2018 -ME;	Mínimo de 0,65 MPa (DNIT 031/2006 - ES);	NA
Vida de fadiga (compressão diametral, flexão)	DNIT 183/2018 - ME	NA	NA
Suscetibilidade à umidade induzida (lottman)	ABNT NBR 15617/2015; DNIT 180/2018 - ME	Mínimo de 80% pela metodologia SUPERPAVE; Mínimo de 70% (DNIT 031/2006 - ES)	NA

Fonte: O autor, 2023

Notas: NA = Não Aplicável

A Tabela 3 foi construída para sintetizar e obter uma melhor visualização dos estudos abordados que tiveram seus resultados numéricos extraídos e avaliados. De modo a resumir os dados encontrados nos estudos abordados, a Tabela contém as seguintes informações:

- Autores dos estudos escolhidos;
- Teor de RAP utilizado nas misturas asfálticas recicladas;
- Tipo de óleo vegetal empregado como agente de reciclagem;
- Teor de óleo utilizado na mistura;
- Ensaio de caracterização mecânica;
- Tipo de compactação;
- Tipo de misturas em relação à temperatura de usinagem/mistura

Tabela 3 - Tabela- resumo dos estudos de abordagem quantitativa

(contínua)

REFERÊNCIA	PROPRIEDADES INVESTIGADAS					TEOR DE RAP (%)	COMPACTAÇÃO	TIPO DE ÓLEO	TEOR DE ÓLEO (%)	TIPO (MORNA, QUENTE)
	ESTABILIDADE MARSHAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	VIDA DE FADIGA	LOTTMAN					
Dokandari <i>et al.</i> (2017)	x		x			10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80	SUPERPAVE	Orgânico (óleo vegetal residual)	5,1	A quente
El - Shorbagy <i>et al.</i> (2019)	x				x	100	SUPERPAVE	Orgânico (óleo de cozinha)	3,5	A quente
Flores (2022)		x	x			100	Compactador Giratório	Orgânico (ANOVA 1815) (óleo vegetal)	5	A quente
Jain <i>et al.</i> (2017)	x		x		x	20	Não informado	Orgânico (óleo vegetal residual)	5; 10 e 15	A quente
Lall <i>et al.</i> (2021)	x					100	Marshall	Orgânico (óleo vegetal residual)	6; 8 e 10	A quente
Mamun <i>et al.</i> (2020)		x	x		x	30, 40 e 50	Marshall	Orgânico (óleo de cozinha)	13; 20 e 27	A quente
Melo Neto (2022)		x	x	x	x	40	SUPERPAVE	Orgânico (ácido graxo da borra do óleo de soja)	4 e 5	A quente

Tabela 4 - Tabela- resumo dos estudos de abordagem quantitativa

(continuação)

REFERÊNCIA	PROPRIEDADES INVESTIGADAS					TEOR DE RAP (%)	COMPACTAÇÃO	TIPO DE ÓLEO	TEOR DE ÓLEO (%)	TIPO (MORNA, QUENTE)
	ESTABILIDADE MARSHAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	VIDA DE FADIGA	LOTTMAN					
Melo Neto <i>et al.</i> (2023)	x	x	x	x	x	40	SUPERPAVE	Orgânico (ácido graxo da borra do óleo de soja)	6 e 7	A quente
Nayak e Sahoo (2016)				x		100	SUPERPAVE	Orgânico (óleo de pongamia)	5; 10 e 15	A quente
Nunes (2021)	x	x			x	30, 50 e 70	SUPERPAVE	Orgânico (óleo de girassol)	2	Morna
Pradhan e Sahoo (2019)				x		100	SUPERPAVE	Orgânico (óleo de polanga)	5	A quente
Pradhan e Sahoo (2020)	x	x			x	30, 40, 50, 60 e 70	SUPERPAVE	Orgânico (óleo de polanga)	5	A quente
Pradhan e Sahoo (2020)	x	x	x	x	x	30, 40, 50, 60 e 70	SUPERPAVE	Orgânico (óleo de pongamia)	5	A quente
Pradhan e Sahoo (2020)	x	x	x	x	x	30, 40, 50, 60 e 70	SUPERPAVE	Orgânico (óleo de mahua)	4	Morna

Tabela 5 - Tabela- resumo dos estudos de abordagem quantitativa

REFERÊNCIA	PROPRIEDADES INVESTIGADAS					TEOR DE RAP (%)	COMPACTAÇÃO ESTABILIDADE MARSHAL	TIPO DE ÓLEO MÓDULO DE RESILIÊNCIA	TEOR DE ÓLEO (%) RESISTÊNCIA À TRACÇÃO	TIPO (MORNA, QUENTE) VIDA DE FADIGA
	ESTABILIDADE MARSHAL	MÓDULO DE RESILIÊNCIA	RESISTÊNCIA À TRACÇÃO	VIDA DE FADIGA	LOTTMAN					
Suzuki (2019)		x	x	x	x	50	Marshall	Orgânico (ANOVA 1815) (óleo vegetal)	2,8	A quente
Taherkhani e Noorian (2018)	x		x	x		25, 50 e 75	Marshall	Orgânico (óleo de cozinha)	10	A quente
Torres (2020)		x	x		x	30 e 60	SUPERPAVE	Orgânico (óleo vegetal residual)	2 e 4	A quente
Xinxin <i>et al.</i> (2018)				x		5, 10, 15 e 20	SUPERPAVE	W-oil (ácido graxo do óleo vegetal)	8	Morna
Zhang <i>et al.</i> (2019)				x		60	Marshall	Orgânico (óleo vegetal)	5; 10; 15 e 20	A quente
Ziari <i>et al.</i> (2019)		x			x	50	Marshall	Orgânico (óleo de cozinha)	6	A quente

Fonte: O autor, 2023

4.1 Comportamento Mecânico Das Misturas Asfálticas Recicladas Com Adição De Óleos Vegetais Diversos

Para melhor visualização dos resultados, os valores encontrados por cada autor foram plotados em um gráfico de barras e estão demonstrados nas Figuras 10, 11, 12 e 13 para as propriedades de estabilidade Marshall, MR, RT e Lottman, respectivamente. Nos gráficos estão identificados a porcentagem de RAP, tipo e teor de agente de reciclagem utilizado e o valor mínimo especificado para cada propriedade.

A Tabela 4 foi construída para realizar a comparação das misturas de controle com os resultados obtidos de cada propriedade mecânica avaliada por cada autor em relação as misturas asfálticas recicladas com adição de óleo vegetal. Para a vida de fadiga não foi possível realizar a compilação dos valores obtidos em cada estudo, sendo avaliado os resultados a partir das discussões de cada autor.

Tabela 6 - Misturas de Controle

Referência	Composição das misturas de controle	Resultados das propriedades mecânicas			
		Estabilidade Marshall (Kgf)	Módulo de Resiliência (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Lottman (%)
Dokandari <i>et al.</i> (2017)	Ligante asfáltico 50/70, Agregados virgens	1190		1,24	
El - Shorbagy <i>et al.</i> (2019)	100% RAP	220			54
Flores (2022)	Mistura 1 - 100% RAP 50/70 Mistura 2 - 100% RAP 60/85		Mistura 1 - 11168 Mistura 2 - 7095	Mistura 1 - 3,07 Mistura 2 - 3,24	
Jain <i>et al.</i> (2017)	Ligante asfáltico, Agregados virgens e 20% RAP	1605,35		1,7	82
Lall <i>et al.</i> (2021)	Ligante asfáltico 50/70, Agregados frescos e Fíler	1138			
Mamun <i>et al.</i> (2020)	Ligante asfáltico e Agregados frescos		1765	0,78	82,73
Melo Neto (2022)	Ligante asfáltico 50/70, Agregados virgens e Fíler		5518	1,14	85,44
Melo Neto <i>et al.</i> (2023)	Ligante asfáltico 50/70, Agregados virgens e Fíler		5518	1,08	89,8
Nunes (2021)	Ligante asfáltico 50/70, Agregados virgens e Fíler		3671	0,96	70,9
Pradhan e Sahoo (2020) - óleo de polanga	Ligante asfáltico 50/70 e Agregados virgens		4790	1,1	83,67

Tabela 7 - Misturas de Controle

Referência	Composição das misturas de controle	Resultados das propriedades mecânicas (conclusão)			
		Estabilidade Marshall (Kgf)	Módulo de Resiliência (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Lottman (%)
Pradhan e Sahoo (2020) - óleo de pongamia	Ligante asfáltico 50/70 e Agregados virgens		4790	1,1	83,67
Pradhan e Sahoo (2020) - óleo de mahua	Ligante asfáltico 50/70 e Agregados virgens		4790	1,1	83,67
Suzuki (2019)	Ligante asfáltico 30/45, Agregados virgens, Fíler e 50% RAP		8135	2,63	99,17
Taherkhani e Noorian (2018)	Ligante asfáltico PG58-16 e Agregados virgens	1420		0,51	
Torres (2020)	Ligante asfáltico 50/70, Agregados virgens e Fíler		6997	1,17	81
Ziari et al. (2019)	Ligante asfáltico 50/60, Agregados virgens		343,23		64,5

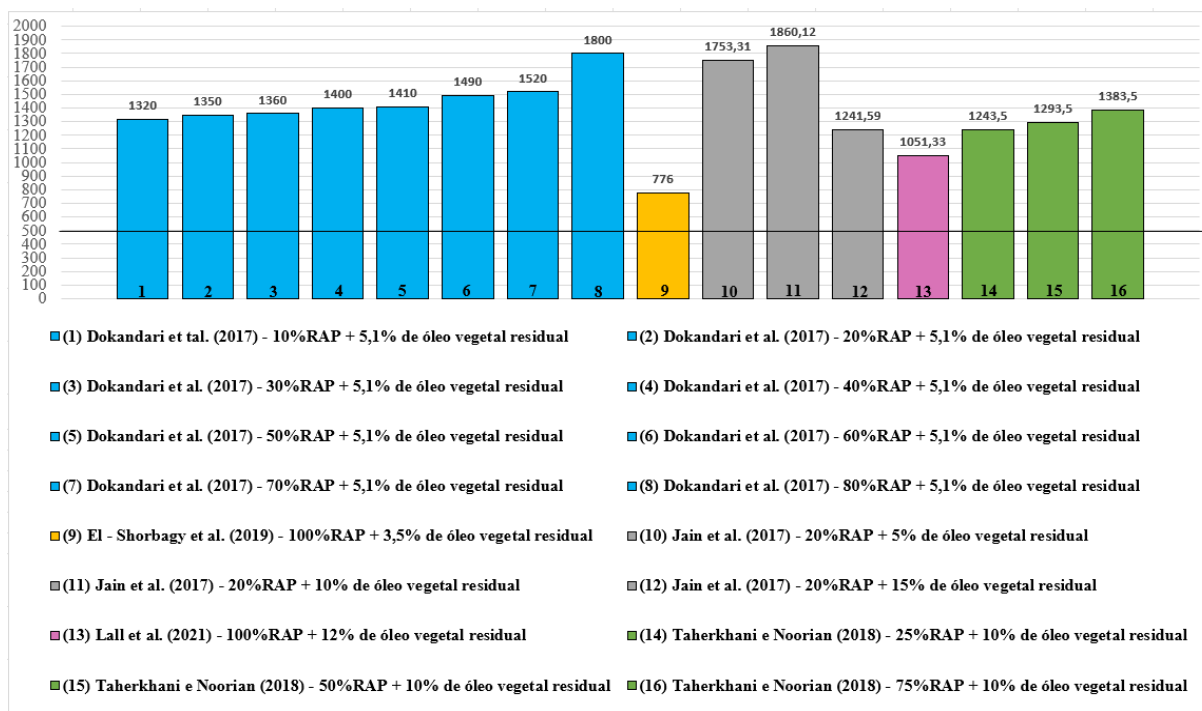
Fonte: O autor, 2023

4.1.1 Estabilidade Marshall

A Figura 10 apresenta um comparativo de resultados da Estabilidade Marshall das misturas recicladas, coletados nos estudos. De modo geral, foi possível observar que as misturas asfálticas recicladas com adição de óleos vegetais atenderam ao valor mínimo de 500 Kgf estabelecido pelo DNIT 031/2006 – ES para este parâmetro, indicado por uma reta no gráfico.

É esperado esse resultado, pois o ligante contido no RAP é um ligante envelhecido, ou seja, as misturas contendo RAP são mais rígidas do que as misturas asfálticas virgens suportando, portanto, maiores cargas antes da falha quando submetidas a uma compressão diametral.

Figura 10 - Resultados Estabilidade Marshall (Kgf)



Fonte: O autor, 2023

Dokandari *et al.* (2017), em seu estudo, verificou o crescimento nos valores da estabilidade com o aumento da porcentagem de RAP, utilizando 5,1% de óleo vegetal residual como agente de reciclagem. Quando comparou esses resultados ao de uma mistura de controle sem utilização de RAP e agente de reciclagem, observou um acréscimo de 10,92% à 51,26% nos dados dessa propriedade para as misturas recicladas. O valor de estabilidade foi superior ao da mistura de controle devido à presença do RAP, mas que a adição do óleo contribuiu para que houvesse uma aproximação do comportamento ao de uma mistura virgem, em teores mais baixos de RAP.

El - Shorbagy *et al.* (2019) notaram um aumento de 252,73% no valor dessa propriedade quando comparou uma mistura contendo 100% de RAP e uma adição de 3,5% de óleo vegetal residual (óleo de cozinha usado), com uma mistura de controle utilizando apenas 100% de RAP. Essa adição do óleo de cozinha residual favoreceu a flexibilidade da mistura, que se tornou menos quebradiça, e conseqüentemente o aumento da estabilidade Marshall.

No estudo de Jain *et al.* (2017), é possível observar um crescimento dos valores da estabilidade Marshall à medida que a porcentagem de óleo vegetal residual é incorporada à mistura, mantendo-se fixa a taxa de material reciclado. Verificou-se que a mistura contendo 15% de óleo vegetal residual tem uma redução em seu valor de estabilidade, descontinuando essa tendência de crescimento. Isso pode ser justificado pelo fato de que a quantidade de óleo

pode ter sido excessiva para o teor de RAP de 20%, resultando numa mistura muito maleável, o que contribuiu para a diminuição do valor da propriedade analisada.

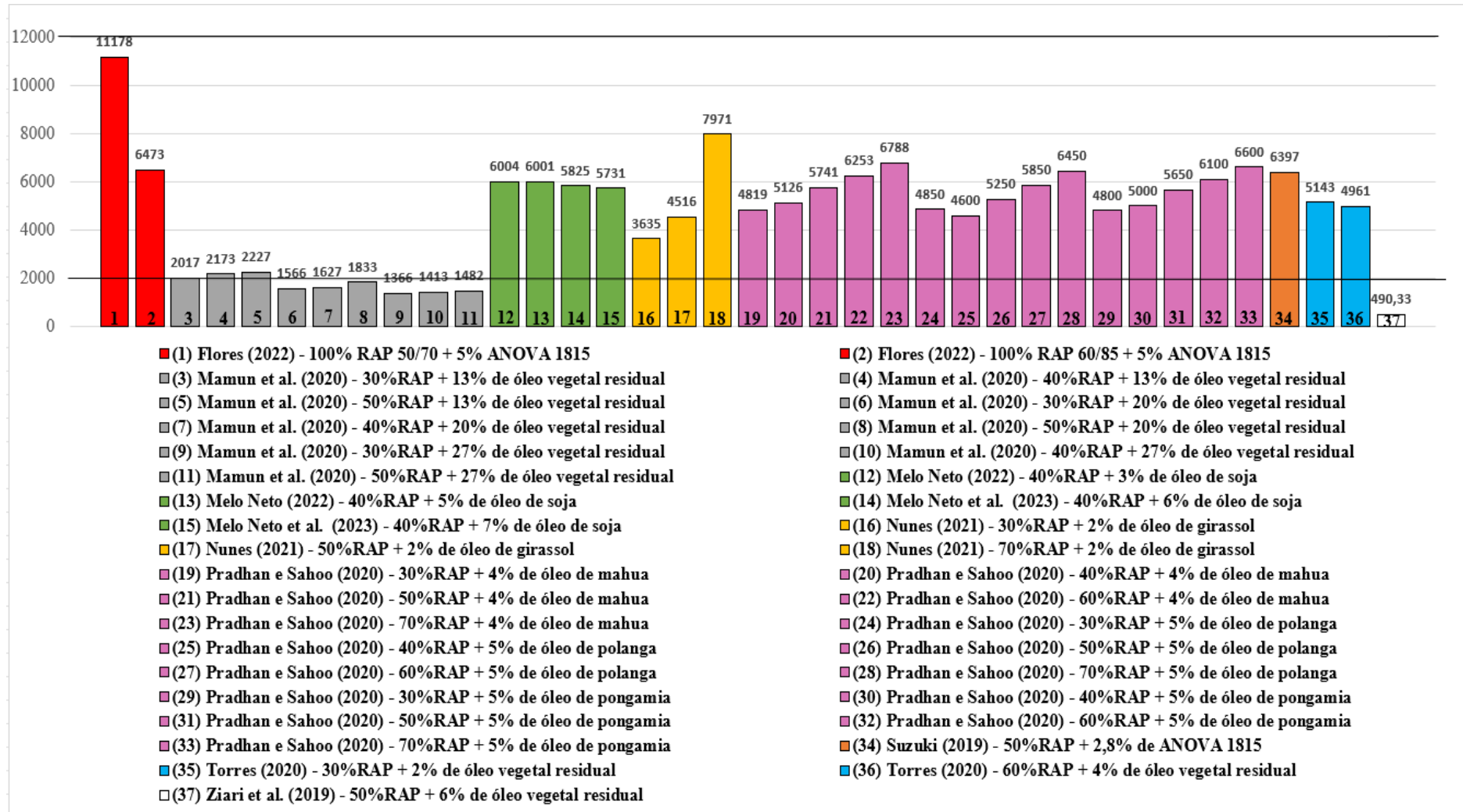
Lall *et al.* (2017) observaram uma redução de 7,61% no valor da estabilidade Marshall de uma mistura com 100% de RAP e 12% de agente de reciclagem em relação a uma mistura de controle sem a incorporação de RAP e óleo vegetal. A quantidade excessiva de óleo também pode ter contribuído para essa diminuição de estabilidade, conforme hipótese levantada nas observações do estudo de (JAIN *et al.*, 2017).

Taherkhani e Noorian (2018) verificaram que a adição de 10% de óleo vegetal residual em misturas com porcentagens de 25%, 50% e 75% de RAP, reduz os valores da estabilidade Marshall no intervalo de 2,57% à 12,43% quando comparadas à uma mistura de controle que não conta com a presença de RAP e óleo. Pôde concluir que o teor de óleo vegetal residual utilizado na mistura está numa quantidade maior que o necessário para compensar o aumento da rigidez causado pela adição do ligante envelhecido, e o excesso resulta em um amolecimento excessivo do ligante asfáltico, resultando em valores inferiores ao da mistura de controle, mesmo com altas porcentagens de RAP, esse mesmo comportamento foi observado nos estudos de (JAIN *et al.*, 2017; LALL *et al.*, 2021).

4.1.2 Módulo de Resiliência

A Figura 11 apresenta um comparativo de resultados de módulo de resiliência das misturas recicladas, coletados nos estudos. Avaliando os resultados do módulo de resiliência dos estudos analisados, é possível observar um comportamento similar ao da estabilidade Marshall, pois, ambos têm uma tendência de crescimento à medida que há um aumento gradativo do teor de RAP na mistura. Isso é explicado em razão da elevada rigidez do ligante envelhecido do RAP. Os valores típicos para o MR estão no intervalo entre 2.000 e 12.000 MP a 25°C e estão indicadas por retas no gráfico a seguir (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Figura 11 - Resultados Módulo de Resiliência (MPa)



Fonte: O autor, 2023

Flores (2022) utilizou um agente de reciclagem que tem como base um óleo vegetal modificado, desta forma podendo ser incluído para essa análise. Em seu estudo mostrou que a adição do agente de reciclagem não modificou de forma significativa o MR nas misturas com RAP 50/70 e RAP 60/85, quando comparada as misturas de controle com RAP e sem adição de óleo, apresentando um aumento de 0,09% e uma redução de 8,77%, respectivamente. O estudo de Suzuki (2019) utilizou o mesmo agente de reciclagem, entretanto, com a sua adição houve uma redução considerável de 21,36%, quando comparada a mistura de controle com RAP e sem a presença de óleo.

A influência do teor de óleo adicionado a misturas asfálticas, pode ser observado no estudo de Mamun *et al.* (2020), que avalia misturas contendo 13%, 20% e 27% de óleo residual de cozinha. O aumento do teor do óleo resulta em uma mistura mais mole, afetando os valores de MR. À medida que houve o aumento do percentual de RAP, teve como consequência o aumento dos valores da propriedade, devido à natureza rígida do RAP envelhecido. No geral, o incremento combinado de óleo e de RAP mostra efeitos duplos: o efeito endurecedor do RAP e o efeito suavizante do óleo.

Os estudos de Melo Neto (2022) e Melo Neto *et al.* (2023) verificaram o comportamento de várias misturas com a mesma quantidade de RAP, que tiveram uma adição crescente na porcentagem de óleo utilizado. É possível observar uma redução do MR à medida que há o incremento de óleo de reciclagem na mistura. Quando é feita a comparação com uma mistura de controle sem a presença de RAP e óleo, os resultados tiveram um aumento de 8,81% à 3,86%. A mistura com 7% de óleo que teve o aumento de 3,86% já se aproxima bastante do valor da mistura de controle, verificando a influência de amolecimento causado pelo óleo.

Nunes (2021) e Ziari *et al.* (2019) observaram o mesmo comportamento em seus estudos. Verificaram a redução do módulo de resiliência a partir da adição de agente de reciclagem nas misturas para qualquer teor de RAP, em comparação a misturas que tiveram apenas a adição de RAP. Isso ocorreu devido à incorporação do óleo que torna as misturas menos rígidas, propiciando a diminuição dos resultados. Quando a comparação é feita com uma mistura de controle sem adição de RAP e agente de reciclagem, Nunes (2021) verificou que os valores podem apresentar um aumento de até 117% para o MR. Para Ziari *et al.* (2019), esse aumento foi de 42,85%.

Os três estudos realizados por Pradhan e Sahoo (2020) utilizaram um mesmo RAP que foi coletado em um trecho de uma rodovia com cerca de 7 a 9 anos de serviço, e de acordo com a classificação de desempenho é caracterizado como PG 70-XX. A diferença se deu no óleo utilizado como aditivo na mistura, sendo o óleo de mahua, polanga e pongamia, que apresentam

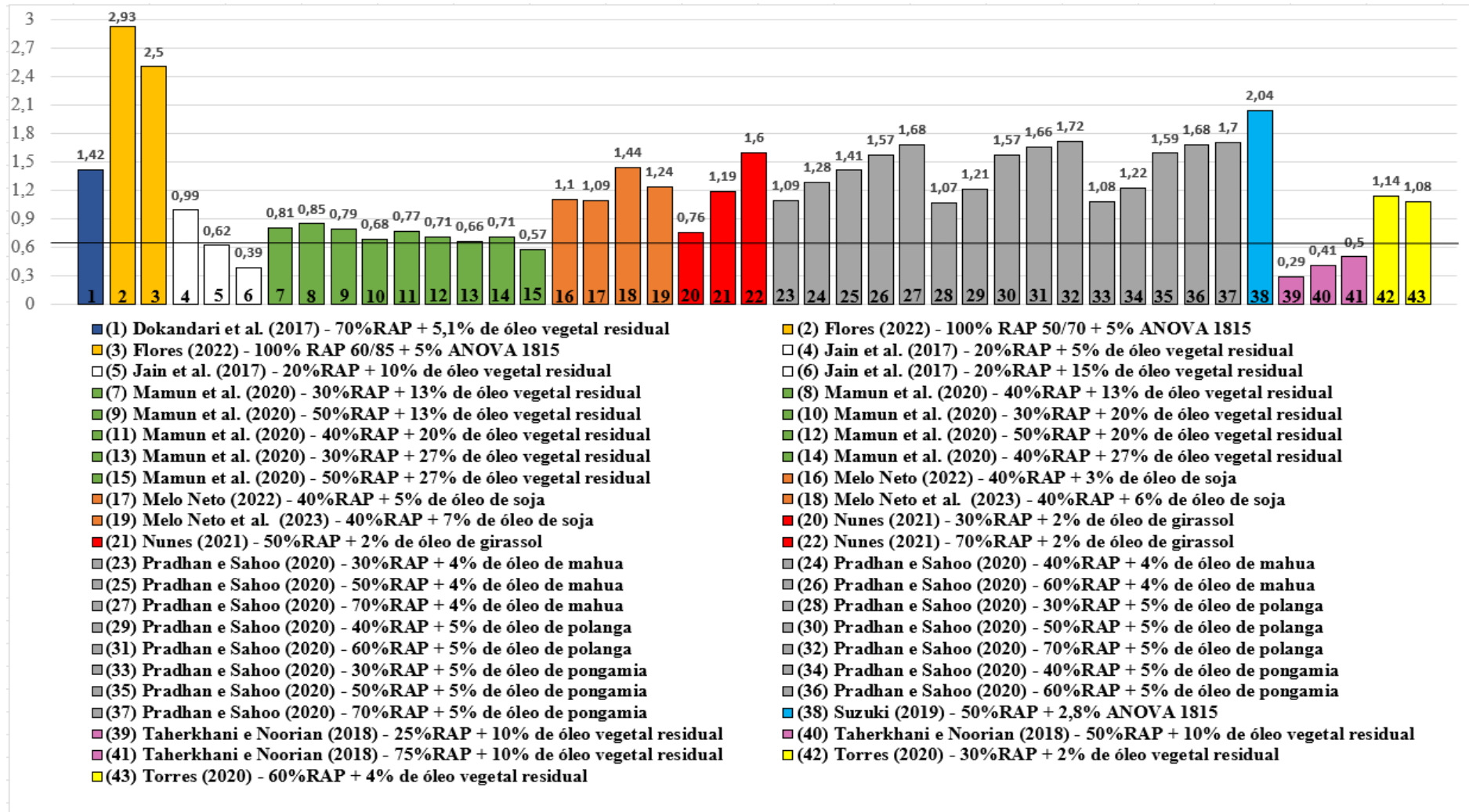
propriedades físicas semelhantes, porém em proporções diferentes. Os resultados apresentaram uma concordância com relação aos valores e observou um aumento no MR à medida que houve a incorporação de RAP utilizado na mistura, para uma mesma quantidade de óleo. É possível verificar que há uma quebra na tendência de crescimento apenas para a mistura com 40% de RAP e 5% de óleo de polanga.

De acordo com Torres (2020), após analisar o Diagrama de Pareto, que faz uma comparação quantitativa dos fatores que mais influenciam para determinada ocorrência, neste caso, as variáveis são os teores de óleo vegetal residual e de material fresado e a interação dos dois. Ele observou que de maneira geral o teor de óleo tem uma maior influência nos resultados dessa propriedade, chegando a um nível de 90% de significância. Os resultados obtidos pelo autor para as misturas com RAP e óleo vegetal apresentaram uma redução de 26,50% e 29,10% quando comparadas a uma mistura de controle sem a adição de RAP e agente de reciclagem.

4.1.3 Resistência à Tração

A Figura 12 apresenta um comparativo de resultados de resistência à tração das misturas recicladas, coletados nos estudos. Quanto aos resultados de resistência à tração, é esperado que à medida que os valores de RAP aumentem, tenha como consequência o aumento dos resultados de resistência. Esse comportamento é esperado pois, maiores quantidades de RAP apresentam maiores proporções de ligante envelhecido e maior rigidez. O valor mínimo estabelecido pelo DNIT 031/2006 – ES é de 0,65 MPa, indicado no gráfico abaixo por uma reta.

Figura 12 - Resultados Resistência à Tração (MPa)



Fonte: O autor, 2023

Flores (2022) em seu estudo mostrou que com a adição do agente de reciclagem conduz a uma redução de 4,56% e 22,84% nos valores de RT para as misturas com RAP 50/70 e RAP 60/85, quando comparadas as suas respectivas misturas de controle com RAP e sem adição de óleo. O estudo de Suzuki (2019) corrobora com esse comportamento, apresentando uma redução de 22,43% quando é feita a comparação com uma mistura de controle com RAP e sem a presença de óleo. Ambos utilizam do mesmo agente de reciclagem em suas misturas.

Nos estudos de Jain *et al.* (2017), Mamun *et al.* (2020) e Torres (2020) foi avaliado o comportamento das misturas com uma mesma porcentagem de RAP para diferentes proporções de óleo adicionado nas misturas. O aumento da porcentagem de óleo resulta em um ligante mais mole, diminuindo a sua viscosidade e reduzindo sua rigidez, resultando em uma redução nos valores da resistência à tração.

Os estudos de Dokandari *et al.* (2017), Taherkhani e Noorian (2018), Melo Neto (2022) e Melo Neto *et al.* (2023) corroboram com essa afirmação, apontando a redução dos valores de resistência a partir da adição de um agente de reciclagem oleoso quando comparadas a uma mistura sem utilização de aditivo.

Em Nunes (2021) verificou que a partir do incremento de RAP para uma mesma porcentagem de óleo foi possível observar um aumento nos valores de resistência à tração. Isso pode ser explicado devido a adição do RAP promover o aumento da rigidez da mistura, conseqüentemente o aumento da RT.

Ao avaliar os três estudos realizados por Pradhan e Sahoo (2020) é possível verificar que para os óleos utilizados em cada mistura, os resultados de RT apresentaram uma tendência em comum, observando um aumento na resistência à tração à medida que houve a incorporação de RAP utilizado na mistura, para uma mesma quantidade de óleo.

4.1.4 Vida de Fadiga

Melo Neto (2022) em seu estudo, teve os resultados obtidos a partir do ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada. Observou um comportamento parecido para as misturas que continham proporções diferentes do óleo vegetal, que obtiveram valores de fadiga melhores quando comparada a mistura que continha a mesma proporção de RAP, mas sem a adição de agente de reciclagem. Isso implica que a adição do óleo vegetal na mistura melhora o desempenho de vida de fadiga.

Os estudos de Nayak e Sahoo (2016), Xinxin *et al.* (2018), Pradhan e Sahoo (2019) e Pradhan e Sahoo (2020) corroboram com essa afirmação, apontando a melhora da vida de fadiga a partir do aumento da porcentagem de óleo. Para obtenção dos resultados, os autores

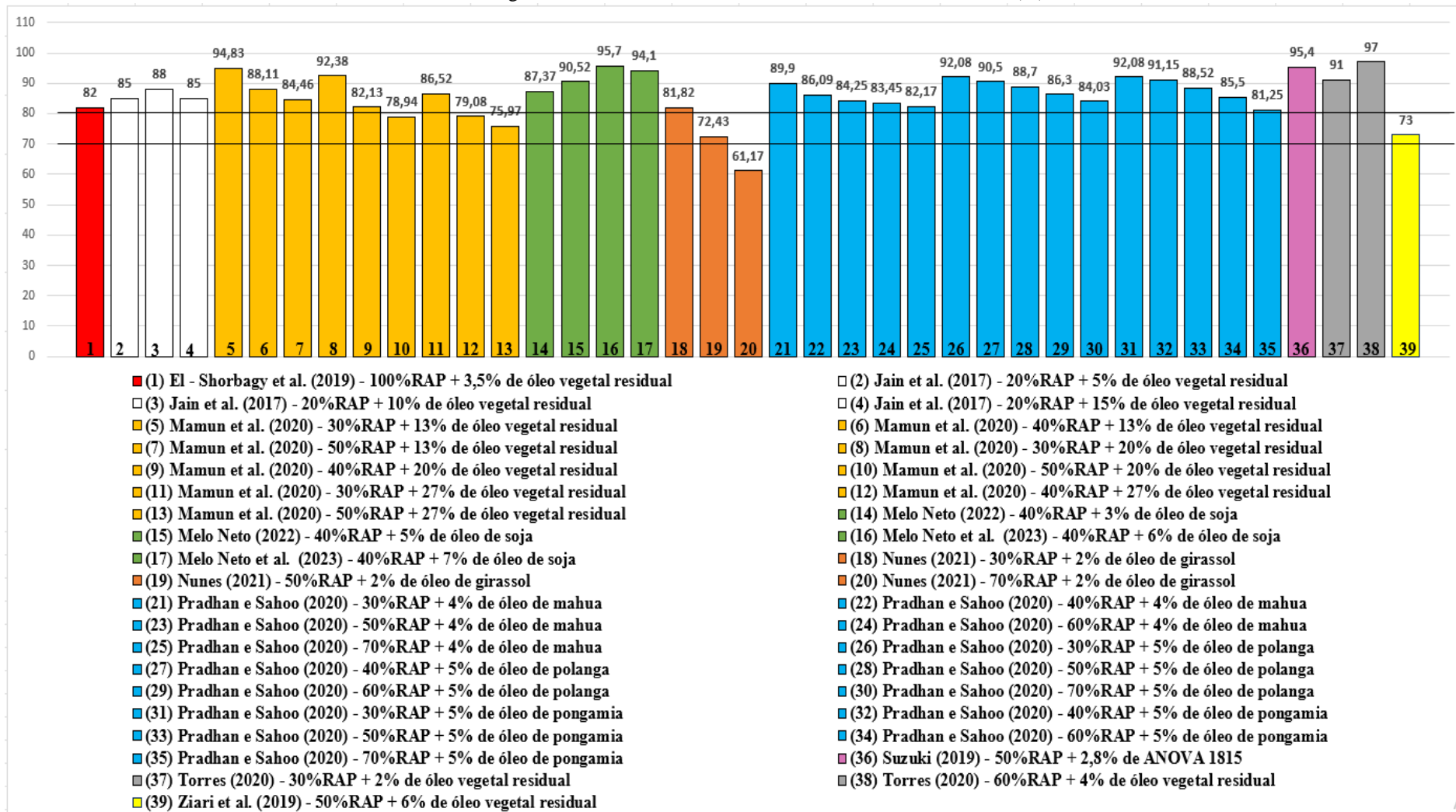
utilizaram diferentes procedimentos para realização do ensaio. Verificou-se que à medida que se aumentou o teor de óleo nas misturas recicladas melhores foram os resultados de vida de fadiga. Esse resultado pode ser explicado pela característica do óleo utilizado, que tem um ponto de congelamento muito baixo, ajudando a manter o seu potencial de rejuvenescimento das propriedades do ligante envelhecido em baixas temperaturas.

No estudo realizado por Pradhan e Sahoo (2020), que utilizou o óleo de mahua como agente de reciclagem na mistura, o teste de vida de fadiga foi realizado por tração indireta. O teste foi executado para misturas contendo entre 30% e 70% de RAP para uma mesma porcentagem de óleo vegetal (4%), verificando altas taxas de vida de fadiga, exceto para a mistura contendo 70% de RAP, que pode estar atribuído a gradação dos agregados e uma menor energia de fratura, que resulta numa mistura frágil.

4.1.5 Suscetibilidade à Umidade Induzida (Lottman)

A Figura 13 apresenta um comparativo de resultados de RRT das misturas asfálticas recicladas, coletados nos estudos. Para a metodologia SUPERPAVE, o valor de RRT mínimo para que a suscetibilidade à umidade da mistura asfáltica seja considerável aceitável é 80%. Entretanto, a norma DNIT 031/2006 adota 70% como valor mínimo de RRT para misturas asfálticas. Os valores mínimos estão identificados por retas no gráfico abaixo.

Figura 13 - Resultados da Suscetibilidade à Umidade Induzida (%)



Fonte: O autor, 2023

El - Shorbagy *et al.* (2019) notaram uma melhora de 51,85% da suscetibilidade à umidade induzida quando comparou uma mistura contendo 100% de RAP e 3,5% óleo de cozinha residual, com uma mistura de controle utilizando apenas 100% de RAP. A adição do óleo pode proporcionar a utilização dessa mistura, pois, o valor da propriedade está acima do mínimo estabelecido por norma.

Jain *et al.* (2017) verificaram em seus resultados que a adição de agente de reciclagem para uma mistura contendo 20% de RAP trouxe melhoras significativas para os valores da propriedade. Esse patamar de crescimento foi interrompido quando foi utilizada uma porcentagem de 15% de agente de reciclagem, sendo esta a maior adicionada na mistura. Pode-se inferir que que porcentagens altas de agente de reciclagem podem afetar negativamente nos valores do Lottman.

O estudo realizado por Mamun *et al.* (2020) corrobora com essa ideia, onde foram avaliadas diferentes porcentagens de RAP para três proporções de agente de reciclagem e tiveram como conclusão uma redução dos valores da propriedade para cada teor de RAP à medida que se adicionou mais agente de reciclagem.

Nunes (2021) em seu estudo, apresentou uma melhora de 15,40% e 2,16% para as misturas com 30% e 50% de RAP com adição de agente de reciclagem, quando comparada a uma mistura de controle sem a utilização de RAP e óleo vegetal. A mistura com 70% de RAP e óleo vegetal apresentou uma redução de 13,72% quando comparada a mistura de controle, indicando que altas porcentagens de RAP pode prejudicar a resistência mecânica.

Melo Neto (2022) verificou que a partir do aumento da porcentagem de agente de reciclagem oleoso para uma mesma quantidade de RAP, os valores da propriedade tiveram uma melhora de 2,26% e 5,94%, quando comparada a uma mistura de controle sem adição de RAP e óleo vegetal. Quando comparada uma mistura reciclada sem adição de agente de reciclagem (80,21%) com a mistura de controle, observou-se uma redução de 6,12% do valor da propriedade, a partir desses resultados é possível verificar o efeito benéfico da adição de óleo na mistura com RAP. Em seu outro estudo, foi utilizado a mesma porcentagem de RAP e verificou o comportamento da mistura para porcentagens maiores de agente de reciclagem. Para a porcentagem de 6% de óleo a tendência de aumentou permaneceu, mas quando foi adicionado 7% de óleo observou-se um comportamento diferente, aferindo uma redução em seu valor (MELO NETO *et al.*, 2023).

Os três estudos realizados por Pradhan e Sahoo (2020) corroboram com esses resultados quanto à suscetibilidade de misturas asfálticas recicladas com diferentes teores de RAP, variando entre 30% a 70%. Os três estudos utilizam uma mesma mistura de controle,

apresentando o valor de 83,67% para a propriedade avaliada, que será utilizada como comparação para as misturas contendo RAP e óleo. No estudo utilizando óleo de mahua, os autores apontam que teores entre 30% e 50% acarretaram aumento do Lottman, mas à medida que se aumentou o teor de RAP a partir de 60% os valores reduziram. Para o estudo que utilizou o óleo de pongamia, verificou essa redução unicamente para a porcentagem de 70% de RAP. E por fim, para a mistura em que o óleo de polanga foi utilizado, o crescimento da propriedade permaneceu para todas as porcentagens de RAP.

Nos estudos de Ziari *et al.* (2019) e Torres (2020) observaram um aumento do Lottman de 13,17% e 12,34% a 19,75% respectivamente, quando é feita a comparação de uma mistura com RAP e agente de reciclagem oleoso com uma mistura de controle sem a presença de RAP e agente de reciclagem. A adição de RAP e óleo na mistura trouxe benefícios positivos nos resultados da propriedade Lottman.

4.2 Tendência De Comportamento Mecânico Das Misturas Asfálticas Recicladas Com Adição De Óleo Vegetal

Após a leitura dos estudos encontrados, foi realizado a coleta dos resultados quantitativos dos ensaios para cada propriedade mecânica elencada na Tabela 3. Todos os dados foram padronizados de acordo com as unidades previstas por norma, para que seja possível a comparação entre os resultados.

O 'Teor de RAP (%)', 'Teor de Óleo' e 'Tipo de Óleo', foram utilizados como variáveis de comparação entre os resultados coletados. Variáveis como, origem do agregado, método do ensaio, origem do RAP etc., foram desconsideradas nesse estudo.

Os resultados dos ensaios estão apresentados nos Apêndices A, B, C e D, que foram organizados em função de cada propriedade investigada com relação ao Teor de RAP (%). Para o estudo de tendência foram coletados os resultados dos ensaios de: Estabilidade Marshall [Kgf]; Módulo de Resiliência [MPa]; Resistência à Tração Estática [MPa] e Suscetibilidade à Umidade Induzida (Lottman) [%]. Foram plotados gráficos de dispersão para cada propriedade estudada, que contava com a relação dos resultados em função do Teor de RAP (%) das misturas. Os gráficos foram analisados de forma global, de modo a investigar algum comportamento de tendência entre os valores encontrados.

Para a vida de fadiga não foi possível a construção do gráfico de dispersão, conseqüentemente do estudo de tendência, pois, não foi possível realizar a compilação dos dados por verificar uma variação da metodologia dos ensaios, impossibilitando uma

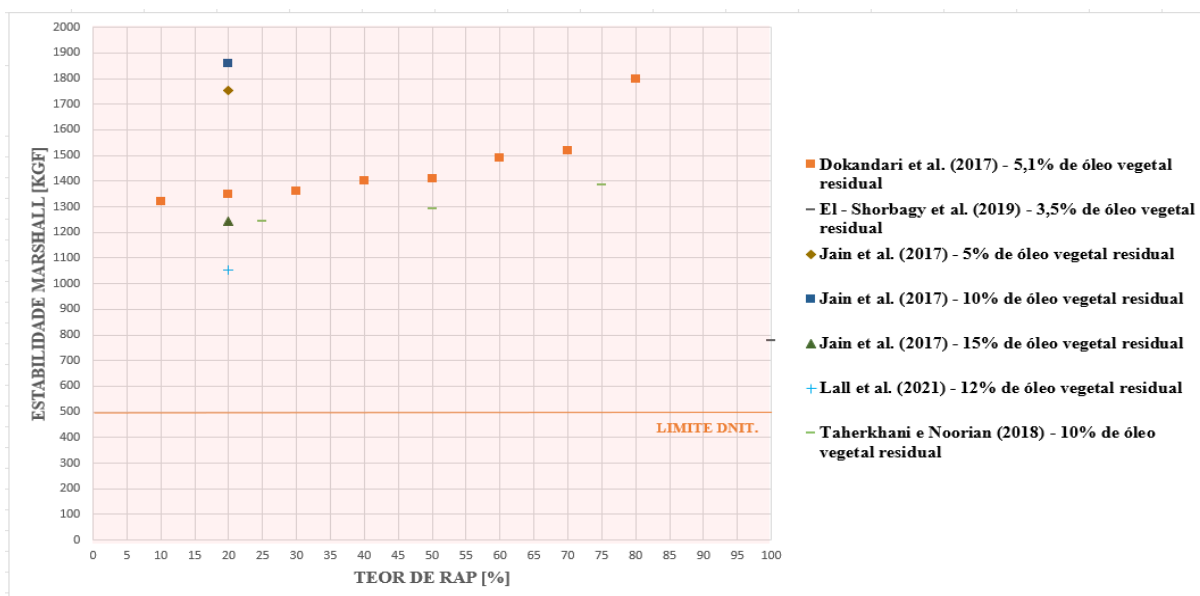
comparação numérica, sendo possível apenas verificar o comportamento da propriedade para cada autor.

4.2.1 Estabilidade Marshall

Os resultados do ensaio de Estabilidade Marshall foram plotados no gráfico de dispersão e estão demonstrados na Figura 14. Os valores utilizados para construção do gráfico estão disponibilizados na Tabela 5, encontrada no Apêndice A.

Não foi possível obter um comportamento de tendência em relação às variáveis adotadas para comparação entre os resultados. Os valores encontrados estão distribuídos de forma bem dispersa impossibilitando gerar algum tipo de relação. Todos os valores das misturas encontradas atenderam ao critério mínimo de 500 Kgf para a camada de rolamento estabelecido pelo DNIT.

Figura 14 - Estabilidade Marshall (Kgf) versus Teor de RAP (%)



Fonte: O autor, 2023

4.2.2 Módulo de Resiliência

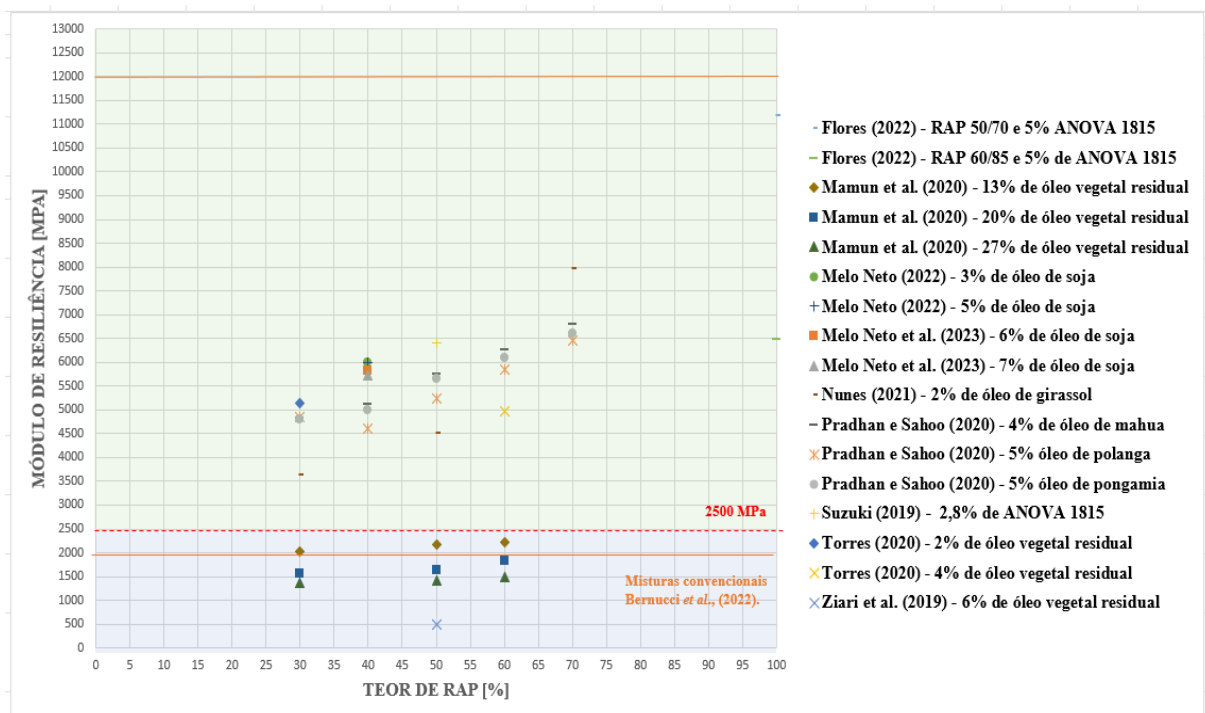
Os resultados coletados do ensaio de Módulo de Resiliência foram plotados no gráfico mostrado na Figura 15. Os valores utilizados na plotagem estão disponibilizados na Tabela 6, encontrada no Apêndice B. De modo geral, a densidade de resultados está entre uma faixa de 2000 a 12.000 MPa, compatibilizando com a afirmação de Bernucci *et al.* (2022) que define essa variação para misturas asfálticas convencionais, indicando um enquadramento das

misturas recicladas em uma faixa de comportamento quanto ao MR similar ao das misturas convencionais.

Para os resultados que ficaram agrupados na área azul do gráfico foi possível observar que a tendência de comportamento está em torno das porcentagens de agente de reciclagem, variando entre 13% e 27% na mistura asfáltica reciclada, que teve como consequência uma redução nos valores encontrados da propriedade em questão para cada estudo localizado nessa região, gerando misturas com valores abaixo de 2.500 MPa. O resultado de Ziari *et al.* (2019) apresenta um comportamento diferente, com valor de MR baixo para uma porcentagem de 50%RAP e uma porcentagem de 6% de óleo, ficando fora dessa tendência estabelecida.

Na área verde do gráfico observasse uma tendência de aumento dos valores da propriedade à medida que se incorpora RAP na mistura. De modo geral, altas porcentagens de RAP oferece valores altos para o módulo de resiliência. O tipo de óleo vegetal utilizado na mistura não teve grande relevância nos resultados do MR, entretanto a porcentagem de óleo ficou entre 2% e 7%, bem abaixo das porcentagens utilizadas nos resultados localizados na área em azul, que ficou entre 13% e 27% de adição de óleo vegetal. Acontece que quando é adicionado quantidades mais altas de óleo, a tendência é que ocorra uma redução da rigidez e, consequentemente, redução do MR. Caso adicionarmos óleo em teores baixos e RAP em teores elevados, a rigidez do RAP se sobressai ao feito amolecedor do óleo, tendendo ao MR ser maior.

Figura 15 - Módulo de Resiliência (Mpa) versus Teor de RAP (%)



Fonte: O autor, 2023

4.2.3 Resistência à Tração

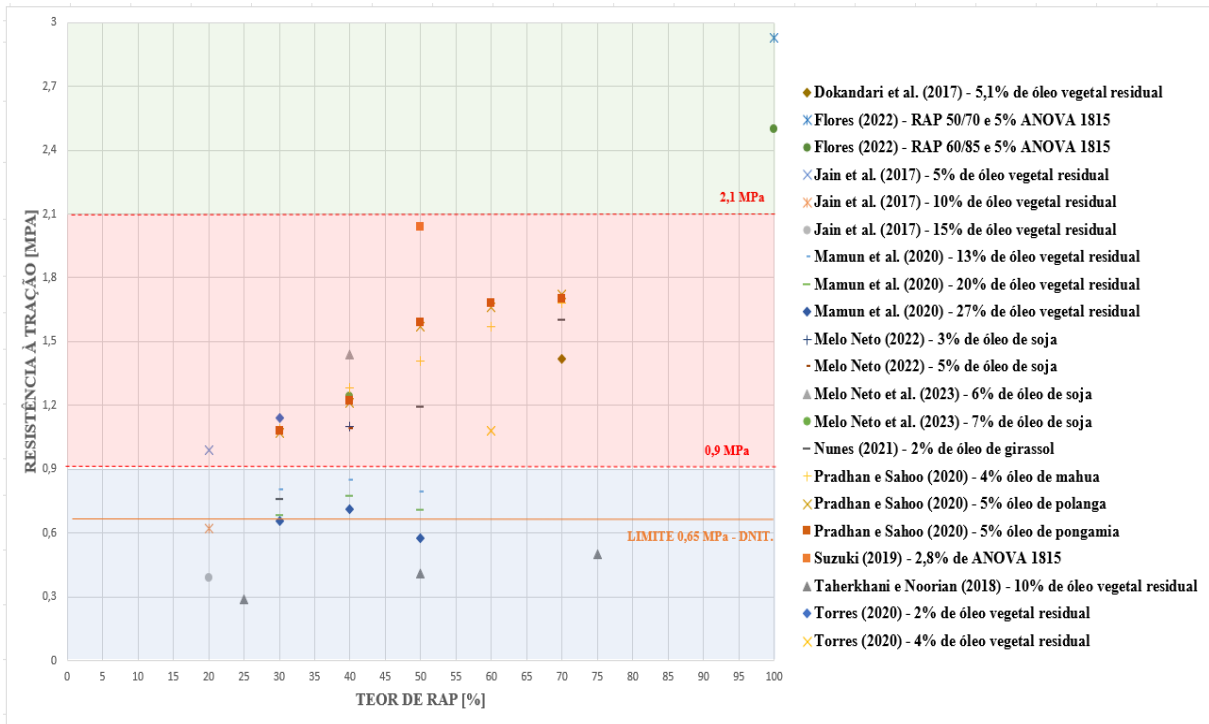
Na Figura 16 encontram-se os resultados da Resistência à Tração extraídos dos estudos selecionados, plotados num gráfico de dispersão. Os valores utilizados na plotagem estão disponibilizados na Tabela 7, encontrada no Apêndice C. Foi traçada uma linha que representa o limite mínimo estabelecido pelo DNIT para misturas asfálticas convencionais com o valor de 0,65 MPa. O gráfico foi dividido em três áreas em cores diferentes, com o objetivo de estabelecer alguma tendência de comportamento entre os estudos encontrados.

Na área em verde é possível observar os maiores valores para a RT. Esse comportamento está relacionado a altas porcentagens de RAP incorporados na mistura, pois, a adição do material reciclado aumenta a rigidez da mistura, conseqüentemente aumenta o valor da propriedade.

Os estudos que tiveram seus resultados localizados na área em azul do gráfico mostraram resultados dispersos com relação a quantidade de RAP. De modo geral é possível observar que a maioria das misturas apresentavam porcentagens com intervalo entre 10% e 27% de agente de reciclagem, sendo essa variável a possível responsável por baixos valores da RT. O agente de reciclagem tem a característica de reduzir a rigidez da mistura, reduzindo a viscosidade da mistura. Partindo dessa premissa, a adição nas misturas de óleo que está nesse intervalo causou um amolecimento excessivo da mistura, reduzindo os valores de RT. Nessa área é possível verificar que o estudo de Nunes (2021) para a mistura de 30% de RAP e apenas 2% de agente de reciclagem está fora dessa tendência.

Na área em vermelho é possível observar que os valores da RT têm a tendência de crescimento à medida que é incorporado RAP na mistura. Observa-se também que nessa região houve um equilíbrio maior com relação a adição de agente de reciclagem, com um intervalo entre 2% e 7%. Verificou-se que as porcentagens estão bem abaixo do intervalo verificado na área azul do gráfico, indicando a possibilidade de a quantidade de agente de reciclagem está adequada para a mistura.

Figura 16 - Resistência à Tração (MPa) versus Teor de RAP (%)



Fonte: O autor, 2023

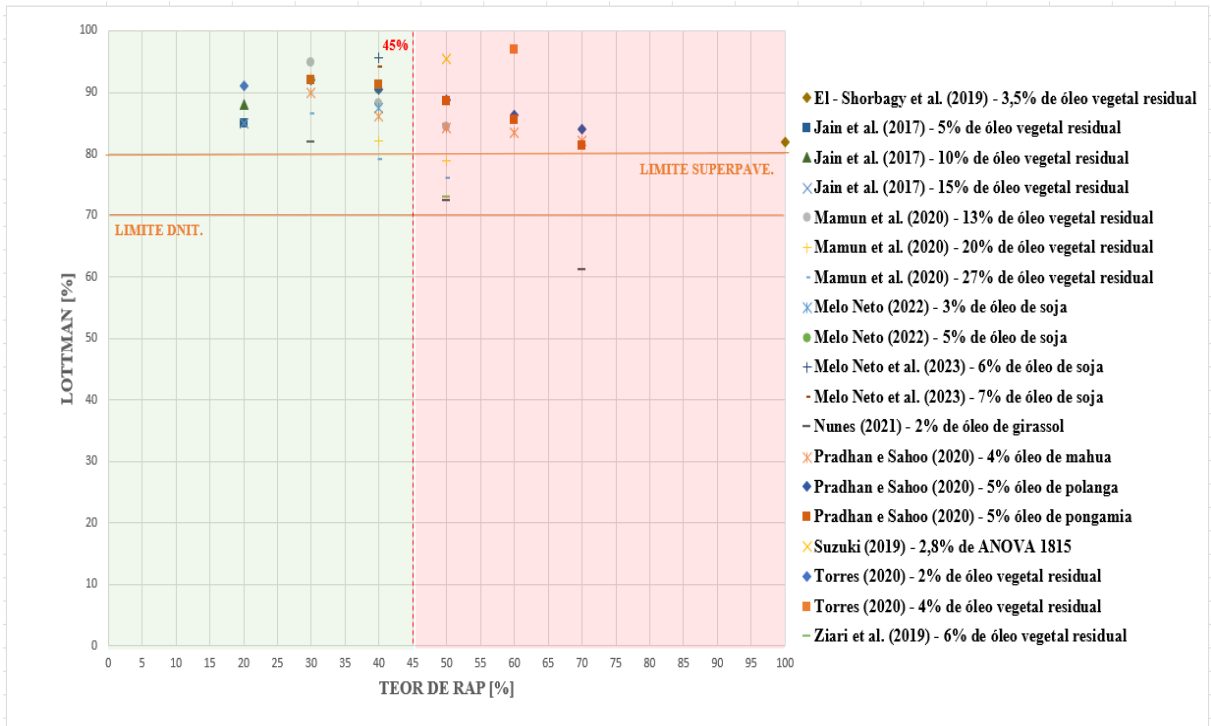
4.2.4. Suscetibilidade à Umidade Induzida

Na Figura 17 encontram-se os resultados da Suscetibilidade à Umidade Induzida (Lottman) extraídos dos estudos selecionados, plotados num gráfico de dispersão. Os valores utilizados na plotagem estão disponibilizados na Tabela 8, encontrada no Apêndice D. Foram traçadas duas linhas que representam o limite mínimo a primeira estabelecida pelo DNIT e a segunda pela metodologia SUPERPAVE, sendo de 70% e 80% respectivamente.

A área do gráfico em verde apresenta a maior densidade de resultados e também concentrou os maiores valores para a propriedade analisada. Isso ocorreu pois o agente de reciclagem adicionado na mistura foi capaz de suprir o efeito negativo causado pela adição de RAP para porcentagens em até 45%. Uma tendência que é possível estabelecer é que quanto maior o teor de RAP, maior a necessidade de teores mais elevados de óleo para a mistura poder apresentar comportamento mecânico satisfatório.

A partir de 45% de RAP adicionado, os resultados apresentaram valores menores, apresentando um resultado que ficou abaixo dos limites estabelecidos. Altas porcentagens de RAP demonstra um efeito muito negativo nos valores da suscetibilidade à umidade induzida.

Figura 17 - RRT (%) versus Teor de RAP (%)



Fonte: O autor, 2023

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foram avaliadas as características das propriedades mecânicas em relação a misturas asfálticas recicladas com adição de óleo vegetal como agente de reciclagem. A partir dos estudos encontrados, foi feita a coleta dos resultados de caracterização mecânica que foram, posteriormente, submetidos a uma análise de tendência a fim de investigar algum comportamento em comum para cada propriedade estudada, em função do teor de RAP, tipo e teor de óleo utilizado como agente de reciclagem.

De acordo com os dados obtidos nesta pesquisa, avaliando-se as misturas asfálticas recicladas que continham a mesma porcentagem de RAP, constatou-se um aumento dos valores de estabilidade Marshall com a adição de óleos vegetais quando comparadas às misturas sem adição de agentes de reciclagem e de RAP. Esse comportamento acontece, pois os óleos vegetais apresentam grande quantidade de ácidos graxos não saturados e a sua adição acarreta misturas mais flexíveis e com rigidez moderada.

Os dados ainda apontaram que misturas contendo porcentagens de óleos vegetais, geralmente acima de 10%, podem conduzir a um amolecimento excessivo do ligante asfáltico, comprometendo a resistência das misturas asfálticas.

Nas propriedades do MR e RT foi observado uma redução nos seus valores a partir da adição de óleo vegetal. A quantidade de óleo adicionado tem uma influência expressiva nessa redução, pois, resulta numa mistura mais flexível.

Para a suscetibilidade à umidade induzida, verificou-se que para altas porcentagens de RAP há a necessidade de adicionar altos teores de agente de reciclagem. De modo geral, a adição de óleo aumentou os valores da RRT, entretanto é necessário que seja adicionada na porcentagem correta de acordo com a quantidade de RAP utilizado, caso não, seu excesso promove a redução dos valores da propriedade.

A adição de óleo vegetal aumenta o desempenho de vida de fadiga. Foi possível chegar a esses resultados podendo atribuir ao aumento da recuperação do ligante envelhecido, a partir das características do óleo vegetal utilizado na mistura.

Portanto, o uso de óleo vegetal como agente de reciclagem em misturas asfálticas recicladas resulta em um comportamento parecido com as misturas convencionais, dependendo do teor incorporado, favorecendo a sua utilização. Essa afirmação é constatada pela melhora da trabalhabilidade das misturas, redução da viscosidade e melhora da consistência.

O teor de óleo vegetal tem grande influência nas propriedades estudadas, sendo necessário utilizar a porcentagem correta para cada tipo de ligante envelhecido, de modo a chegar as condições ideais para essas misturas.

A redução da utilização de ligante novo, agregados e a utilização de óleos vegetais, traz viabilidade do ponto de vista técnico e ambiental para a produção de novas misturas asfálticas.

REFERÊNCIAS

ALBERNAZ, C.A.V. **Método simplificado de retroanálise de módulos de resiliência de pavimentos flexíveis a partir da bacia de deflexão**. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997. Disponível em: <https://www.coc.ufrj.br/pt/dissertacoes-de-mestrado/97-1997/1412-claudio-angelo-valadao-albernaz>. Acesso em: 22 jan. 2023.

ALMEIDA JÚNIOR, Pedro Orlando Borges de. **Reciclagem de misturas 100% RAP: investigação de parâmetros para avaliação e dosagem de agentes rejuvenescedores com foco na fadiga**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, RS, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/26196>. Acesso em: 20 jan. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS DO BRASIL. Diário oficial da União: seção 1. **Resolução nº 897, de 18 de novembro de 2022**. Especificações dos asfaltos e dos aditivos asfálticos de reciclagem para misturas à quente, e suas regras de comercialização em todo o território nacional. Brasília: Diário oficial da União: seção 1, 18 nov. 2022. Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=24/11/2022&jornal=515&pagina=42&totalArquivos=113>. Acesso em: 27 jan. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15617**: misturas asfálticas: determinação do dano por umidade induzida. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. Disponível em: https://www.normas.com.br/visualizar/abnt-nbr-nm/27595/nbr15617-misturas-asfalticas-determinacao-do-dano-por-umidade-induzida#:~:text=Misturas%20asf%C3%A1lticas%20D%20Determina%C3%A7%C3%A3o%20do%20dano%20por%20umidade%20induzida&text=*Trata%20de%20uma%20campanha,de%20produtos%20e%20servi%C3%A7os%20Target. Acesso em: 17 jan. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9935**: Agregados: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36247/nbr9935-agregados-terminologia>. Acesso em: 30 dez. 2022.

BABADOPULOS L. F. A. L.; SOARES J. B.; CASTELO BRANCO, V. T. F. Interpreting fatigue tests in hot mix asphalt (HMA) using concepts from viscoelasticity and damage mechanics. **Transportes**, v. 23, n. 2, 2015. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/898>. Acesso em: 20 dez. 2022.

BAGHAEE MOGHADDAM, T.; BAAJ, H. The use of rejuvenating agents in production of recycled hot mix asphalt: a systematic review. **Construction and Building Materials**, v. 114, p. 805-816, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299900854_The_use_of_rejuvenating_agents_in_production_of_recycled_hot_mix_asphalt_A_systematic_review. Acesso em: 02 jan. 2023.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. Disponível em:

https://www.academia.edu/1192242/Pavimenta%C3%A7%C3%A3o_asf%C3%A1ltica_materiais_projeto_e_restaura%C3%A7%C3%A3o. Acesso em: 02 jan. 2023.

BATISTA, Rafael Santos. **Reciclagem do resíduo produzido pela fresagem do concreto asfáltico**. 2016. Monografia (Especialização em Construção Civil), Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AGUQ4L/1/monografia_rafael_santos_batista_ufmg_r5_rev_banca.pdf. Acesso em: 30 dez. 2022.

BENACHIO, G. L. F.; FREITAS, M. d. C. D.; TAVARES, S. F. Circular economy in the construction industry: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620310933>. Acesso em: 25 dez. 2022.

BERNUCCI, L. L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/21661995/Pavimenta%C3%A7%C3%A3o_Asf%C3%A1ltica_Forma%C3%A7%C3%A3o_B%C3%A1sica_para_Engenheiros. Acesso em: 25 dez. 2022.

BERNUCCI, L. L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2022. Disponível em: <https://triumfotransbrasiliiana.com.br/wp-content/uploads/2022/07/PA-Completo-2022.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2022.

CANCHANYA, Job Pérez. **Avaliação do comportamento mecânico e reológico de mistura asfáltica com adição de 20% de material fresado – RAP**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/188528>. Acesso em: 07 jan. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Pesquisa cnt de rodovias 2022: relatório gerencial**. Brasília, DF: CNT, 2022. Disponível em: <https://cnt.org.br/documento/6b24f1b4-9081-485d-835d-c8aafac2b708>. Acesso em: 28 dez. 2022.

CUNHA, C. B. *et al.* Avaliação de concreto asfáltico usinado a quente com incorporação de material fresado. **Revista Matéria**, v. 23, n. 3, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/22970>. Acesso em: 10 jan. 2023.

CUNHA, Cristiane Bolina. **Avaliação do desempenho de concreto asfáltico usinado a quente com incorporação de material fresado**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/1669/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20do%20desempenho%20de%20concreto%20asf%C3%A1ltico%20usinado%20a%20quente%20com%20incorpora%C3%A7%C3%A3o%20de%20material%20fresado.pdf>. Acesso em: 31 jan. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 043/1995**: misturas betuminosas a quente: ensaio Marshall. Rio de Janeiro: DNER, 1995. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dner_me_043_95.pdf. Acesso em: 31 jan. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 367/1997**: material de enchimento para misturas betuminosas. Rio de Janeiro: DNER, 1997. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-material-em/dner-em367-97.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 083/98**: agregados: análise granulométrica: método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNER, 1998. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dner-me083-98.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 135/2018**: pavimentação asfáltica: misturas asfálticas: determinação do módulo de resiliência. Rio de Janeiro: DNIT, 2010. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit_135_2018_me-2.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 159/2011**: pavimentos asfálticos: fresagem a frio: especificação de serviço. Rio de Janeiro: DNIT, 2011. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_159_2011_es.pdf. Acesso em: 16 jan. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 136/2018**. pavimentação asfáltica: misturas asfálticas: determinação da resistência à tração por compressão diametral: Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit_136_2018_me-1.pdf. Acesso em: 16 jan. 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 180/2018**: pavimentação: misturas asfálticas: determinação do dano por umidade induzida: método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit_180_2018_me-1.pdf. Acesso em: 28 dez. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 183/2018**: pavimentação asfáltica: ensaio de fadiga por compressão diametral à tensão controlada: método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2018. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit183_2018_me.pdf. Acesso em: 28 dez. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/720_manual_restauracao_pavimentos_afalticos.pdf. Acesso em: 29 dez. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. **DNIT 031/2006: pavimentos flexíveis: concreto asfáltico: especificação de serviço**. Rio de Janeiro: DNIT 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_031_2006_es.pdf. Acesso em: 18 jan. 2023.

DOKANDARI, P. A, *et al.* Implementing waste oils with reclaimed asphalt pavement. *In: PROCEEDINGS OF THE 2ND WORLD CONGRESS ON CIVIL, STRUCTURAL, AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 2, 2017, Barcelona. **Anais[...]**. Izmir: Dokuz Eylul University, 2017. DOI: 10.11159/icsem17.142. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337023308_Implementing_Waste_Oils_with_Reclaimed_Asphalt_Pavement. Acesso em: 18 jan. 2023.

EL-SHORBAGY, A.M.; EL-BADAWY, S.M.; GABR, A.R. Investigation of waste oils as rejuvenators of aged bitumen for sustainable pavement. **Construction and Building Materials**, v. 220, p. 228-237, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819313595>. Acesso em: 06 jan. 2023.

FLORES, Guilherme Ceretta. **Estudo de dosagens de misturas 100% RAP na fabricação de blocos para pavimentos intertravados**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/27618>. Acesso em: 12 jan. 2023.

GENNESSEAU, Manuela de Mesquita Lopes. **Avaliação da durabilidade de misturas asfálticas a quente e mornas contendo material asfáltico fresado**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-14072016-145634/pt-br.php>. Acesso em: 18 jan. 2023.

JAIN, M.A.; SHARMA, A.; SHARMA, D.K. Use of edible oil as rejuvenator in reclaimed asphalt pavement. *In: PROCEEDINGS OF THE A NATIONAL CONFERENCE ON ROADS AND TRANSPORT*, 2017, Roorkee. **Anais[...]**. Roorkee: Indian Institute of Technology Roorkee, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/320620237_Use_of_Edible_Oil_as_Rejuvenator_in_Reclaimed_Asphalt_Pavement. Acesso em: 21 dez 2022.

Jl, J. *et al.* Effectiveness of vegetable oils as rejuvenators for aged asphalt binders. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 3, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309516351_Effectiveness_of_Vegetable_Oils_as_Rejuvenators_for_Aged_Asphalt_Binders#:~:text=The%20laboratory%20tests%20and%20statistical,and%20low%2Dtemperature%20cracking%20resistance. Acesso em: 31 jan. 2023.

LALL, A.; DAS, V.R.; SATYANARAYANA, A. Recycled asphalt pavement using waste vegetable oil as rejuvenator. **International Journal of Advance Research and Innovative Ideas in Education**, v. 7, n. 4, 2021. Disponível em: <https://ijariie.com/FormDetails.aspx?MenuScriptId=213864>. Acesso em: 05 jan. 2023.

LI, M. *et al.* Influence of rejuvenator preheating temperature and recycled mixture's curing time on performance of hot recycled mixtures. **Construction and Building Materials**, v. 295, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821013763>. Acesso em: 05 jan. 2023.

MAMUN, A.; AL-ABDUL WAHHAB, H.I.; DALHAT, M.A. Comparative Evaluation of Waste Cooking Oil and Waste Engine Oil Rejuvenated Asphalt Concrete Mixtures. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 45, p. 7987–7997, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-020-04523-5>. Acesso em: 28 jan. 2023.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos pavimentos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2015. Disponível em: <https://www.ofitexto.com.br/mecanica-dos-pavimentos/p>. Acesso em: 26 dez. 2022.

MELO NETO, O.M. *et al.* Effects of the addition of fatty acid from soybean oil sludge in recycled asphalt mixtures. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, p. 50174–50197, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/368513998_Effects_of_the_addition_of_fatty_acid_from_soybean_oil_sludge_in_recycled_asphalt_mixtures. Acesso em: 21 dez. 2022.

MELO NETO, Osires de Medeiros. **Viabilidade de misturas asfálticas recicladas com ácido graxo da borra do óleo de soja**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande, 2022. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/25583>. Acesso em: 22 dez. 2022.

MOON, K. H. *et al.* Low temperature rheological Properties of asphalt mixtures containing different recycle asphalt materials. **International Journal of Pavement Research and Technology**, v. 10, p.84-97, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/311552886_Low_temperature_rheological_properties_of_asphalt_mixtures_containing_different_recycled_asphalt_materials. Acesso em: 23 dez. 2022.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais**. São Paulo: Varela, 1998. 150p. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=ad&id=2063&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22FETT,%20R.%22&qFacets=autoria:%22FETT,%20R.%22&sort=&pagina=1>. Acesso em: 23 dez. 2022.

MOTA, André Luís de Souza. **Levantamento bibliográfico sobre a influência do teor de RAP nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas recicladas**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, São Paulo, 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/23735>. Acesso em: 27 dez. 2022.

NASCIMENTO, B. A.; SOUZA, T. G.; LIMA, L. R. Estudo da utilização de mistura de material fresado com aditivo rejuvenescedor como alternativa à substituição de camada de rolamento e/ou acostamento: Análise em trecho da BR-324. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 6, n. 11, p. 64-90, 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/mistura-de-material>. Acesso em: 27 dez. 2022.

NASCIMENTO, L. *et al.* Uso da tomografia computadorizada e de imagens digitais para o estudo de misturas asfálticas. In: ENCONTRO DO ASFALTO, 18, 2006, Rio de Janeiro. **Anais[...]**. Rio de Janeiro: IBP, 2006. Disponível em: <https://consulta-biblioteca.ibp.org.br/en/search/8223?exp=%22E56e%22%2Fclass&page=1&filter=>. Acesso em: 31 dez. 2022.

NAYAK, P.; SAHOO, U. Rheological, chemical and thermal investigations on an aged binder rejuvenated with two non-edible oils. **Road Materials and Pavement Design**, v. 18, n. 3, p. 612-629, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303356359_Rheological_chemical_and_thermal_investigations_on_an_aged_binder_rejuvenated_with_two_non-edible_oils. Acesso em: 31 dez. 2022.

NOSETTI, A. *et al.* Effect of the recycling process and binder type on bituminous mixture with 100% reclaimed asphalt pavement. **Construction and Building Materials**, v. 167, p. 440-448, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061818302678>. Acesso em: 03 jan. 2023.

NUNES, Aluska Thayuanne Rocha. **Avaliação do óleo de girassol como aditivo mam visando incorporação de elevadas quantidades de material fresado**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/23729?show=full>. Acesso em: 04 jan. 2023.

PODOLSKY, J. H. *et al.* Rheology and mix performance of rejuvenated high RAP field produced hot mix asphalt with a soybean derived rejuvenator. **Road Materials and Pavement Design**, v. 22, n. 8, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338951095_Rheology_and_mix_performance_of_rejuvenated_high_RAP_field_produced_hot_mix_asphalt_with_a_soybean_derived_rejuvenator. Acesso em: 04 jan. 2023.

PORTUGAL, A. C. X. *et al.* Rheological performance of soybean in asphalt binder modification. **Road Materials and Pavement Design**, v. 19, n. 4, p. 768-782. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312099396_Rheological_performance_of_soybean_in_asphalt_binder_modification. Acesso em: 08 jan. 2023.

POULIKAKOS, L. D. *et al.* Harvesting the unexplored potential of european waste materials for road construction. **Resources Conservation and Recycling**, v. 116, p. 32-44, 2017.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344916302415>. Acesso em: 11 jan. 2023.

PRADHAN, S.K.; SAHOO, U.C. Effectiveness of Pongamia pinnata oil as rejuvenator for higher utilization of reclaimed asphalt (RAP) material. **Innovative Infrastructure Solutions**, v. 5, n. 3, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s41062-020-00343-6>. Acesso em: 09 jan. 2023.

PRADHAN, S.K.; SAHOO, U.C. Evaluation of recycled asphalt mixtures rejuvenated with Madhuca longifolia (Mahua) oil. **International Journal of Pavement Research and Technology**, v. 14, p. 43–53, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342394971_Evaluation_of_recycled_asphalt_mixtures_rejuvenated_with_Madhuca_longifolia_Mahua_oil. Acesso em: 13 jan. 2023.

PRADHAN, S.K.; SAHOO, U.C. Influence of softer binder and rejuvenator on bituminous mixtures containing reclaimed asphalt pavement (RAP) material. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 11, n. 1, p. 46-59, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347701628_Influence_of_softer_binder_and_rejuvenator_on_bituminous_mixtures_containing_reclaimed_asphalt_pavement_RAP_material. Acesso em: 19 jan. 2023.

PRADHAN, S.K.; SAHOO, U.C. Performance assessment of aged binder rejuvenated with Polanga oil. **Journal of Traffic and Transportation Engineering**, v. 6, n. 6, p. 608-620, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332217915_Performance_assessment_of_aged_binder_rejuvenated_with_Polanga_oil. Acesso em: 19 jan. 2023.

READ, J.; WHITEOAK, D. **The Shell Bitumen Handbook**, 5th ed. London: Thomas Telford Publishing, 2003. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/439539369/SHELL-bitumen-handbook-5-pdf>. Acesso em: 14 jan. 2023.

SEIDEL, J. C.; HADDOCK, J. E. Rheological characterization of asphalt binders modified with soybean fatty acids. **Construction and Building Materials**, v. 53, p. 324-332, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259518750_Rheological_characterization_of_asphalt_binders_modified_with_soybean_fatty_acids. Acesso em: 31 dez. 2022.

SILVA, J. P. S. **Avaliação dos Efeitos de Produtos Rejuvenescedores em misturas asfálticas**. Tese (Doutorado em Geotecnia). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília. Brasília – DF. 2014. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB_21a7fd7bce7076543ffe0f009df55c67. Acesso em: 31 dez. 2022.

SUZUKI, Karina Yuriko. **Avaliação de misturas asfálticas recicladas a quente com diferentes teores de material fresado**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade São Paulo, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-21082019-141957/pt-br.php>. Acesso em: 24 dez. 2022.

TAHERKHANI, H.; NOORIAN, F. Comparing the effects of waste engine and cooking oil on the properties of asphalt concrete containing reclaimed asphalt pavement (RAP). **Road Materials and Pavement Design**, v. 21, n. 5, p. 1238-1257, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329071094_Comparing_the_effects_of_waste_engine_and_cooking_oil_on_the_properties_of_asphalt_concrete_containing_reclaimed_asphalt_pavement_RAP. Acesso em: 21 jan. 2023.

TORRES, Paulo Roberto Barreto. **Estudo de misturas asfálticas recicladas modificadas com a adição de óleo vegetal residual**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/17902>. Acesso em: 21 jan. 2023.

XINXIN, C. *et al.* Investigation on Possibility of Waste Vegetable Oil Rejuvenating Aged Asphalt. **Applied Sciences**, v. 8, n. 5, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325121702_Investigation_on_Possibility_of_Waste_Vegetable_Oil_Rejuvenating_Aged_Asphalt. Acesso em: 25 jan. 2023.

ZANG, J. *et al.* Influence of different rejuvenating agents on rheological behavior and dynamic response of recycled asphalt mixtures incorporating 60% RAP dosage. **Construction and Building Materials**, v. 238, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339606222_Influence_of_different_rejuvenating_agents_on_rheological_behavior_and_dynamic_response_of_recycled_asphalt_mixtures_incorporating_60_RAP_dosage. Acesso em: 29 jan. 2023.

ZIARI, H. *et al.* Evaluation of performance properties of 50% recycled asphalt mixtures using three types of rejuvenators. **Petroleum Science and Technology**, v. 37, n. 23, p. 2355-2361, 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10916466.2018.1550505?scroll=top&needAccess=true>. Acesso em: 30 jan. 2023.

APÊNDICE A – TABELA 5 – COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DE ESTABILIDADE MARSHALL

Referência	RAP (%)															
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	65	70	75	80	100
ESTABILIDADE MARSHALL [Kgf]																
Dokandari <i>et al.</i> (2017) - 5,1% de óleo vegetal residual			1320		1350		1360		1400	1410	1490		1520		1800	
El - Shorbagy <i>et al.</i> (2019) - 3,5% de óleo vegetal residual																776
Jain <i>et al.</i> (2017) - 5% de óleo vegetal residual					1753,31											
Jain <i>et al.</i> (2017) - 10% de óleo vegetal residual					1860,12											
Jain <i>et al.</i> (2017) - 15% de óleo vegetal residual					1241,59											
Lall <i>et al.</i> (2021) - 12% de óleo vegetal residual					1051,33											
Taherkhani e Noorian (2018) - 10% de óleo vegetal residual						1243,5				1293,5				1383,5		

APÊNDICE B – TABELA 6 – COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DE MÓDULO DE RESILIÊNCIA

Referência	RAP (%)															
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	65	70	75	80	100
MÓDULO DE RESILIÊNCIA [MPa]																
Flores (2022) - RAP 50/70 e 5% ANOVA 1815																11178
Flores (2022) - RAP 60/85 e 5% de ANOVA 1815																6473
Mamun <i>et al.</i> (2020) - 13% de óleo vegetal residual							2017			2173	2227					
Mamun <i>et al.</i> (2020) - 20% de óleo vegetal residual							1566			1627	1833					
Mamun <i>et al.</i> (2020) - 27% de óleo vegetal residual							1366			1413	1482					

Melo Neto (2022) - 3% de óleo de soja								6004							
Melo Neto (2022) - 5% de óleo de soja								6001							
Melo Neto <i>et al.</i> (2023) - 6% de óleo de soja								5825							
Melo Neto <i>et al.</i> (2023) - 7% de óleo de soja								5731							
Nunes (2021) - 2% de óleo de girassol						3635			4516			7971			
Pradhan e Sahoo (2020) – 4% óleo de mahua						4819		5126	5741	6253		6788			
Pradhan e Sahoo (2020) – 5% óleo de polanga						4850		4600	5250	5850		6450			
Pradhan e Sahoo (2020) – 5% óleo de pongamia						4800		5000	5650	6100		6600			

Suzuki (2019) – 2,8 % de ANOVA 1815										6397					
Torres (2020) - 2% de óleo vegetal residual						5143									
Torres (2020) - 4% de óleo vegetal residual										4961					
Ziari <i>et al.</i> (2019) - 6% de óleo vegetal residual										490,33					

APÊNDICE C – TABELA 7 – COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Referência	RAP (%)															
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	65	70	75	80	100
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO [MPa]																
Dokandari <i>et al.</i> (2017) - 5,1% de óleo vegetal residual													1,42			
Flores (2022) - RAP 50/70 e 5% de ANOVA 1815																2,93
Flores (2022) - RAP 60/85 e 5% de ANOVA 1815																2,5
Jain <i>et al.</i> (2017) - 5% de óleo vegetal residual					0,99											
Jain <i>et al.</i> (2017) - 10% de óleo vegetal residual					0,62											
Jain <i>et al.</i> (2017) - 15% de óleo vegetal residual					0,39											
Mamun <i>et al.</i> (2020) - 13% de óleo vegetal residual							0,805		0,848	0,792						

Mamun <i>et al.</i> (2020) - 20% de óleo vegetal residual						0,683		0,773	0,705					
Mamun <i>et al.</i> (2020) - 27% de óleo vegetal residual						0,659		0,71	0,574					
Melo Neto (2022) - 3% de óleo de soja								1,1						
Melo Neto (2022) - 5% de óleo de soja								1,09						
Melo Neto <i>et al.</i> (2023) - 6% de óleo de soja								1,44						
Melo Neto <i>et al.</i> (2023) - 7% de óleo de soja								1,24						
Nunes (2021) - 2% de óleo de girassol						0,76			1,19			1,6		
Pradhan e Sahoo (2020) – 4% óleo de mahua						1,09		1,28	1,41	1,57		1,68		
Pradhan e Sahoo (2020) – 5% óleo de polanga						1,07		1,21	1,57	1,66		1,72		

Pradhan e Sahoo (2020) – 5% óleo de pongamia						1,08		1,22	1,59	1,68		1,7			
Suzuki (2019) – 2,8 % de ANOVA 1815									2,04						
Taherkhani e Noorian (2018) - 10% de óleo vegetal residual						0,29			0,41				0,5		
Torres (2020) - 2% de óleo vegetal residual							1,14								
Torres (2020) - 4% de óleo vegetal residual										1,08					

APÊNDICE D – TABELA 8 – COMPILAÇÃO DOS RESULTADOS DE SUSCETIBILIDADE À UMIDADE INDUZIDA

Referência	RAP (%)															
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	65	70	75	80	100
SUSCETIBILIDADE À UMIDADE INDUZIDA (LOTTMAN) (RRT [%])																
El - Shorbagy <i>et al.</i> (2019) - 3,5% de óleo vegetal residual																82
Jain <i>et al.</i> (2017) - 5% de óleo vegetal residual					85											
Jain <i>et al.</i> (2017) - 10% de óleo vegetal residual					88											
Jain <i>et al.</i> (2017) - 15% de óleo vegetal residual					85											
Mamun <i>et al.</i> (2020) - 13% de óleo vegetal residual							94,83		88,11	84,46						
Mamun <i>et al.</i> (2020) - 20% de óleo vegetal residual							92,38		82,13	78,94						

Mamun <i>et al.</i> (2020) - 27% de óleo vegetal residual						86,52		79,08	75,97							
Melo Neto (2022) - 3% de óleo de soja								87,37								
Melo Neto (2022) - 5% de óleo de soja								90,52								
Melo Neto <i>et al.</i> (2023) - 6% de óleo de soja								95,7								
Melo Neto <i>et al.</i> (2023) - 7% de óleo de soja								94,1								
Nunes (2021) - 2% de óleo de girassol						81,82			72,43			61,17				
Pradhan e Sahoo (2020) – 4% óleo de mahua						89,9		86,09	84,25	83,45		82,17				
Pradhan e Sahoo (2020) – 5% óleo de polanga						92,08		90,5	88,7	86,3		84,03				

Pradhan e Sahoo (2020) – 5% óleo de pongamia						92,08		91,15	88,52	85,5		81,25			
Suzuki (2019) – 2,8 % de ANOVA 1815									95,4						
Torres (2020) - 2% de óleo vegetal residual				91											
Torres (2020) - 4% de óleo vegetal residual										97					
Ziari <i>et al.</i> (2019) - 6% de óleo vegetal residual									73						