

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

**APLICAÇÕES DE PLÁSTICO RECICLADO EM MISTURAS ASFÁLTICAS PELAS
VIAS SECA E ÚMIDA: FASE 1 - ESTUDO LABORATORIAL COM ASFALTOS
PUROS, ASFALTOS-BORRACHA E ASFALTOS-POLÍMERO**

CCR RioSP

03/04/2025

1. CONCESSIONÁRIA

CCR RioSP.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1. Título do Projeto

Aplicações de plástico reciclado em misturas asfálticas pelas vias seca e úmida: Fase 1 – Estudo laboratorial com asfaltos puros, asfaltos-borracha e asfaltos-polímero

2.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento

II – Tecnologia básica e aplicada

IV – Soluções de integração com o meio ambiente

2.1.2. Temas

Plástico reciclado; asfalto-borracha; asfalto-polímero; reciclagem

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é desenvolver aplicações de plásticos reciclados em misturas asfálticas usinadas a quente, tanto pela via seca quanto pela via úmida, neste último caso empregando a técnica de modificação híbrida, na qual se faz a incorporação de plástico reciclado como elemento adicional em asfaltos-borracha e asfaltos modificados com polímero elastomérico. As misturas asfálticas serão preparadas com adição de teores de misturas asfálticas fresadas (por simplicidade denominadas RAP, *Reclaimed Asphalt Pavements*, daqui em diante) na faixa de 10 a 15% em massa, de modo a incrementar a contribuição da pesquisa para a economia circular e a sustentabilidade da pavimentação asfáltica.

2.2.2. Objetivos Específicos

Os seguintes objetivos específicos foram delineados, de modo a alcançar o objetivo geral deste estudo:

1. desenvolver formulações de asfalto modificado com diferentes tipos e teores de plásticos reciclados, a fim de encontrar as melhores alternativas técnicas para os seguintes cenários: (i) cenário 1: CAP + plástico reciclado; (ii) cenário 2: asfalto-borracha + plástico reciclado, e (iii) cenário 3: asfalto-polímero + plástico reciclado, além de avaliar o nível de

suscetibilidade dos asfaltos modificados com plástico reciclado aos envelhecimentos de curto e de longo prazos e se os asfaltos modificados com plástico reciclado apresentarão nível adequado de estabilidade à estocagem (sob temperatura alta e sem agitação mecânica), recomendando medidas corretivas se necessário;

2. avaliar o impacto dos asfaltos modificados com plástico reciclado sobre as propriedades mecânicas das misturas asfálticas: número de fluxo (*flow number*), módulo dinâmico, módulo de resiliência, resistência à tração por compressão diametral, fadiga por compressão diametral, fadiga por tração direta e flexão em amostra semicircular (SCB – *semicircular bending*), além de avaliar se as misturas asfálticas preparadas com asfaltos modificados com plástico reciclado atenderão os requisitos mínimos de resistência ao dano por umidade induzida, recomendando medidas corretivas se necessário;
3. estudar a reciclabilidade das misturas asfálticas com plástico reciclado incorporado pelos processos seco e úmido, mediante a avaliação das propriedades mecânicas de misturas asfálticas compostas apenas com insumos novos e misturas compostas com insumos novos e proporções pequenas (na faixa de 10 a 15%) de misturas asfálticas com plástico reciclado envelhecidas a longo prazo em laboratório; e
4. obter os parâmetros viscoelástico-lineares e de fratura das misturas asfálticas preparadas com plástico reciclado e determinar o índice de dano acumulado por fadiga das misturas asfálticas por meio de modelagem computacional.

3. JUSTIFICATIVA

Os plásticos são elementos massivamente presentes no dia a dia das pessoas e são empregados em praticamente todos os ramos da indústria [1,2]. Os plásticos são usados como material de base para a produção de copos, garrafas, utensílios domésticos, recipientes, tubos, entre outros produtos. No entanto, após o uso, os plásticos costumam ser descartados e provocam sérios problemas ambientais [3]. A poluição provocada pelos plásticos é um dos principais desafios globais, o que se justifica pelo crescente volume de resíduos plásticos que exigem adequada disposição e pelo acúmulo de plásticos nos oceanos [4,5]. A quantidade de resíduos plásticos que pode chegar ao ambiente marinho deve aumentar nos próximos anos, em virtude do crescimento populacional, da alta produção de resinas plásticas e da inexistência de uma infraestrutura adequada para gestão de resíduos. Em 2010, em torno de 275 milhões de toneladas métricas de plástico foram geradas em 192 países costeiros, sendo que entre 4,8 e 12,8 milhões de toneladas métricas podem ter ido parar nos oceanos [6].

O grande volume de resíduos plásticos lançados nos oceanos e nos aterros provocou um interesse crescente no reaproveitamento e na reciclagem dos plásticos [7]. Um dos campos promissores para aplicações de plásticos reciclados é o desenvolvimento de asfaltos modificados por polímeros. Esta técnica é interessante tanto do ponto de vista ambiental quanto técnico, uma vez que não apenas diminui a quantidade de resíduos plásticos lançados nos aterros, mas também proporciona melhorias nas propriedades mecânicas dos asfaltos [8], levando a concretos asfálticos de desempenho superior em relação aos principais mecanismos de ruptura dos pavimentos.

A modificação de ligantes asfálticos é uma prática consolidada na construção rodoviária, por ser uma estratégia efetiva para melhorar o desempenho dos pavimentos [9-12]. A técnica mais efetiva para modificar ligantes asfálticos é por meio da adição de polímeros, uma vez que este processo leva à melhoria do desempenho das misturas asfálticas nas temperaturas baixas, intermediárias e altas, ao proporcionar aumento da resistência da mistura asfáltica à deformação permanente e aos trincamentos por fadiga e de origem térmica [13-16]. Além disso, a adição de polímeros ao asfalto melhora a suscetibilidade térmica do material, ao reduzir a rigidez sob temperaturas baixas de serviço e aumentando-a nas temperaturas altas [16,17].

Dentre os polímeros empregados no mercado da modificação dos asfaltos, o copolímero estireno-butadieno-estireno (SBS) é o mais usado, seguido pelo polietileno (PE), o etileno-vinil-acetato (EVA) e a borracha de estireno-butadieno [12]. Os polímeros reativos (tipo RET) também vêm sendo empregados ao longo dos últimos anos para modificar ligantes asfálticos [18-21]. O emprego de plásticos reciclados representa uma abordagem nova para modificar asfaltos, visando primordialmente melhorar o desempenho do pavimento, em adição à redução dos custos de construção e da quantidade de plásticos descartados no meio ambiente [22-25].

Os polímeros para modificação de asfaltos são alocados em duas categorias: os elastômeros termoplásticos, tais como o estireno-butadieno-estireno (SBS) e a borracha de estireno-butadieno (SBR), e os plastômeros, tais como o polietileno (PE) e o etileno-vinil-acetato (EVA). Os elastômeros proporcionam boas propriedades elásticas aos asfaltos modificados, ao passo que os plastômeros aumentam a rigidez e, como consequência, reduzem a deformação plástica [21,26-27]. As poliolefinas têm sido empregadas como modificador de asfaltos em virtude de seu baixo custo e dos benefícios sobre o desempenho [28]. O polietileno de alta densidade (HDPE), o polietileno linear de baixa densidade (LLDPE) e o polietileno de baixa densidade (LDPE) são os materiais poliolefínicos mais importantes e mais amplamente estudados para aplicação rodoviária

[3,29]. A Tabela 1 mostra os polímeros mais comumente empregados na produção de ligantes asfálticos modificados, assim como suas vantagens, desvantagens e usos na indústria.

Ao longo do tempo, diversos pesquisadores se dedicaram ao estudo dos efeitos da incorporação de polímeros descartados, tais como polietileno [50], polipropileno [48], polivinilclorido [49] e polietileno tereftalato [51], nos asfaltos e misturas asfálticas, em substituição aos polímeros virgens, motivados pelos benefícios econômicos e ambientais [25]. O polietileno reciclado é o mais frequentemente empregado [25,48,50,52-56]. A literatura indica que a adição de polietileno reciclado ao asfalto melhora as propriedades das misturas asfálticas nas temperaturas altas, intermediárias e baixas do pavimento, incluindo a resistência ao dano por umidade induzida [54,57-60].

Fuentes-Audén et al. [61] avaliaram um asfalto puro e cinco asfaltos modificados com polietileno reciclado e observaram aumento da viscosidade com o aumento da proporção de PE reciclado adicionado ao asfalto. Tendo em vista que a viscosidade a 135°C é um indicador da trabalhabilidade da mistura asfáltica, aqueles autores recomendaram que a proporção de PE reciclado não deve exceder 5% em massa do asfalto para aplicações em rodovias, de forma a não superar o limite de viscosidade de 3 mPa.s estabelecido pela ASTM D 6373. Punith e Veeraragavan [54] também observaram que a proporção ideal de PE é de até 5% em massa do asfalto.

Tabela 1. Polímeros mais comuns usados para modificar asfaltos e seus efeitos [3,17,27,30-49]

polímero	vantagens	desvantagens	aplicações
polietileno (PE)	• propriedades superiores a temperaturas altas	• difícil dispersão no asfalto	uso industrial e aplicação rodoviária
	• maior resistência à deformação permanente	• separação de fases e instabilidade	
	• maior resistência ao envelhecimento	• impacto pequeno sobre a recuperação elástica	
	• baixo custo	• teores altos são necessários para alcançar as propriedades desejadas	
	• alto módulo		
	• maior tenacidade na ruptura	• desempenho inferior nas temperaturas baixas	
polipropileno (PP)	• propriedades superiores a temperaturas altas	• insolúvel no asfalto	PP atático é usado para impermeabilização
	• maior resistência às cargas devida à ampliação da faixa de plasticidade	• impacto pequeno sobre a recuperação elástica	
		• baixa resistência ao trincamento por fadiga e de origem térmica	
	• menor suscetibilidade térmica	• separação de fases	
	• baixo custo	• alta tendência de cristalização	

[continua]

Tabela 1. Polímeros mais comuns usados para modificar asfaltos e seus efeitos [3,17,27,30-49] (cont.)

polímero	vantagens	desvantagens	aplicações
etileno-vinil acetato (EVA)	maior resistência ao trincamento por fadiga e de origem térmica	impacto pequeno sobre propriedades em temperaturas baixas	pavimentação e impermeabilização
	menor suscetibilidade térmica	impacto pequeno sobre a recuperação elástica	
	boa estabilidade à estocagem		
	maior resistência à deformação permanente		
polivinil clorido (PVC)	maior resistência à deformação permanente	não melhora desempenho a temperaturas baixas	sem aplicação comercial
	maior resistência à fadiga	ponto de fusão alto	
	maior resistência à tração indireta		
	melhor adesividade ao agregado mineral		
	maior resistência ao envelhecimento		
	boa estabilidade à estocagem		
estireno-butadieno-estireno (SBS)	mais flexível em temperaturas baixas	problemas de compatibilidade com alguns asfaltos	pavimentação e impermeabilização
	maior resistência à deformação permanente		
	maior fluidez a temperaturas altas	custo alto	
	menor suscetibilidade térmica	viscosidade altas nas temperaturas de usinagem/compactação	
	maior rigidez	menor resistência ao calor, radiação UV e oxidação, em relação às poliolefinas	
	menor ruptura adesiva e coesiva		
borracha de estireno-butadieno (SBR)	maior resistência ao trincamento de origem térmica	problemas de compatibilidade	pavimentação
	menor suscetibilidade térmica	menor resistência ao envelhecimento	
	maior resistência à deformação permanente		
	maiores adesão e coesão		
	maior elasticidade		
estireno-isopreno-estireno (SIS)	maior resistência ao envelhecimento	custo relativamente alto	pavimentação e impermeabilização
	boa estabilidade para proporções baixas	problemas de compatibilidade com alguns asfaltos	
	melhor adesividade ao agregado mineral	menor resistência ao calor, radiação UV e oxidação, em relação às poliolefinas	
borracha de pneu moída	propriedades superiores a temperaturas altas	separação de fases	pavimentação
	maior resistência à deformação permanente		
	maior resistência ao trincamento por fadiga e de origem térmica		
	maior elasticidade		
	maior resistência ao dano por umidade		
	maior rigidez		
	boa estabilidade à estocagem com partículas finas		
	menor suscetibilidade térmica		
	baixo custo		

Estudos recentes mostram que a modificação híbrida, definida como a incorporação de dois ou mais modificadores ao asfalto, pode proporcionar melhorias significativas das propriedades reológicas dos asfaltos modificados [34,52,62-65]. Hassanpour-Kasanagh et al. [66] avaliaram um asfalto modificado com 40% de HDPE reciclado, 17,5% de borracha moída, 25% de etileno-propileno-dieno e 17,5% de asfalto (percentuais em massa) e observaram aumento da resistência à deformação permanente e à fadiga (somente sob baixos níveis de deformação), além de aumento do ponto de amolecimento e redução da penetração. A modificação híbrida teve efeito negativo sobre a vida de fadiga sob altas deformações, quando asfaltos mais rígidos não são recomendados [66]. Ge et al. [67] avaliaram as propriedades reológicas de ligantes modificados com polietileno reciclado e borracha moída e relataram redução da penetração e aumento do ponto de amolecimento e aumento da resistência à deformação permanente, sem alteração no desempenho a baixas temperaturas.

Além da modificação de asfaltos por polímeros, denominada processo úmido, outra aplicação, conhecida como processo seco, também pode ser empregada para incorporar resíduos plásticos em misturas asfálticas [68-72]. No processo úmido, os polímeros são misturados ao asfalto sob temperaturas altas, antes de serem misturados ao agregado mineral, resultando em alterações das propriedades do asfalto e na criação de um asfalto modificado por polímero. Já no processo seco, os polímeros são adicionados diretamente ao tambor misturador acompanhando o agregado mineral aquecido, antes de entrar em contato com o asfalto [23,73-77]. Em seguida, o asfalto é adicionado para formar a mistura asfáltica [78-79]. Neste processo, os polímeros derretem e envolvem os agregados, promovendo a melhoria da coesão da mistura asfáltica [23]. Alguns exemplos de polímeros reciclados usados na produção de misturas asfálticas pelo processo seco incluem o polietileno [80-81], o poliestireno [24], o polipropileno [5,23], a borracha moída de pneus descartados [82-83] e o PET [84-85].

Os estudos realizados em laboratório e em campo em outros países atestam a viabilidade técnica da incorporação dos plásticos reciclados aos asfaltos e às misturas asfálticas, tanto pelo processo seco quanto pelo processo úmido. Em outras palavras, a incorporação do plástico reciclado aos pavimentos asfálticos tem se consolidado como tecnologia promissora, com destaque aos ganhos ambientais decorrentes do reuso de plásticos descartados e à promoção da sustentabilidade na pavimentação. No âmbito nacional, são necessárias pesquisas mais amplas e aprofundadas, visando avaliar as respostas dos asfaltos e das misturas asfálticas à inserção de plásticos reciclados por meio dos dois processos disponíveis (seco e úmido). Resta também avaliar o potencial de reciclabilidade das misturas asfálticas preparadas com plástico reciclado,

tanto do ponto de vista do projeto das misturas asfálticas quanto do desempenho delas. Esta pesquisa tem o potencial de elucidar as questões remanescentes sobre a viabilidade técnica desta tecnologia e promover sua aplicação em larga escala no país, sob a perspectiva de ganhos para a sustentabilidade dos pavimentos e da redução do prejuízo ambiental associado ao descarte dos plásticos.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1. Métodos e Técnicas Utilizadas

O estudo visa desenvolver formulações de ligantes asfálticos modificados com plástico reciclado e dosar e caracterizar mecanicamente misturas asfálticas preparadas com estes materiais, visando confeccionar misturas asfálticas preparadas com plástico reciclado e RAP que apresentem propriedades mecânicas superiores ou no mínimo equivalentes a uma mistura asfáltica preparada apenas com agregados minerais e asfalto virgens (mistura de referência). Para alcançar este fim, o estudo ficará circunscrito ao laboratório nesta primeira etapa, com foco nas formulações dos asfaltos modificados com plástico e na sua caracterização reológica, seguida pela dosagem das misturas asfálticas e sua caracterização mecânica.

4.2. Etapas

A fim de alcançar o objetivo geral e os objetivos específicos delineados, o estudo será dividido em etapas (de A a G), conforme detalhamento apresentado a seguir.

ETAPA A) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem por objetivo reunir e avaliar criticamente um grande número de publicações trazendo resultados de pesquisas realizadas tanto no Brasil quanto em outros países, de modo a embasar o delineamento do experimento e a análise dos resultados dos ensaios de laboratório. Serão consultados livros técnicos, revistas especializadas e anais de congressos e outros eventos, além de palestras e notícias trazidas pelas mídias nacionais e internacionais. Os avanços alcançados nesta etapa serão trazidos nos relatórios técnicos parciais e final previstos. A revisão bibliográfica será orientada no sentido de coletar informações relevantes acerca dos temas objetos deste estudo, incluindo:

- efeitos da adição de plásticos reciclados sobre as propriedades reológicas de ligantes asfálticos, incluindo aqueles produzidos pela técnica de modificação híbrida;
- suscetibilidade dos asfaltos modificados com plástico reciclado e das misturas asfálticas que os empregam aos envelhecimentos de curto e de longo prazos;

- efeitos da adição de plásticos reciclados sobre as propriedades volumétricas e mecânicas das misturas asfálticas quando o plástico reciclado é incorporado pelos processos úmido e seco;
- reciclabilidade de misturas asfálticas produzidas com plástico reciclado;
- análise de ciclo de vida e análise de custo de ciclo de vida de misturas asfálticas produzidas com plástico reciclado.

ETAPA B) FORMULAÇÃO DOS ASFALTOS MODIFICADOS COM PLÁSTICO RECICLADO

A etapa de formulação dos asfaltos modificados precede a etapa de confecção das misturas asfálticas e será fundamental para identificar as melhores combinações dos modificadores que se pretende avaliar neste estudo. Serão preparados 3 tipos de asfaltos modificados, os quais serão comparados ao material de referência (CAP 50/70):

1. asfalto modificado com plástico reciclado (CAP+plástico);
2. asfalto-borracha com plástico reciclado;
3. asfalto modificado com polímero elastomérico (virgem) e plástico reciclado.

Os asfaltos-borracha e os asfaltos modificados com polímero elastomérico serão obtidos junto às empresas distribuidoras de asfaltos brasileiras, de modo a empregar produtos comerciais, aos quais se adicionará o plástico reciclado, possivelmente fazendo ajustes na formulação em uma operação conjunta com o produtor. O objetivo aqui é incentivar os distribuidores de asfalto a se familiarizarem com a técnica de modificação híbrida, que tem potencial para proporcionar contribuições tanto do ponto de vista técnico, pelo ganho em durabilidade dos materiais, quanto econômica, por conta do uso de resíduos descartados, e também ambiental, pela ativação da circularidade que promove a sustentabilidade. Por definição, a sustentabilidade na pavimentação se dá por duas vias: pelo emprego de materiais descartados na composição das camadas e pelo aumento da vida útil decorrente do aumento da durabilidade dos materiais.

Um misturador de alto cisalhamento Silverson modelo L5M-A será usado para preparar os asfaltos modificados por resíduos plásticos. Os asfaltos modificados por plástico serão produzidos em temperaturas da ordem de 180°C sob velocidade fixa de agitação em alto cisalhamento (4.000 rpm) por tempos de agitação da ordem de 90 minutos.

ETAPA C) ENVELHECIMENTO DOS ASFALTOS A CURTO E LONGO PRAZOS E CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DOS ASFALTOS VIRGENS E ENVELHECIDOS

O envelhecimento dos asfaltos a curto prazo será realizado na estufa de filme fino rotativo (RTFO) da marca Infratest conforme método ASTM D 2872-19. Uma parte do resíduo envelhecido será reservada para os ensaios de laboratório e a outra será levada à estufa de vaso pressurizado (PAV) da marca ATS. O envelhecimento a longo prazo será feito conforme prescreve a ASTM 6521-19a, empregando uma estufa PAV, a 100°C, pressão de 2,1 MPa, por 20 horas.

Os asfaltos na condição virgem (não-envelhecida) serão caracterizados por meio de ensaios reológicos dos quais serão obtidas as medidas de viscosidade rotacional, módulo de cisalhamento dinâmico ($|G^*|$) e ângulo de fase (δ). A viscosidade rotacional será monitorada segundo procedimento ASTM D4402-15, utilizando um viscosímetro Brookfield modelo DVII+Pro. O monitoramento dos valores de $|G^*|$ e δ será realizado conforme procedimento ASTM D7175-15, empregando um reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR) marca TA Instruments modelo AR2000ex. As medidas obtidas no DSR servirão para o cálculo do parâmetro $G^*/\sin\delta$, usado na classificação dos asfaltos segundo a especificação Superpave, e também para a construção de curvas-mestre, com base nas quais serão calculados diversos índices reológicos.

A análise da estabilidade à estocagem dos asfaltos modificados na condição virgem será feita por meio da norma ASTM D 5892-00, que prescreve o condicionamento das amostras em estufa em um tubo cilíndrico, posicionadas na vertical, por 48 horas a 163°C, para simular a estocagem sem agitação dos materiais. Em seguida, as amostras serão resfriadas e partidas em três partes. O terço superior e o terço inferior serão submetidos a ensaios de ponto de amolecimento, viscosidade e de monitoramento de $|G^*|$ e δ para a posterior composição de curvas-mestre. A diferença entre os valores de ponto de amolecimento e de viscosidade das amostras de fundo e topo bem como os índices reológicos derivados das curvas-mestre serão empregados como elementos para avaliar a estabilidade à estocagem dos asfaltos modificados com plástico reciclado.

Os asfaltos envelhecidos tanto a curto quanto a longo prazo serão caracterizados por meio de ensaios reológicos para obtenção dos valores de $|G^*|$ e δ , segundo a ASTM D7175-15, empregando o mesmo DSR usado na caracterização dos asfaltos virgens. Com base nessas medidas, serão calculados os valores do parâmetro $G^*/\sin\delta$ e serão construídas curvas-mestre. Índices de envelhecimento, calculados com base nos valores das propriedades, índices e

parâmetros reológicos dos materiais nas diferentes condições de envelhecimento, servirão para quantificar os efeitos dos envelhecimentos de curto e de longo prazos.

Especificamente para os asfaltos envelhecidos em curto prazo, a compliância não-recuperável e o percentual de recuperação serão calculados com base nos resultados do ensaio MSCR, conforme procedimento ASTM D7405-20, empregando o mesmo DSR usado nos demais ensaios reológicos. Especificamente para os asfaltos envelhecidos em longo prazo, a rigidez ($S[60]$) e a taxa de relaxação ($m[60]$) serão monitoradas conforme o protocolo ASTM D6648-08, utilizando um reômetro de flexão em viga (BBR) marca ATS.

ETAPA D) DOSAGEM, ENVELHECIMENTO E AVALIAÇÃO DO DANO POR UMIDADE DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

A dosagem das misturas asfálticas será realizada conforme o procedimento descrito na publicação *MS-2 Asphalt Mix Design Methods* [86] do *Asphalt Institute*, levando também em conta as considerações do relatório *NCHRP 673 – A Manual for Design of Hot-mix Asphalt with Commentary* [87]. As dosagens serão feitas segundo o protocolo da especificação Superpave para misturas asfálticas, considerando o estudo preliminar de três granulometrias. Esta etapa é fundamental para o desenvolvimento do estudo proposto, tendo em vista que o asfalto-borracha promove alterações significativas das propriedades volumétricas das misturas asfálticas, exigindo a adoção de um protocolo mais minucioso e criterioso. O mesmo cuidado será tomado quanto às dosagens das misturas asfálticas com modificação por plástico reciclado pelo processo seco, já que certos tipos de plástico podem não se incorporar ao asfalto, atuando então como agregado, o que também pode impactar substancialmente as propriedades volumétricas das misturas. Em outras palavras, cada projeto de dosagem estará associado a um estudo prévio para definir qual o arranjo mineral mais adequado para cada asfalto. Prevê-se, inicialmente, utilizar uma única fonte de agregado mineral em todos os projetos de dosagens.

A preparação da massa asfáltica será feita em misturadora mecânica da marca Infratest com dispositivo para controle da temperatura de mistura. Corpos de prova serão compactados no compactador giratório Servopac da marca IPC Global nos respectivos teores ótimos de cada mistura para serem submetidos a ensaios de caracterização mecânica e avaliação do efeito da água. Os efeitos do envelhecimento sobre as propriedades mecânicas das misturas asfálticas também serão considerados, por serem fundamentais para o perfeito entendimento do papel dos asfaltos sobre a resistência ao trincamento das misturas asfálticas.

A norma AASHTO R 30 será empregada para promover o adequado condicionamento das misturas asfálticas antes do processo de compactação e também para simular o envelhecimento de curto prazo, ao qual a mistura asfáltica está sujeita durante as etapas de usinagem e compactação, assim como o envelhecimento de longo prazo, ao qual a mistura asfáltica está sujeita ao longo da vida útil do pavimento. Os corpos de prova das misturas asfálticas submetidas a esses protocolos serão empregados posteriormente nos ensaios de caracterização mecânica.

A adequada avaliação do desempenho das misturas asfálticas à fadiga bem como o adequado monitoramento das características de fratura das misturas requerem que as amostras sejam submetidas previamente a envelhecimento de longo prazo. Procede-se desta forma para garantir que resultados falsamente favoráveis não sejam obtidos de análises feitas com misturas preparadas em condições de envelhecimento menos desfavoráveis em comparação aos reais níveis de envelhecimento aos quais os materiais estão sujeitos em pista por ocasião do surgimento das trincas.

A avaliação do efeito danoso da água sobre as propriedades mecânicas das misturas asfálticas será feita por meio do condicionamento à umidade previsto na norma AASHTO T 283. Os corpos de prova condicionados à umidade e os corpos de prova de referência serão submetidos ao ensaio de tração por compressão diametral, segundo a norma ASTM D 8225, para cálculo da resistência à tração retida.

ETAPA E) AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS MECÂNICOS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS PREPARADAS COM PLÁSTICO RECICLADO

Serão realizados os seguintes ensaios na máquina de ensaios mecânicos Rio da marca Infratest, visando monitorar as propriedades mecânicas das misturas preparadas com os asfaltos modificados com plástico:

1. módulo dinâmico, segundo a norma AASHTO T 342, a ser determinado sob diferentes temperaturas e frequências, de modo a compor as curvas-mestre das misturas asfálticas e comparar as misturas preparadas com os asfaltos modificados do ponto de vista da rigidez proporcionada por cada material; das curvas-mestre serão obtidos os parâmetros viscoelástico-lineares necessários para a modelagem do comportamento das misturas ao trincamento;
2. fluência sob carga repetida, segundo a norma AASHTO T 378, para determinação do número de fluxo (ou *Flow Number* em inglês), que permitirá avaliar as misturas asfálticas

compostas com asfaltos modificados com plástico do ponto de vista da resistência ao acúmulo de deformação permanente;

3. tração direta, segundo a norma AASHTO TP 107, que permitirá a obtenção das curvas de fadiga das misturas asfálticas em temperaturas intermediárias, mediante a aplicação da teoria S-VECD aos dados coletados nos ensaios;
4. tração por compressão diametral, segundo a norma ASTM D 8225, que permite avaliar o potencial de trincamento em temperaturas intermediárias das misturas asfálticas preparadas com os asfaltos modificados por meio do cálculo do índice de tolerância ao trincamento, conhecido em inglês pelo termo CT_{index} ;
5. fadiga por compressão diametral, segundo a norma DNIT 183/2018-ME, que permitirá a obtenção das curvas de fadiga das misturas asfálticas em temperatura intermediária sob tensão controlada;
6. flexão em amostras semicirculares (SCB), segundo a norma AASHTO TP 105, que permitirá a obtenção da energia de fratura em temperaturas intermediárias das misturas asfálticas preparadas com os diferentes asfaltos modificados; deste ensaio serão obtidas as características de fratura das misturas, a serem empregadas na modelagem computacional;
7. módulo de resiliência, segundo a norma ASTM D 7369, que permitirá a obtenção da rigidez das misturas mediante carregamento de compressão diametral; e
8. ensaios cíclicos no equipamento Hamburgo em amostras cilíndricas, segundo a norma AASHTO T 324, que permitirão avaliar a resistência das misturas asfálticas ao acúmulo de deformação permanente, além do dano induzido pela água (amostras submersas).

ETAPA F) MODELAGEM COMPUTACIONAL DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

A modelagem computacional das misturas asfálticas possibilitará a determinação de um índice de dano por fadiga (ou índice de trincamento), calculado com base em simulações de estruturas de pavimentos em *software* de elementos finitos. Para fins de simulação, as camadas inferiores ao revestimento asfáltico serão consideradas homogêneas, isotrópicas e elástico-lineares, ou seja, caracterizadas unicamente por um valor fixo de módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Já no caso das misturas asfálticas, os diferentes materiais serão caracterizados por suas propriedades viscoelástico-lineares provenientes do ensaio de módulo dinâmico em diferentes temperaturas (curvas-mestre) e do ensaio SCB. A análise computacional seguirá o procedimento descrito na literatura [88] e empregará uma função gaussiana incorporada ao modelo de zona coesiva viscoelástico não-linear que permitirá a consideração dos efeitos não-

lineares provocados por diferentes taxas de carregamento. O índice de trincamento determinado nas simulações será empregado em conjunto com os resultados dos ensaios de fadiga por compressão diametral e por tração direta, para avaliar os efeitos da adição de plástico reciclado na resistência à fadiga das misturas asfálticas.

ETAPA G) ELABORAÇÃO DE RELATÓRIOS

Serão preparados três relatórios parciais ao longo do período de vigência da pesquisa, respectivamente nos meses de número 8, 16 e 24, em atendimento ao Art. 21 da Portaria n. 68 de 6 de março de 2019, relatando os avanços parciais da pesquisa. O relatório final será apresentado após a conclusão do período de vigência da pesquisa e trará o relato completo acerca da pesquisa, incluindo os seguintes capítulos: (i) introdução, (ii) revisão bibliográfica, (iii) materiais e métodos, (iv) resultados e análises, (v) conclusões, e (vi) lista de referências bibliográficas.

5. TEMPO DE EXECUÇÃO, CUSTO TOTAL E CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO

O período proposto para o desenvolvimento desta pesquisa é de 24 meses e o custo total é de R\$1.901.478,66, conforme detalhamento apresentado no cronograma físico-financeiro – ver anexos do Plano de Trabalho.

6. LOCAL DE EXECUÇÃO

A preparação dos asfaltos modificados e sua caracterização reológica, a realização dos projetos de dosagem das misturas asfálticas, a confecção dos corpos de prova de misturas asfálticas para ensaios mecânicos e a realização dos ensaios mecânicos compõem as principais etapas da pesquisa, as quais serão realizadas conjuntamente pelo Centro de Pesquisas Rodoviárias (CPR) da CCR RioSP e pelo Laboratório de Estradas da Escola de Engenharia de São Carlos da USP.

7. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

7.1. Identificação da entidade

A pesquisa será desenvolvida conjuntamente pelo Centro de Pesquisas Rodoviárias (CPR) da Concessionária CCR RioSP e o Laboratório de Estradas da Escola de Engenharia de São Carlos da USP. O CPR trabalha há mais de 20 anos desenvolvendo pesquisas com RDT em assuntos relacionados a materiais utilizados nas atividades de construção e manutenção de pavimentos asfálticos. Durante esse período, o CPR tem contribuído com o meio rodoviário brasileiro com

relatórios de pesquisa e a formação de engenheiros, mestres e doutores atuantes na pavimentação nacional.

Quanto ao Laboratório de Estradas da Escola de Engenharia de São Carlos da USP, trata-se de um laboratório de ensino e pesquisa criado na década de 1970 no campus da USP em São Carlos, SP, que tem como vocação o desenvolvimento de estudos voltados à tecnologia de materiais de pavimentação, incluindo solos, agregados minerais, asfaltos e misturas asfálticas. Nos últimos 18 anos, os professores que atuam no Laboratório desenvolveram diversos projetos com financiamento público e privado, incluindo agências governamentais, tais como ANP, ANTT, CNPq, DNIT e FAPESP, e empresas privadas. Em adição, destaca-se a atuação do Laboratório de Estradas também na prestação de serviços (ensaios de laboratório) a empresas e órgãos públicos, por meio de suas duas centrais multiusuários: Multi-Asfalto (em operação) e Multi-Pav (em fase de licenciamento). Os recursos captados pelos professores do Laboratório de Estradas nos últimos 18 anos, por meio dos projetos de pesquisa e das prestações de serviço, possibilitaram a aquisição de diversos equipamentos, os quais estarão disponíveis para o desenvolvimento desta pesquisa, dispensando o aporte adicional de recursos financeiros para a aquisição de equipamentos.

As pesquisas mais relevantes desenvolvidas no âmbito do Laboratório de Estradas versaram sobre os seguintes temas: (i) asfaltos modificados com polímeros elastoméricos, plastoméricos e reativos; (ii) asfalto-borracha; (iii) asfaltos modificados com plásticos reciclados; (iv) envelhecimento de asfaltos (curto prazo, longo prazo e sob radiação ultravioleta); (v) ensaios, propriedades e parâmetros para concepção de especificações para materiais asfálticos; (vi) métodos simplificados para caracterização reológica de asfaltos em baixa temperatura; (vii) métodos simplificados para simulação dos envelhecimentos de curto e longo prazos de asfaltos; (viii) reciclagem de misturas asfálticas; (vix) bioagentes para reciclagem de misturas asfálticas; (x) extração e recuperação de asfaltos; e (xi) bioasfaltos. Em particular, destaca-se a pesquisa sobre ligantes asfálticos modificados, realizada entre os anos 2015 e 2017, que foi financiada com Recurso de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) e desenvolvida em parceria com a Concessionária CCR Nova Dutra, à época coordenada na USP pelo Prof. Adalberto Faxina.

7.2. Identificação da equipe executora

A equipe executora vinculada ao CPR da Concessionária CCR RioSP está apresentada na Tabela 3 e a equipe executora vinculada ao Laboratório de Estradas da EESC/USP está apresentada na Tabela 4.

Tabela 3. Equipe do CPR da CCR RioSP

nome	CPF	cargo na CCR RioSP	função no projeto
Luis Miguel Gutiérrez Klinsky	231.967.168-48	Gerente de Projetos de Pavimentos	Coordenador do Projeto RDT CCR
Jorge Abel Barberan	405.612.988-66	Coordenador de engenharia	Engenheiro Senior
Geraldo Pereira	802.741.376-15	Analista Engenharia Qualidade II	Engenheiro Pleno
José Carlos Galvão da Cruz	323.987.838-04	Agente Especializado Engenharia	Laboratorista
Geraldo Cleto Damasceno	051.563.406-95	Agente Especializado Engenharia	Laboratorista
Danielson Gomes de Sousa	321.819.278-12	Agente Engenharia III	Laboratorista
Ronaldo Aparecido dos Santos	324.905.378-30	Agente Engenharia III	Laboratorista
Tayna Maria Gomes Manoel	484.654.738-89	Agente Engenharia I	Administrativo

Tabela 4. Equipe do Laboratório de Estradas da EESC/USP

nome	CPF	cargo na universidade	função no projeto
Adalberto Leandro Faxina	260.832.748-69	Professor Associado	Coordenador do projeto
Patricia Hennig Osmari	005.078.170-79	Professora Doutora	Pesquisadora
Lilian Ribeiro de Rezende	834.281.861-68	Professora Titular	Pesquisadora
Jamilla Emi Sudo Lutf Teixeira	990.451.923-49	Professor Adjunto	Pesquisadora
Funcionário contratado por fundação	-	-	Técnico de laboratório
Pós-doutorando(a) com bolsa paga por fundação	-	-	Pesquisador(a)
Mestrando(a) com bolsa paga por fundação	-	-	Pesquisador(a)
Aluno(a) de iniciação científica com bolsa paga por fundação	-	-	Pesquisador(a)

8. PRODUTO

8.1. Apresentação de relatórios parciais e final

Serão entregues três relatórios parciais ao longo do período de vigência da pesquisa, respectivamente nos meses de número 8, 16 e 24, em atendimento ao Art. 21 da Portaria n. 68 de 6 de março de 2019. O relatório final será apresentado até 30 dias após a conclusão do período de vigência da pesquisa.

8.2. Produtos Gerados

Vislumbra-se a geração dos seguintes produtos, após a conclusão do estudo: (i) protocolo para incorporação de plásticos reciclados ao asfalto convencional em escala laboratorial; (ii) protocolo para incorporação de plásticos reciclados ao asfalto-borracha e ao asfalto modificado com polímero elastomérico em escala laboratorial; (iii) protocolo de dosagem de misturas asfálticas com plástico incorporado via seca e via úmida; e (iv) evidências laboratoriais acerca da técnica mais atrativa para incorporação do plástico reciclado (via seca ou via úmida) e do tipo (ou tipos) de plástico mais adequados para aplicação em pavimentação, criando subsídios técnicos para a implantação de futuros trechos experimentais.

9. ESTIMATIVAS DO IMPACTO AMBIENTAL E DO CUSTO DE IMPLANTAÇÃO DA SOLUÇÃO

9.1. Estimativa do impacto ambiental da solução

A fim de dar uma ordem de grandeza do potencial de reuso de plástico descartado na pavimentação asfáltica, apresenta-se um exemplo de cálculo baseado nos seguintes dados: (i) trecho de pista com 1 km de extensão, (ii) adição de 4% de plástico reciclado – por exemplo o polietileno oriundo de sacolas plásticas, em relação à massa de asfalto (processo úmido), (iii) mistura asfáltica densa com teor de asfalto igual 4,8%, (iv) largura de faixa de tráfego igual a 3,60 m, (v) densidade aparente da massa asfáltica igual a 2,500 tf/m³, (vi) espessura da camada asfáltica igual a 12,5 cm, e (vii) peso da sacola plástica igual a 5 kg a cada 700 unidades. O volume geométrico da camada asfáltica é: 1.000 m (C) x 3,6 m (L) x 0,125 m (E) = 450 m³. A massa total de mistura asfáltica compactada é: 2,500 tf/m³ x 450 m³ = 1.125 toneladas. A massa total de asfalto é: 1,125 toneladas x 4,8% = 54 toneladas. A massa total de plástico reciclado corresponde a: 54 x 4,0% = 2,16 toneladas. A quantidade de sacolas de PE por quilômetro de faixa de pista é: 2160 kg/5*700 = 302.400 sacolas.

Outra forma de exemplificar o potencial de reuso de plástico descartado é tomar como referência um cenário em que, mediante ganho de confiança nesta tecnologia e eventualmente mediante a existência de incentivos governamentais, se consiga chegar a uma taxa de uso de asfáltico-plástico na pavimentação de 10% sobre o total da produção nacional de asfaltos, que atualmente supera 2 milhões de toneladas, tomando por base o processo úmido. Dez por cento sobre 2 milhões de toneladas representam 200 mil toneladas de asfalto-plástico empregado na construção de pavimentos. Adotando-se um percentual de plástico de 4%, chega-se a 200.000 x 0,04 = 16 mil toneladas ou 16.000.000 quilos/5*700 = 2,24 bilhões de sacolas plásticas. Tomando por base os

dados disponíveis na página do Recicla Sampa [89], a produção nacional de sacolas plásticas é de aproximadamente 13 bilhões de unidades. Neste cenário, o potencial de reutilização desse tipo de plástico na pavimentação é promissor, ou seja, algo da ordem de 17%.

Destaque-se o fato de que plásticos reciclados como PE e PET têm diversas aplicações comerciais consolidadas, de modo que a pavimentação se configura como um novo campo de aplicação com potencial substancialmente grande de reduzir o volume de plásticos descartados indevidamente no meio ambiente. Também é importante ressaltar que estas análises são preliminares e que se pretende, com o avanço da pesquisa, refinar estas estimativas com base em outras estatísticas e também na literatura técnica.

9.2. Estimativa do custo de implantação da solução

Uma estimativa razoável do custo da modificação de asfalto com plástico reciclado pode ser feita com base na experiência consolidada das empresas distribuidoras de asfalto brasileiras quanto aos custos de produção de um asfalto modificado com polímero elastomérico (tipo SBS ou Elvaloy) de classe 60/85. Esta referência de custo pode ser adotada tendo em vista que a tecnologia de produção de um asfalto modificado com polímero virgem é a mesma adotada na produção de um asfalto modificado com plástico reciclado. Segundo informações obtidas junto a algumas empresas distribuidoras de asfalto, o custo de um asfalto modificado por polímero SBS classe 60/85 é em média 33% mais caro que o mesmo ligante asfáltico sem modificação. Estes custos englobam os custos com insumos, produção e estocagem a quente. Na prática, o custo específico do plástico reciclado é inferior ao custo do polímero virgem, o que pode se refletir em uma pequena redução do custo total de produção.

Por outro lado, se a tecnologia de incorporação do plástico requerer a combinação do material reciclado com um polímero virgem que facilite a incorporação do plástico reciclado, o custo pode se tornar superior ao de um asfalto modificado por polímero elastomérico virgem. Já em relação ao asfalto-borracha, os recentes incentivos fiscais têm feito com que esta tecnologia tenha custos muito atrativos em relação ao próprio asfalto convencional (não-modificado). Na hipótese de incorporação do plástico reciclado ao asfalto-borracha, vislumbra-se a criação de um produto atrativo do ponto de vista comercial, desde que os incentivos fiscais para o asfalto-borracha se mantenham ou novos incentivos sejam criados por conta da incorporação do plástico reciclado.

Destaque-se o fato de que plásticos reciclados como PE e PET têm diversas aplicações comerciais consolidadas, de modo que não é de se esperar que o custo desse tipo de insumo seja nulo, inclusive por conta do transporte e do reprocessamento do material para fins

comerciais. Também é importante ressaltar que estas análises são preliminares e que se pretende, com o avanço da pesquisa, refinar estas estimativas com base em outras estatísticas e também na literatura técnica.

10. DETALHAMENTO DOS CUSTOS DO PROJETO

10.1. Custos com deslocamento da equipe

A aba COTACAO PASSAGENS da planilha 20240221-PLAREC-CFF_2 traz um memorial de cálculo para as passagens aéreas solicitadas na proposta, o qual está reproduzido na Tabela 5. Em linhas gerais, a estratégia é divulgar os resultados da pesquisa em diferentes fóruns e em diferentes níveis ao longo dos dois anos de duração do estudo, com uma distribuição uniforme das tarefas entre os membros da equipe. Para o coordenador (Prof. Adalberto Faxina – USP) estão previstas as passagens aéreas para participação nos workshops da ANTT nos anos de 2025 e 2026, na Reunião Anual de Pavimentação da ABPv em 2025 para apresentação de resultados da pesquisa e na 105ª Annual Meeting do Transportation Research Board nos Estados Unidos para apresentação de resultados da pesquisa. A estratégia é publicizar resultados da pesquisa nacionalmente em 2025 e em um congresso internacional de relevância mundial em 2026.

Tabela 5. Detalhamento das despesas com passagens áreas

Eventos	Coordenador	Pesquisador 1	Pesquisador 2	Pesquisador 3	Pós-doutorando
Workshop ANTT 2025	R\$ 450.00	-	-	-	-
Workshop ANTT 2026	R\$ 450.00	-	-	-	-
Evento Nacional - RAPv 2025	R\$ 1,200.00	R\$ 1,200.00	-	-	-
Evento Nacional - RAPv 2026	-	-	R\$ 1,200.00	-	R\$ 1,200.00
Evento Internacional - TRB 2026	R\$ 8,500.00	-	-	-	-
Evento Internacional - CILA 2025		R\$ 3,500.00	R\$ 3,500.00	-	R\$ 3,500.00
Reunião de projeto (Jamilla)	-	-	-	R\$ 7,000.00	-
Soma por integrante do projeto	R\$ 10,600.00	R\$ 4,700.00	R\$ 4,700.00	R\$ 7,000.00	R\$ 4,700.00
Valor total	R\$ 31.700,00				

Para o pesquisador 1 (Profa. Patrícia Osmari – USP) estão previstas as passagens aéreas para participação na Reunião Anual de Pavimentação da ABPv em 2025 para apresentação de resultados da pesquisa e no 23º Congresso Ibero-latinoamericano del Asfalto (CILA), também em 2025, para apresentação de resultados da pesquisa. A estratégia é publicizar resultados da pesquisa nacionalmente em 2025 (no mês de setembro) e em um congresso internacional de relevância regional no mesmo ano, no mês de novembro. Para o pesquisador 2 (Profa. Lilian Rezende – UFG) estão previstas as passagens aéreas para participação na Reunião Anual de

Pavimentação da ABPv em 2026 para apresentação de resultados da pesquisa e no 23º Congresso Ibero-latinoamericano del Asfalto (CILA) em 2025 para apresentação de resultados da pesquisa. A estratégia é publicizar resultados da pesquisa nacionalmente em 2025 (no mês de setembro) e em um congresso internacional de relevância regional em 2025 (no mês de novembro).

Para o pesquisador 3 (Profa. Jamilla Teixeira da University of Nebraska-Lincoln, EUA), está prevista uma vinda ao Brasil para uma reunião de trabalho, em que se pretende especialmente trabalhar na modelagem computacional das misturas asfálticas, que será a principal contribuição da Profa. Jamilla. Planeja-se que durante sua permanência no Brasil, a Profa. Jamilla ministre um mini-curso sobre modelagem de misturas asfálticas e auxilie os demais membros da equipe na realização das simulações tomando por base os dados das misturas asfálticas produzidas neste estudo. Para o pós-doutorando (membro a definir) estão previstas as passagens aéreas para participação na Reunião Anual de Pavimentação da ABPv em 2026 para apresentação de resultados da pesquisa e no 23º Congresso Ibero-latinoamericano del Asfalto (CILA) em 2025 para apresentação de resultados da pesquisa. A estratégia é publicizar resultados da pesquisa nacionalmente em 2025 (no mês de setembro) e em um congresso internacional de relevância regional no mesmo ano, no mês de novembro.

10.2. Custos com diárias

A aba COTACAO PASSAGENS da planilha 20240221-PLAREC-CFF_2 traz um memorial de cálculo para as diárias solicitadas na proposta, o qual está reproduzido na Tabela 6. Naquela aba também estão mencionadas as fontes usadas no cálculo das diárias, ou seja, tabela atualizada dos valores de diárias nacionais para servidor público federal⁽¹⁾, consultada em 27.01.2024, e tabela atualizada de valores de diárias nacionais e internacionais do CNPq⁽²⁾, consultada em 27.01.2024. No cálculos, foi adotada a referência de R\$425,00 para diárias para Brasília, Manaus, Rio de Janeiro e São Paulo, a referência de R\$380,00 para diárias para os demais estados, o valor de R\$918,00, equivalente a U\$180,00 à taxa de 5,10 para diárias para exterior categoria A e o valor de R\$1.887,00, equivalente a U\$370,00 à taxa de 5,10 para diárias para exterior categoria D. Em linhas gerais, a estratégia é divulgar os resultados da pesquisa em diferentes fóruns e em diferentes níveis ao longo dos dois anos de duração do estudo, com uma distribuição uniforme das tarefas entre os membros da equipe.

⁽¹⁾<https://www.gov.br/servidor/pt-br/assuntos/noticias/2024/janeiro/decreto-publicado-pelo-governo-federal-altera-valores-de-diarias>

⁽²⁾<https://www.gov.br/cnpq/pt-br/aceso-a-informacao/bolsas-e-auxilios/auxilios-1/tabela-de-valores-diarias-para-auxilios#:~:text=O%20valor%20da%20di%C3%A1ria%20no%20exterior%20ser%C3%A1%20de%20US%24%20180.00,servidor%20da%20Administra%C3%A7%C3%A3o%20P%C3%BAblica%20Federal>

Tabela 6. Detalhamento das despesas com diárias

Eventos	Coordenador	Pesquisador 1	Pesquisador 2	Pesquisador 3	Pós-doutorando
Workshop ANTT 2025	R\$ 1,700.00	-	-	-	-
Workshop ANTT 2026	R\$ 1,700.00	-	-	-	-
Evento Nacional - RAPv 2025	R\$ 1,700.00	R\$ 1,700.00	-	-	
Evento Nacional - RAPv 2026	-	-	R\$ 1,700.00	-	R\$ 1,700.00
Evento Internacional - TRB 2026	R\$ 11,322.00		-	-	
Evento Internacional - CILA 2025		R\$ 5,508.00	R\$ 5,508.00	-	R\$ 5,508.00
Reunião de projeto (Jamilla)	-	-	-	R\$ 5,100.00	-
Soma por integrante do projeto	R\$ 16,422.00	R\$ 7,208.00	R\$ 7,208.00	R\$ 5,100.00	R\$ 7,208.00
Valor total	R\$43.146,00				

Para o coordenador (Prof. Adalberto Faxina – USP) estão previstas as diárias para participação nos workshops da ANTT nos anos de 2025 e 2026, na Reunião Anual de Pavimentação da ABPv em 2025 para apresentação de resultados da pesquisa e na 105ª Annual Meeting do Transportation Research Board nos Estados Unidos para apresentação de resultados da pesquisa. A estratégia é publicizar resultados da pesquisa nacionalmente em 2025 e em um congresso internacional de relevância mundial em 2026.

Para o pesquisador 1 (Profa. Patrícia Osmari – USP) estão previstas as diárias para participação na Reunião Anual de Pavimentação da ABPv em 2025 para apresentação de resultados da pesquisa e no 23º Congresso Iberolatinoamericano del Asfalto (CILA), também em 2025, para apresentação de resultados da pesquisa. A estratégia é publicizar resultados da pesquisa nacionalmente em 2025 (no mês de setembro) e em um congresso internacional de relevância regional no mesmo ano, no mês de novembro.

Para o pesquisador 2 (Profa. Lilian Rezende – UFG) estão previstas as diárias para participação na Reunião Anual de Pavimentação da ABPv em 2026 para apresentação de resultados da pesquisa e no 23º Congresso Iberolatinoamericano del Asfalto (CILA) em 2025 para apresentação de resultados da pesquisa. A estratégia é publicizar resultados da pesquisa nacionalmente em 2025 (no mês de setembro) e em um congresso internacional de relevância regional em 2025 (no mês de novembro).

Para o pesquisador 3 (Profa. Jamilla Teixeira da University of Nebraska-Lincoln, EUA), está prevista uma vinda ao Brasil para uma reunião de trabalho, em que se pretende especialmente trabalhar na modelagem computacional das misturas asfálticas, que será a principal contribuição da Profa. Jamilla. Planeja-se que durante sua permanência no Brasil, a Profa. Jamilla ministre um mini-curso sobre modelagem de misturas asfálticas e auxilie os demais

membros da equipe na realização das simulações tomando por base os dados das misturas asfálticas produzidas neste estudo.

Para o pós-doutorando (membro a definir) estão previstas as diárias para participação na Reunião Anual de Pavimentação da ABPv em 2026 para apresentação de resultados da pesquisa e no 23º Congresso Iberoamericano del Asfalto (CILA) em 2025 para apresentação de resultados da pesquisa. A estratégia é publicizar resultados da pesquisa nacionalmente em 2025 (no mês de setembro) e em um congresso internacional de relevância regional no mesmo ano, no mês de novembro.

10.3. Custos com despesas operacionais e administrativas da fundação e taxas da USP

Quanto à composição dos custos referentes às taxas administrativas da Fundação e às taxas da USP, a Tabela 7 traz o detalhamento e outras informações pertinentes.

Tabela 7. Custos referentes à taxa administrativa da Fundação e às taxas da USP

Base de cálculo (R\$)	Recolhedor	Taxa aplicável (%)	Valor (R\$)
652.365,32 ⁽¹⁾	Fundação ⁽²⁾	10	65.236,53
460.365,32 ⁽³⁾	USP ⁽⁴⁾	10	46.036,53
652.365,32 ⁽¹⁾	USP ⁽⁵⁾	5	32.618,27
TOTAL USP			78.654,80
TOTAL (FUNDAÇÃO+USP)			143.891,33

¹Custo do projeto exceto taxas (inclui equipe técnica, outros custos, passagens e despesas de locomoção e diárias)

²Taxa básica cobrada pelas fundações para gestão operacional e administrativa de projetos

³Custo do projeto exceto taxas descontados os valores referentes a bolsas para alunos e pós-doutorandos

⁴Taxa institucional conforme a Resolução 7290 de 14 de dezembro de 2016 disponível em: <https://leginf.usp.br/?resolucao=resolucao-no-7290-de-14-de-dezembro-de-2016-2>

⁵Taxa de apoio institucional, conforme Portaria EESC 22/2022 e convênio EESC-FIPAI (ver anexo)

10.4. Custos com material de consumo

Os seguintes itens de material de consumo são necessários ao desenvolvimento desta pesquisa:

- (i) percloroetileno, álcool e óleo diesel para limpeza dos equipamentos e acessórios que serão usados na pesquisa; o percloroetileno também será empregado como solvente para realizar as extrações de asfalto previstas no estudo;
- (ii) gás sintético para estufa PAV que será usada na pesquisa;
- (iii) EPIs, tais como luvas para manuseio de solventes, luvas descartáveis, luvas para manuseio de objetos em temperaturas altas, óculos de proteção, jalecos, sapatos de

segurança, máscaras para gases orgânicos, a serem empregados na preparação dos materiais e na execução dos ensaios previstos no estudo;

- (iv) vidraria (frascos para RTFO, bquer, balão e demais vidrarias para extrator de refluxo e rotaevaporador) a ser usada na preparação de materiais e na execução dos ensaios previstos no estudo;
- (v) embalagens para armazenamento de amostras (latas de 3,6 litros, latas de 900 ml e marmitas de diferentes tamanhos) a serem manuseadas e produzidas no estudo;
- (vi) algodão para limpeza de equipamentos e acessórios empregados na execução do estudo.

Equipamentos demandam manutenção esporádica cujo custo é difícil de prever. Os custos de manutenção serão apresentados para a eventualidade de ser necessária a manutenção dos equipamentos. Apresenta-se abaixo a lista dos equipamentos do Laboratório de Estradas da EESC/USP e do CPR/CCR que serão empregados na realização deste estudo:

- reômetro de cisalhamento dinâmico
- reômetro de flexão em viga
- estufa RTFO
- estufa PAV
- viscosímetro brookfield
- misturador de alto cisalhamento
- misturador de baixo cisalhamento
- estufa (aquecimento de materiais)
- balança analítica
- penetrômetro
- anel e bola
- ductilômetro
- compactador giratório
- máquina de ensaios dinâmicos
- misturadora (produção de misturas asfálticas)
- rotaevaporador
- extrator de refluxo
- centrífuga
- workstation

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Datta, P. Kopczynska (2016). From polymer waste to potential main industrial products: actual state of recycling and recovering, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 46 (10), 905–946.
- [2] P. Dwivedi, P.K. Mishra, M.K. Mondal, N. Srivastava (2019). Non-biodegradable polymeric waste pyrolysis for energy recovery, *Heliyon*. 5 (8), e02198.
- [3] A. Behnood, M.M. Gharehveran (2019). Morphology, rheology, and physical properties of polymer-modified asphalt binders, *Eur. Polym. J.* 112, 766–791.
- [4] A. Cózar, F. Echevarría, J.I. González-Gordillo, X. Irigoien, B. Úbeda, S. Hernández-León, Á.T. Palma, S. Navarro, J. García-De-Lomas, A. Ruiz, M.L. Fernández-De-Puelles, C.M. Duarte (2014). Plastic debris in the open ocean, *PNAS* 111, 10239–10244.
- [5] S. Angelone, M.C. Casaux, M. Borghi, F.O. Martinez (2016). Green pavements: reuse of plastic waste in asphalt mixtures, *Mater. Struct.* 49, 1655–1665.
- [6] J.R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T.R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K.L. Law (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science* 347 (6223), 768–771.
- [7] K. Hamad, M. Kaseem, F. Deri (2013). Recycling of waste from polymer materials: an overview of the recent works, *Polym. Degrad. Stab.* 98 (12), 2801–2812.
- [8] M. García-Morales, P. Partal, F.J. Navarro, F. Martínez-Boza, C. Gallegos (2004). Linear viscoelasticity of recycled EVA-modified bitumens, *Energy & Fuels* 18 (2), 357–364.
- [9] J.Y.M. Nuñez, M.D.I. Domingos, A.L. Faxina (2014). Susceptibility of low-density polyethylene and polyphosphoric acid-modified asphalt binders to rutting and fatigue cracking, *Constr. Build. Mater.* 73, 509–514.
- [10] U. Isacsson, X. Lu (1995). Testing and appraisal of polymer modified road bitumens - state of the art, *Mater. Struct.* 28, 139–159.
- [11] M.J.W. Downes (1986). Modified binders to the year 2000, In: 6th Int. Asph. Conf., Sydney, Australia, 35–39.
- [12] G.D. Airey (2004). Styrene butadiene styrene polymer modification of road bitumens. *J. Mater. Sci.* 39, 951–959.
- [13] G.D. Airey (2002). Rheological evaluation of ethylene vinyl acetate polymer modified bitumens, *Constr. Build. Mater.* 16 (8), 473–487.
- [14] M.J. Khattak, G.Y. Baladi (2001). Fatigue and permanent deformation models for polymer-modified asphalt mixtures, *Transp. Res. Rec.* 1767, 135–145.
- [15] Y. Becker, M.P. Méndez, Y. Rodríguez (2001). Polymer modified asphalt, *Vis. Tecnol.* 9, 39–50.
- [16] P.J. Carreaul, M. Bousmina, F. Bonniot (2000). The viscoelastic properties of polymer modified asphalts, *Canad J. Chem. Eng.* 78, 495–503.
- [17] Y. Becker, M.P. Méndez, Y. Rodríguez (2001). Polymer Modified Asphalt, *Vis. Tecnol.* 9, 39–50.
- [18] G. Polacco, S. Filippi, F. Merusi, G. Stastna (2015). A review of the fundamentals of polymer-modified asphalts: asphalt/polymer interactions and principles of compatibility, *Adv. Colloid Interface Sci.* 224, 72–112.
- [19] A. Pérez-Lepe, F.J. Martínez-Boza, P. Attané, C. Gallegos (2006). Destabilization mechanism of polyethylene-modified bitumen, *J. Appl. Polym. Sci.* 100, 260–267.
- [20] S. Keyf, O. Ismail, B.D. Corbacioglu, H. Ozen (2007). The modification of bitumen with synthetic reactive ethylene terpolymer and ethylene terpolymer, *Pet. Sci. Technol.* 25 (5), 561–568.
- [21] V. Selvavathi, V.A. Sekar, V. Sriram, B. Sairam (2002). Modifications of bitumen by elastomer and reactive polymer - a comparative study, *Pet. Sci. Technol.* 20 (5- 6), 535–547.
- [22] L.M.B. Costa, H.M.R.D. Silva, J. Peralta, J.R.M. Oliveira (2019). Using waste polymers as a reliable alternative for asphalt binder modification – performance and morphological assessment. *Constr. Build. Mater.* 198, 237–244.
- [23] P. Lastra-González, M.A. Calzada-Pérez, D. Castro-Fresno, A. Vega-Zamanillo I. Indacoechea-Vega (2016). Comparative analysis of the performance of asphalt concretes modified by dry way with polymeric waste. *Constr. Build. Mater.* 112, 1133–1140.
- [24] Vila-Cortavitarte, M., Lastra-González, P., Calzada-Pérez, M.Á., Indacoechea-Vega, I. 2018. Analysis of the influence of using recycled polystyrene as a substitute for bitumen in the behaviour of asphalt concrete mixtures. *J. Clean. Prod.* 170, 1279–1287.
- [25] Z. Zhao, F. Xiao, S. Amirkhanian (2020). Recent applications of waste solid materials in pavement engineering. *Waste Manag.* 108, 78–105.
- [26] G. Polacco, J. Stastna, D. Biondi, F. Antonelli, Z. Vlachovicova, L. Zanzotto (2004). Rheology of asphalts modified with glycidylmethacrylate functionalized polymers, *J. Colloid Interface Sci.* 280, 366–373.
- [27] J. Zhu, B. Birgisson, N. Kringos (2014). Polymer modification of bitumen: Advances and challenges, *Eur. Polym. J.* 54, 18–38.

- [28] R.N. Hunter, A. Self, J. Read (2015). *The Shell Bitumen Handbook*, 6th ed., ICE Publishing, Westminster, London, UK.
- [29] M. Liang, X. Xin, W. Fan, J. Zhang, H. Jiang, Z. Yao (2021). Comparison of rheological properties and compatibility of asphalt modified with various polyethylene, *Int. J. Pavement Eng.* 22 (1), 11–20.
- [30] M.D.I. Domingos, A.L. Faxina, L.L.B. Bernucci (2017). Characterization of the rutting potential of modified asphalt binders and its correlation with the mixture's rut resistance, *Constr. Build. Mater.* 144, 207–213.
- [31] C. Giavarini (1994). Polymer-Modified Bitumen, *Dev. Pet. Sci.* 40, 381–400.
- [32] S. Köfteci, P. Ahmedzade, B. Kultayev (2014). Performance evaluation of bitumen modified by various types of waste plastics, *Constr. Build. Mater.* 73, 592–602.
- [33] E.N. Ezzat, A.H. Abed (2020). Effects of polyvinyl chloride (PVC), styrene butadiene styrene (SBS) and aggregate gradation on permanent deformation of asphalt concrete pavement, *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 671.
- [34] E.N. Ezzat, A.H. Abed (2020) Enhancement rheological properties of asphalt binder modified with hybrid polymers according to Superpave system, In: *Mater. Today Proc.*, Elsevier Ltd, 572–578.
- [35] S. Poovaneshvaran, M.R. Mohd Hasan, R. Putra Jaya (2020). Impacts of recycled crumb rubber powder and natural rubber latex on the modified asphalt rheological behaviour, bonding, and resistance to shear, *Constr. Build. Mater.* 234.
- [36] S.J. Lee, C.K. Akisetty, S.N. Amirkhanian (2008). The effect of crumb rubber modifier (CRM) on the performance properties of rubberized binders in HMA pavements, *Constr. Build. Mater.* 22, 1368–1376.
- [37] F. Chavez, J. Marcobal, J. Gallego (2019). Laboratory evaluation of the mechanical properties of asphalt mixtures with rubber incorporated by the wet, dry, and semi-wet process, *Constr. Build. Mater.* 205, 164–174.
- [38] A.S. Eltwati, A. Hossein, D. Nasr (2020). Effect of crumb rubber particles on the properties of asphalt, In: M. Awang, M.R.M.M. Fared (Eds.), *ICACE 2019. Lect. Notes Civ. Eng.*, vol 59, Springer, Singapore, 216.
- [39] F.J. Navarro, P. Partal, F. Martínez-Boza, C. Gallegos (2004). Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens, *Fuel*, 2041–2049.
- [40] L. Zanzotto, G.J. Kennepohl (1996). Development of rubber and asphalt binders by depolymerization and devulcanization of scrap tires in asphalt, *Transp. Res. Rec.* 1530, 51–58.
- [41] M.D.I. Domingos, A.L. Faxina, L.L.B. Bernucci (2020). Modelling and permanent deformation analysis of low-density polyethylene (PE)-modified bitumens and asphalts, *Road Mater. Pavement Des.* 22 (8), 1860–1880.
- [42] M.D.I. Domingos, A.L. Faxina (2016). High-temperature properties and modeling of asphalt binders modified with SBR copolymer and PPA in the Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) test, *Appl. Rheol.* 26, 1–9.
- [43] M.D.I. Domingos, A.L. Faxina (2015). Rheological behaviour of bitumens modified with PE and PPA at different MSCR creep–recovery times, *Int. J. Pavement Eng.* 16, 771–783.
- [44] M.D.I. Domingos, A.L. Faxina, L.L.B. Bernucci (2019). Rutting behavior and rheological modeling of EVA-modified binders in the mixture and binder scales, *Mater. Struct.* 52.
- [45] Y. Yildirim (2007). Polymer modified asphalt binders, *Constr. Build. Mater.* 21, 66–72.
- [46] Q. Ye, S. Amirkhanian, J. Li, Z. Chen (2020). Effects of waste polyethylene on the rheological properties of asphalt binder, *J. Test. Eval.* 48.
- [47] C. Fang, X. Liu, R. Yu, P. Liu, W. Lei (2014). Preparation and properties of asphalt modified with a composite composed of waste package poly(vinyl chloride) and organic montmorillonite, *J. Mater. Sci. Technol.* 30, 1304–1310.
- [48] D. Casey, C. McNally, A. Gibney, M.D. Gilchrist (2008). Development of a recycled polymer modified binder for use in stone mastic asphalt, *Resour. Conserv. Recycl.* 52, 1167–1174.
- [49] A. Behl, G. Sharma, G. Kumar (2014). A sustainable approach: utilization of waste PVC in asphalting of roads, *Constr. Build. Mater.* 54, 113–117.
- [50] Ho, S., Church, R., Klassen, K., Law, B., Macleod, D., Zanzotto, L. (2006). Study of recycled polyethylene materials as asphalt modifiers, *Can. J. Civ. Eng.* 33, 968–981.
- [51] El-Naga, I.A., Ragab, M. (2019). Benefits of utilization the recycle polyethylene terephthalate waste plastic materials as a modifier to asphalt mixtures, *Constr. Build. Mater.* 219, 81–90.
- [52] F. Zhang, C. Hu (2016). The research for crumb rubber/waste plastic compound modified asphalt, *J. Therm. Anal. Calorim.* 124 (2), 729–741.
- [53] C. Fang, Y. Zhang, Q. Yu, X. Zhou, D. Guo, R. Yu, M. Zhang (2013). Preparation, characterization and hot storage stability of asphalt modified by waste polyethylene packaging, *J. Mater. Sci. Technol.* 29 (5), 434–438.
- [54] V.S. Punith, A. Veeraragavan (2011). Behavior of reclaimed polyethylene modified asphalt cement for paving purposes, *J. Mater. Civ. Eng.* 23, 833–845.

- [55] C. Fang, T. Li, Z. Zhang, X. Wang (2008). Combined modification of asphalt by waste PE and rubber, *Polym. Compos.* 29 (10), 1183–1187.
- [56] Z. Du, C. Jiang, J. Yuan, F. Xiao, J. Wang (2020). Low temperature performance characteristics of polyethylene modified asphalts – A review, *Constr. Build. Mater.* 264, 120704.
- [57] A.-H. Ibrahim (2019). Laboratory investigation of aged HDPE-modified asphalt mixes, *Int. J. Pavement Res. Technol.* 12 (4), 364–369.
- [58] V.S. Punith, S.N. Suresha, S. Raju, S. Bose, A. Veeraragavan (2012). Laboratory investigation of open-graded friction-course mixtures containing polymers and cellulose fibers, *J. Transp. Eng.* 138, 67–74.
- [59] V.S. Punith, A. Veeraragavan (2007). Behavior of asphalt concrete mixtures with reclaimed polyethylene as additive, *J. Mater. Civ. Eng.* 19, 500–507.
- [60] Y. Sui, Z. Chen (2011). Application and performance of polyethylene modifying additive in asphalt mixture, *Int. Conf. Transp. Eng.*, 1915–1919.
- [61] C. Fuentes-Audén, J.A. Sandoval, A. Jerez, F.J. Navarro, F.J. Martínez-Boza, P. Partal, C. Gallegos (2008). Evaluation of thermal and mechanical properties of recycled polyethylene modified bitumen, *Polym. Test.* 27 (8), 1005–1012.
- [62] K. Yan, H. Xu, L. You (2015). Rheological properties of asphalts modified by waste tire rubber and reclaimed low density polyethylene, *Constr. Build. Mater.* 83, 143–149.
- [63] L. Sun, X. Xin, J. Ren (2017). Asphalt modification using nano-materials and polymers composite considering high and low temperature performance, *Constr. Build. Mater.* 133, 358–366.
- [64] F. Zhang, C. Hu, Y. Zhang (2018). Research for SEBS/PPA compound-modified asphalt, *J. Appl. Polym. Sci.* 135 (14), 46085.
- [65] L.L. Brasileiro, F. Moreno-Navarro, R.T. Martínez, M. del Sol-Sánchez, J.M.E. Matos, M.del.C. Rubio-Gámez (2019). Study of the feasibility of producing modified asphalt bitumens using flakes made from recycled polymers, *Constr. Build. Mater.* 208, 269–282.
- [66] S. Hassanpour-Kasanagh, P. Ahmedzade, A.M. Fainleib, A. Behnood (2020). Rheological properties of asphalt binders modified with recycled materials: a comparison with styrene-butadiene-styrene (SBS), *Constr. Build. Mater.* 230, 117047.
- [67] D. Ge, K. Yan, Z. You, H. Xu (2016). Modification mechanism of asphalt binder with waste tire rubber and recycled polyethylene, *Constr. Build. Mater.* 126, 66–76.
- [68] Y. Huang, R.N. Bird, O. Heidrich (2007). A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements, *Resour. Conserv. Recycl.* 52, 58–73.
- [69] R. Vasudevan, A.R.C. Sekar, B. Sundarakannan, R. Velkennedy (2012). A technique to dispose waste plastics in an ecofriendly way – application in construction of flexible pavements, *Constr. Build. Mater.* 28, 311–320.
- [70] M. Ranieri, L. Costa, J.R.M. Oliveira, H.M.R.D. Silva, C. Celauro (2017). Asphalt surface mixtures with improved performance using waste polymers via dry and wet processes, *J. Mater. Civ. Eng.* 29, 04017169.
- [71] M. Ranieri, C. Celauro (2018). Improvement of high modulus asphalt mixtures with average quality aggregate and bitumen by application of polymeric additives, *Constr. Build. Mater.* 178, 183–194.
- [72] A.O. Sojobi, S.E. Nwobodo, O.J. Aladegboye (2016). Recycling of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle wastes in bituminous asphaltic concrete, *Cogent Eng.* 3 (1).
- [73] M.B. Khurshid, N.A. Qureshi, A. Hussain, M.J. Iqbal (2019). Enhancement of Hot Mix Asphalt (HMA) properties using waste polymers, *Arab. J. Sci. Eng.* 44, 8239–8248.
- [74] P.N.A. Asare, F.A. Kuranchie, E.A. Ofosu (2019). Evaluation of incorporating plastic wastes into asphalt materials for road construction in Ghana, *Cogent Environ. Sci.* 5 (1).
- [75] M.T. Awwad, L. Shbeeb (2007). The use of polyethylene in hot asphalt mixtures, *Am. J. Appl. Sci.* 4, 390–396.
- [76] P. Singh, A.K. Swamy (2018). Effect of aging level on viscoelastic properties of asphalt binder containing waste polyethylene, *Int. J. Sustain. Eng.* 12, 141–148.
- [77] R. Choudhary, A. Kumar, K. Murkute (2018). Properties of waste polyethylene terephthalate (PET) modified asphalt mixes: dependence on PET size, PET content, and mixing process, *Period. Polytech. Civ. Eng.* 62 (3), 685–693.
- [78] Z.N. Kalantar, M.R. Karim, A. Mahrez (2012). A review of using waste and virgin polymer in pavement, *Constr. Build. Mater.* 33, 55–62.
- [79] F. Pacheco-torgal, J. Khatib, F. Colangelo, R. Tuladhar (2018). Use of recycled plastics in eco-efficient concrete, 1st ed., Woodhead Publishing.
- [80] S.E. Zoorob, L.B. Suparna (2000). Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt), *Cem. Concr. Compos.* 22, 233–242.
- [81] J.P. Giri, M. Panda, U.C. Sahoo, J. Prakash Giri (2020). Use of waste polyethylene for modification of bituminous paving mixes containing recycled concrete aggregates, *Road Mater. Pavement Des.* 21 (2), 289–

- 309.
- [82] J.L. Feiteira Dias, L.G. Picado-Santos, S.D. Capitão (2014). Mechanical performance of dry process fine crumb rubber asphalt mixtures placed on the Portuguese road network, *Constr. Build. Mater.* 73, 247–254.
- [83] L. da Silva, A. Benta, L. Picado-Santos (2018). Asphalt rubber concrete fabricated by the dry process: laboratory assessment of resistance against reflection cracking, *Constr. Build. Mater.* 160, 539–550.
- [84] H. Taherkhani, M.R. Arshadi (2019). Investigating the mechanical properties of asphalt concrete containing waste polyethylene terephthalate, *Road Mater. Pavement Des.* 20, 381–398.
- [85] T.B. Moghaddam, M. Soltani, M.R. Karim (2014). Experimental characterization of rutting performance of polyethylene terephthalate modified asphalt mixtures under static and dynamic loads, *Constr. Build. Mater.* 65, 487–494.
- [86] Asphalt Institute MS-2 (2014). *Asphalt Mix Design Methods*. 7th Edition. Asphalt Institute. 188p.
- [87] NCHRP Report 673 (2011). *A Manual for Design of Hot-Mix Asphalt with Commentary*. Transp. Res. Board. 273p.
- [88] Y-R. Kim, J.E.S.L. Teixeira, S.R. Kommidi, D.N. Little, F.T.S. Aragao, L. Manrique-Sanches, F.V. Souza (2021). Rate-dependent fracture modeling of bituminous media using nonlinear viscoelastic cohesive zone with Gaussian damage function. *Comp.-Aided Civ. Infraest. Eng.* 36 (11), 1365-1381.
- [89] Recicla Sampa (2024). Brasil consome 13 bilhões de sacolas plásticas por ano. <https://www.reciclasampa.com.br/artigo/brasil-consome-13-bilhoes-de-sacolas-plasticas-por-ano>). Acesso em 15.05.2024.

1. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

- Resumo do Plano de Trabalho
- Cronograma físico-financeiro do projeto
- Propostas técnicas e comerciais dos terceirizados que irão participar do projeto
- Cotações comerciais.
- Cronogramas físico-financeiros propostos pelos proponentes a contratação.
- Currículo dos coordenadores