

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

Rômulo de Souza Pereira

**INVESTIGAÇÃO DO CUSTO-BENEFÍCIO DA UTILIZAÇÃO
DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS E DE CONCRETO DE
CIMENTO PORTLAND ORÇADOS ATRAVÉS DO SICRO**

**Santa Maria, RS, Brasil
2022**

Rômulo de Souza Pereira

**INVESTIGAÇÃO DO CUSTO-BENEFÍCIO DA UTILIZAÇÃO DE
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS E DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND
ORÇADOS ATRAVÉS DO SICRO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Prof. Dr. Deividi da Silva Pereira

**Santa Maria, RS, Brasil
2022**

Rômulo de Souza Pereira

**INVESTIGAÇÃO DO CUSTO-BENEFÍCIO DA UTILIZAÇÃO DE
PAVIMENTOS ASFÁLTICOS E DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND
ORÇADOS ATRAVÉS DO SICRO**

Trabalho de Conclusão apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como
requisito parcial para obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Aprovado em 24 de agosto de 2022

Prof. Dr. Deividi da Silva Pereira (Orientador)

Msc. Renan Scherer (UFSM)

Msc. Silvio Schuster (UFSM)

**Santa Maria, RS, Brasil
2022**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Guilherme e Margareth, pelo amor, dedicação, confiança e suporte em todas as horas mais difíceis que passei ao longo de toda minha vida. Sem todo carinho de vocês, nada seria possível. Meu irmão, Bruno, que esteve sempre ao meu lado me dando apoio, conselhos e servindo de inspiração durante essa trajetória, minha cunhada Cristina e minha sobrinha Betina. Vocês são a base de tudo. Agradeço também à minha namorada, Bruna, por dividir comigo todos os momentos bons e me reerguer nos momentos ruins.

Este agradecimento, em especial, é para minha avó, Maria Lúcia, que hoje não está mais presente para comemorar essa conquista comigo, mas todo o amor, incentivo e os momentos que vivemos juntos vão estar guardados para sempre junto a mim. Te amo eternamente.

Um agradecimento especial aos amigos importantes que acompanharam essa jornada. Ao meu melhor amigo Vinicius pelas horas de conversas que proporcionaram várias risadas. Aos amigos: Antônio, Betina, Christopher, Marina e Thomás, por todos os momentos de descontração que fizeram o período da graduação mais leve.

Agradeço ao GEPPASV por me permitir o contato com a área de transportes. Gratidão também às empresas nas quais estagiei nesse período: Simultânea Engenharia, Della Pasqua Engenharia e Geohidro Engenharia, na qual me encontro atualmente.

Ao Prof^o Deividi Pereira, pela tutoria, amizade e por ser um profissional a quem tenho o maior respeito e admiração.

Por fim, mas não menos importante, agradecer à Simoni Timm Hermes e Celita Simões, da Unidade de Apoio Pedagógico do Centro de Tecnologia; à Prof^a. Tatiana Cervo, Vice-Diretora do Centro de Tecnologia da UFSM; à Prof^a Elizandra Maziero, Coordenadora do curso de Engenharia Civil da UFSM e ao Prof^o René Rodríguez. Obrigado por serem profissionais exemplares e estarem na hora certa e no momento certo, fazendo o possível e o impossível para a realização deste sonho.

A todos que mencionei e a todos que contribuíram indiretamente em minha formação como Engenheiro Civil, minha mais sincera gratidão.

RESUMO

INVESTIGAÇÃO DO CUSTO-BENEFÍCIO DA UTILIZAÇÃO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS E DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND ORÇADOS ATRAVÉS DO SICRO

Autor: Rômulo de Souza Pereira
Orientados: Prof. Dr. Deividi da Silva Pereira

O aumento do preço dos materiais asfálticos, nos últimos anos, tem gerado dúvidas quanto à viabilidade do emprego de pavimentos em concreto asfálticos atualmente no Brasil. Com isso, há a necessidade constante estudar e comparar entre outras estruturas de pavimentos, a fim de obter dados atualizados de custos e investigar a viabilidade econômica de cada uma. O objetivo do presente trabalho é analisar e correlacionar os resultados da orçamentação, através do SICRO, de duas estruturas de pavimentação: pavimentos em Concreto Asfáltico e em Concreto de Cimento Portland. As estruturas foram dimensionadas, através do critério de ruptura por fadiga, para crescentes níveis de solicitações de tráfego, através do software FlexPaveTM para pavimentos asfálticos e pelo método de dimensionamento da Prefeitura de São Paulo para os pavimentos em CCP. Em relação às misturas asfálticas foram utilizados ligantes convencionais 50/70 e ligantes modificados por polímero. Verificou-se que a viabilidade econômica depende exclusivamente do nível de tráfego aplicado, contudo, ao avaliar os custos do km pelo número de solicitações no pavimento observou-se que a alternativa estrutural em pavimentação asfáltica modificada por polímero resultou em um melhor custo para todos os níveis de tráfego aplicados, aproximadamente 20% mais barato que os pavimentos me CCP. Notou-se também que os custos para pavimentos em concreto de cimento Portland e em concreto asfáltico convencional 50/70 mostraram-se muito similares para altos volumes de tráfego, entretanto, para o menor volume analisado, o pavimento asfáltico se torna mais viável.

PALAVRAS CHAVE: SICRO. Viabilidade econômica. Concreto Asfáltico. Concreto de cimento Portland. Orçamentação.

ABSTRACT

COST-BENEFIT INVESTIGATION TOWARDS THE USE OF ASPHALT PAVEMENT AND PORTLAND CEMENT CONCRETE, BOTH BUDGETED USING SICRO

Author: Rômulo de Souza Pereira

Advisor: Prof. Dr. Deividi da Silva Pereira

Recently there has been an increase in asphalt materials price that has raised doubts over the feasibility of using Asphalt Concrete pavements in Brazil. Therefore, there is a constant need to study and compare other pavement structures to acquire updated cost data and investigate the economic viability of each one. This paper aims to analyze and correlate budgeting results using SICRO analysis among two paving structures: pavements in Asphalt Concrete and Portland Cement Concrete. The FlexPave™ software for asphalt pavement was used to dimension the structures, considering the fatigue failure criterion for increased levels of traffic requests. For the CPP pavements, São Paulo's Prefecture dimension technique was used. Conventional 50/70 binders and polymer-modified binders were used on the asphalt mixtures. The findings indicate that the economic viability relies solely on the applied traffic level. However, when evaluating the costs per km by the pavement request number, the structural polymer-modified asphalt alternative resulted in a better price at all traffic levels, revealing 20% cheaper than CCP pavements. The pavement costs in Portland Cement Concrete and 50/70 conventional concrete asphalt were also very similar for high traffic rates, but for the reduced amount analyzed, asphalt pavement becomes more viable.

KEY WORDS: SICRO. Economic viability. Asphalt Concrete. Portland Cement Concrete. budgeting.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Evolução do preço do cimento Portland e do CAP 50/70.....	11
Figura 2– Seções transversais das estruturas em Concreto de Cimento Portland	14
Figura 3– Gráfico de dano por tempo em misturas asfálticas convencionais	Erro!
Indicador não definido.	
Figura 4 – Gráfico de dano por tempo em misturas asfálticas modificadas por polímero.....	16
Figura 5 – Seções transversais das estruturas em concreto asfáltico convencional .	17
Figura 6– Seções transversais das estruturas em concreto asfáltico modificado por polímero.....	18
Figura 7– Seção transversal para o cálculo dos quantitativos de estrutura em concreto asfáltico.....	20
Figura 8 – Seção transversal para o cálculo dos quantitativos de estrutura em concreto simples.....	20
Figura 9 – Custos de implantação das estruturas de pavimento	21
Figura 10 – Análise dos custos de implantação.....	21
Figura 11 – Custo por camada dos pavimentos de concreto simples	22
Figura 12 – Custo do cimento em relação a 1 Km de obra	22
Figura 13 – Custo por camada dos pavimentos de concreto asfálticos com ligante convencional.....	23
Figura 14 – Custo do ligante 50/70 em relação a 1 Km de obra	23
Figura 15 – Custo por camada dos pavimentos de concreto asfálticos com ligante modificado.....	24
Figura 16 – Custo do ligante AMP 60/85 em relação a 1 Km de obra.....	24
Figura 17 – Análise de viabilidade econômica (Custo/km.N).....	25
Figura 18 – Comparação das seções transversais com ligante otimizado	26
Figura 19 – Custos dos pavimentos com ligantes otimizados para tráfego igual a 1×10^8	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Número diário de solicitações do eixo padrão (ESRD).....	12
Tabela 2– Classificação do volume de tráfego.....	13
Tabela 3 – Distâncias de transporte dos materiais e tipo de via.....	19

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. DIMENSIONAMENTOS	12
1.2. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND DA PREFEITURA DE SÃO PAULO.....	13
1.3. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO LVECD.....	14
1.4. CONVENCIONAL 50/70	17
1.5. MODIFICADA POR POLÍMERO SBS	18
2. ORÇAMENTO DAS ESTRUTURAS	18
2.1. SEÇÃO TRANSVERSAL PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA	20
2.2. SEÇÃO TRANSVERSAL PAVIMENTAÇÃO EM CCP.....	20
3. RESULTADOS	20
3.2. CUSTOS POR CAMADA	22
3.2.1 Concreto de cimento Portland	22
3.2.2 Pavimento em concreto asfáltico	23
3.2.3 Pavimento em concreto asfáltico com ligante modificado por polímero	23
3.3. CUSTO DO QUILOMETRO EM RELAÇÃO AO TRÁFEGO.....	24
4. ANÁLISES COMPLEMENTARES	25
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. INTRODUÇÃO

A busca por soluções viáveis no campo da pavimentação tem sido intensa devido ao crescimento exacerbado do tráfego e das condições desfavoráveis que as rodovias brasileiras se encontram. Ainda que esse modal seja responsável por cerca de 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da de passageiros (CNT, 2021), o investimento de recursos para a manutenção e conservação de rodovias federais vem sofrendo significativas reduções, interferindo diretamente na qualidade dos pavimentos.

Diante disso, é importante destacar que a análise do comportamento dos materiais para a implementação de obras rodoviárias deve estar minuciosamente atrelada a uma eficiente orçamentação, de modo a desenvolver uma estrutura com o melhor desempenho possível, aliado à economia de recursos. Segundo Bernucci et al. (2010), o pavimento rodoviário é classificado tradicionalmente em dois tipos básicos: flexível e rígido; comparando-se as duas estruturas, segundo a ABCP (2019), aproximadamente 96% dos pavimentos brasileiros são executados em concreto asfáltico.

Tratando-se de pavimentos asfálticos, de acordo com Balbo (2007) a deterioração dos materiais que compõem esse tipo de pavimento é um processo inevitável durante o seu período de serviço, fato esse que demanda uma manutenção preventiva ou corretiva, elevando os custos de manutenção da via pavimentada. Para Nascimento (2014) o dano por fadiga dos revestimentos asfálticos é a principal causa de falha dos pavimentos no Brasil. Esse fenômeno é um processo permanente, progressivo e localizado em um ponto específico do material, sujeito a tensões de amplitude variável e períodos variáveis que produzem as trincas observadas em inúmeros trechos das faixas de rolagem do país.

Os pavimentos em concreto de cimento Portland (CCP) não têm ocorrência frequente no Brasil devido ao aquecimento do mercado petrolífero no último século, viabilizando a execução dos pavimentos em concreto asfáltico. Entretanto, o aumento do preço do petróleo nos últimos anos proporcionou uma retomada no interesse de implementação das estruturas de pavimentos de concreto de cimento Portland, tornando-os alternativas potencialmente mais econômicas aos pavimentos em concreto asfáltico.

Nesse cenário, o presente trabalho propôs-se analisar e comparar os custos de implantação, orçados através do SICRO, para tráfegos pesados e muito pesados, de pavimentos em concreto asfáltico dimensionados pelo método do LVECD, com ligante asfáltico convencional 50/70 e modificado por polímero (AMP 60/85); e de pavimentos

de concreto de cimento Portland, dimensionados através do método da Prefeitura de São Paulo.

Nos últimos anos, ficou evidente que o aumento de preços dos materiais asfálticos, evidenciados na Figura 1, tem impulsionado o mercado a buscar outras alternativas.

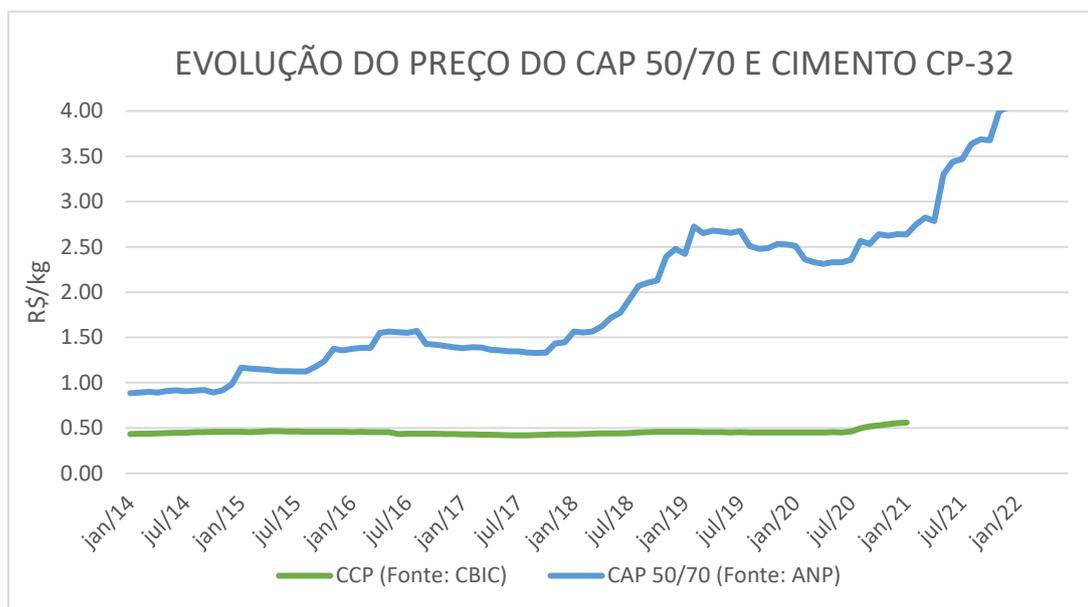


Figura 1– Evolução do preço do cimento Portland e do CAP 50/70

Com base na Figura 1, observa-se a discrepância entre o crescimento do valor do ligante asfáltico diante do crescimento do custo do cimento. Enquanto o preço cimento CP-32 esteve praticamente constante no intervalo analisado, 2014 até 2022, o valor do ligante asfáltico quadruplicou no mesmo período.

Segundo Moraes (2018), na esfera da Administração Pública, a orçamentação e pesquisa de preços de mercado são processos essenciais e obrigatórios para quantificar as despesas de uma licitação para a execução de uma obra, a fim de cumprir os preços de referência descritos no edital. Ademais, o desenvolvimento de qualquer atividade ou prestação de serviço pressupõe a sua justa remuneração, garantindo o lucro da executora por meio do BDI (Bonificação e Despesas Indiretas) aplicado ao orçamento. Essa bonificação visa remunerar a executora do serviço de modo garantir a condução da obra, bem como a administração da empresa contratada. Consoante a isso, as novas diretrizes do SICRO estabelecem valores referenciais para o lucro, aplicados sobre o custo direto, variando conforme a natureza dos serviços executados e o porte da obra.

Outros dois fatores que incidem diretamente nos custos das composições do novo SICRO são o FIT (fator de interferência do tráfego) e o FIC (fator de influência da chuva). Segundo o Manual de Custos de Infraestrutura de Transporte (2017b), o FIT é um fator a

ser aplicado sobre o custo unitários de alguns serviços a fim de expressar a interferência, na produtividade, do volume médio diário de tráfego existente. Por conseguinte, em face da natureza essencialmente linear, o conhecimento das condições climáticas locais constitui um fator de suma importância para prever a interferência do clima na execução da obra. Diante disso, o SICRO propõe a aplicação do FIC em serviços que diminuam sua produtividade em decorrência da chuva.

1.1.DIMENSIONAMENTOS

A fim de determinar as espessuras das multicamadas que compõem as estruturas dos pavimentos, o presente trabalho adotou o Método de Dimensionamento de Pavimentos em Concreto de Cimento Portland da Prefeitura de São Paulo e pelo LVECD (Layered Viscoelastic Analysis for Pavement Critical Distresses), para estruturas em placas serradas de concreto simples e em concreto asfáltico, respectivamente. O parâmetro utilizado para caracterizar o tráfego foi o número diário de solicitações impostas pelo Eixo Simples de Rodas Duplas (ESRD), com 80kN e pneus inflados à pressão de 0,80MPa, dispostos em uma área de contato retangular com relação comprimento/largura de 1,5714 e velocidade de passagem de 80km/h. Para o presente trabalho, foi considerado um período de projeto de 25 anos (possibilitando uma melhor comparação com o pavimento de CCP) com 4 níveis de tráfego nas simulações, conforme a Tabela 1.

Tabela 1– Número diário de solicitações do eixo padrão (ESRD)

N diário	N projeto
2000	$1,83 \times 10^7$
6000	$5,48 \times 10^7$
11000	$1,00 \times 10^8$
55000	$5,03 \times 10^8$

De acordo com Ceratti *et al.* (2015) as designações segundo os níveis de tráfego são classificadas conforme a Tabela 2, sendo que o maior valor de N extrapola a razoabilidade, entretanto é interessante para fins comparativos. Diante disso, algumas premissas estruturais devem ser adotadas a fim de efetivar os dimensionamentos das estruturas em CA e em CCP, estes princípios estão abordados na Tabela 3, respectivamente.

Tabela 2– Classificação do volume de tráfego

Designação segundo o nível de tráfego	Número N de repetições equivalentes de carga do eixo-padrão de 80kN
B: Baixo volume de tráfego	$\leq 10^6$
M: Moderado volume de tráfego	$10^6 < N \leq 10^7$
A: Alto volume de tráfego	$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
MP: Muito pesado – volume muito alto de tráfego	$N > 5 \times 10^7$

1.2. MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND DA PREFEITURA DE SÃO PAULO

De acordo com Balbo (2010), a ausência de um método apropriado no Brasil que dedique atenção ao fenômeno de tensão de tração na flexão para o dimensionamento de pavimentos em concreto simples, promoveu a necessidade de buscar maior conhecimento sobre o comportamento mecânico dos pavimentos rígidos. Até o ano de 2004 o método utilizado para dimensionar estruturas em concreto simples era o método da *Portland Cement Association* (PCA, 1984). Por conta disso, a Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP) desenvolveu um método genuinamente nacional para efetuar tal dimensionamento que foi implementado em 2005 e teve como critério o modelo de resistência à fadiga desenvolvido por Cervo (2004).

O Método de Dimensionamento de Pavimentos em Concreto de Cimento Portland da Prefeitura de São Paulo (IP07/2004) tem a fadiga das placas de concreto e/ou bases cimentadas como critério de ruptura do dimensionamento. A metodologia se utiliza do parâmetro denominado por módulo de reação do subleito (k), o qual caracteriza a capacidade de deformação elástica do subleito e pode ser determinado, indiretamente, através do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR). Além disso, esse método é utilizado apenas para o dimensionamento de estruturas em concreto simples, isto é, com a ausência de armadura em sua estrutura, apenas nas barras de transferência de carga nas juntas transversais e barras de ligação nas juntas longitudinais

Esta metodologia, contempla a análise por elementos finitos de tensões nas bases cimentadas dos pavimentos, considerando-se unicamente aquelas não aderidas às placas de concreto. Ademais, também são levados em consideração os diferenciais térmicos entre topo e fundo da placa, os quais podem gerar tensões de tração na flexão da mesma ordem de grandeza daquelas geradas pelos eixos de veículos comerciais.

No presente dimensionamento, fixou-se um subleito com módulo de resiliência de 150Mpa e uma sub-base em brita graduada simples (BGS) com espessura constante para todos os níveis de tráfego. Para a base, adotou-se o concreto compactado com rolo como material constituinte e placas de concreto de cimento Portland como revestimento da estrutura. No tocante ao clima utilizado para o dimensionamento, foram considerados os gradientes térmicos do pavimento, com variação horária e ao longo da profundidade, para a cidade de Santa Maria/RS. Diante disso, as estruturas dimensionadas e consideradas satisfatórias para cada tráfego atuante encontram-se, abaixo, na Figura 2.

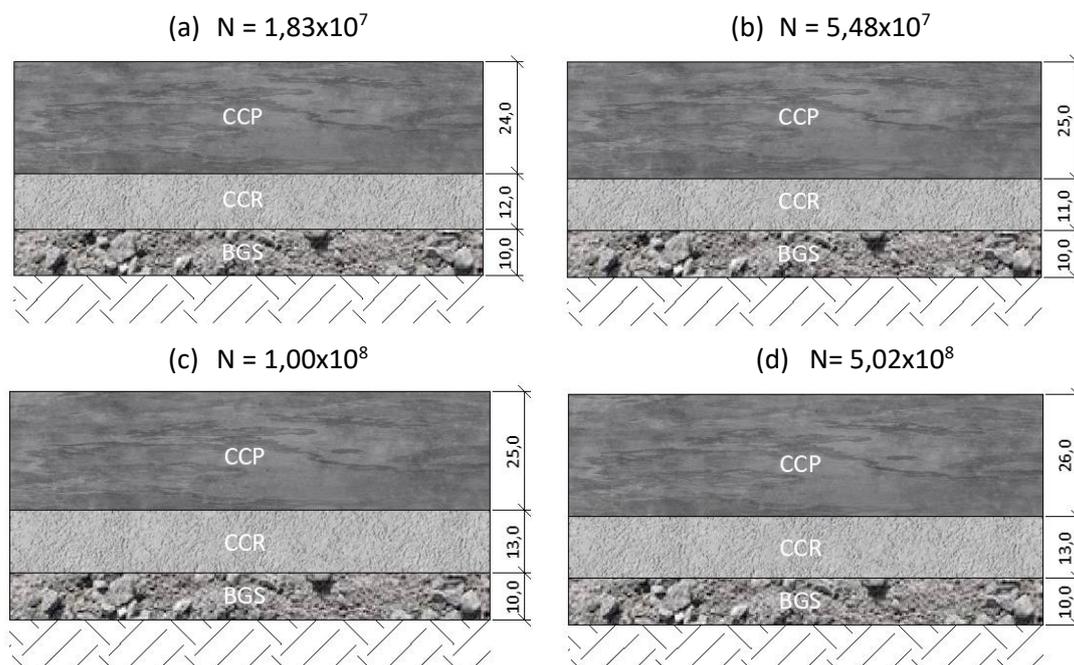


Figura 2– Seções transversais das estruturas em Concreto de Cimento Portland

A partir das estruturas dimensionadas, nota-se que o elevado volume de tráfego demandou elevadas espessuras das placas de CCP, entretanto a espessura de CCR resultou em um valor baixo. Visto que geralmente se emprega camadas em torno de 20cm, essa pequena espessura das camadas de base é consequência do balanço entre as rigidezes para o controle do empenamento térmico das placas de concreto. De maneira geral, observa-se que a variação da ordem do tráfego pouco influenciou nas espessuras das camadas do pavimento em concreto simples.

1.3.MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO LVECD

Modelar e prever o fenômeno de fadiga é extremamente importante para a compreensão dos desempenhos das misturas asfálticas, todavia isto se torna uma tarefa desafiadora visto que o fenômeno é de natureza complexa e os ensaios de fadiga são de difícil operacionalização. Nos últimos anos, graças ao software FlexPave™, foi possível

analisar por completo todas as propriedades viscoelásticas das misturas asfálticas e analisar a danificação dos pavimentos frente a diferentes níveis de carga para condições distintas de temperatura.

O Grupo de Estudos e Pesquisas em Pavimentação e Segurança Viária (GEPPASV) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) vem realizando, em parceria com a Rede de Tecnologia em Asfalto (ANP/PETROBRAS), desde 2018, a caracterização de resistência à fadiga de misturas asfálticas laboratoriais e produzidas em usina, através de ensaios como Módulo Complexo e Ensaio Uniaxial Cíclico de Fadiga por Tração-Compressão. Tais processos, resultam atualmente em um banco de dados com a caracterização de 60 misturas asfálticas (34 misturas com ligante convencional + 26 modificadas por polímero SBS), identificadas nas Figuras 2 e 3.

Vislumbrando avançar para o cenário mais mecanicista de dimensionamento de pavimentos asfálticos, as estruturas dos pavimentos estudados tiveram seu desempenho à fadiga, especificado como sendo um percentual de no máximo 30% de área trincada ao longo da vida útil de projeto, previsto com o software LVECD, que utiliza a abordagem do modelo viscoelástico do dano contínuo (VECD) para caracterização da degradação por fadiga dos pavimentos. Em relação à sistemática de utilização do programa, para os materiais granulares e subleito, optou-se pela análise linear elástica. Os dados do concreto asfáltico utilizados para análise do desempenho do pavimento avaliado, frente ao trincamento por fadiga, são resultados da abordagem viscoelástica de dano do modelo S-VECD e do critério de falha GR, considerando o carregamento em movimento e gerando tensões tridimensionais.

Nesse contexto, através da caracterização linear viscoelástica (LVE), à fadiga por tração-compressão do modelo S-VECD e do software de análises de desempenho FlexPave™ (versão 1.0), efetivaram-se os dimensionamentos das estruturas em concreto asfáltico. Para isso, adotou-se misturas convencionais, com ligante 50/70, e as modificadas por polímero. Além disso, todas as misturas foram simuladas com base no clima de Santa Maria/RS, conforme descrito por Chaves (2021), com mesmo tráfego e estrutura, variando-se apenas as propriedades intrínsecas das misturas asfálticas. As misturas escolhidas para as análises foram a M1 (convencional) e a M7 (modificada por SBS), ambas se encontram em regiões intermediárias em termos de desempenho, como pode-se observar em destaque nas Figuras 3 e 4.

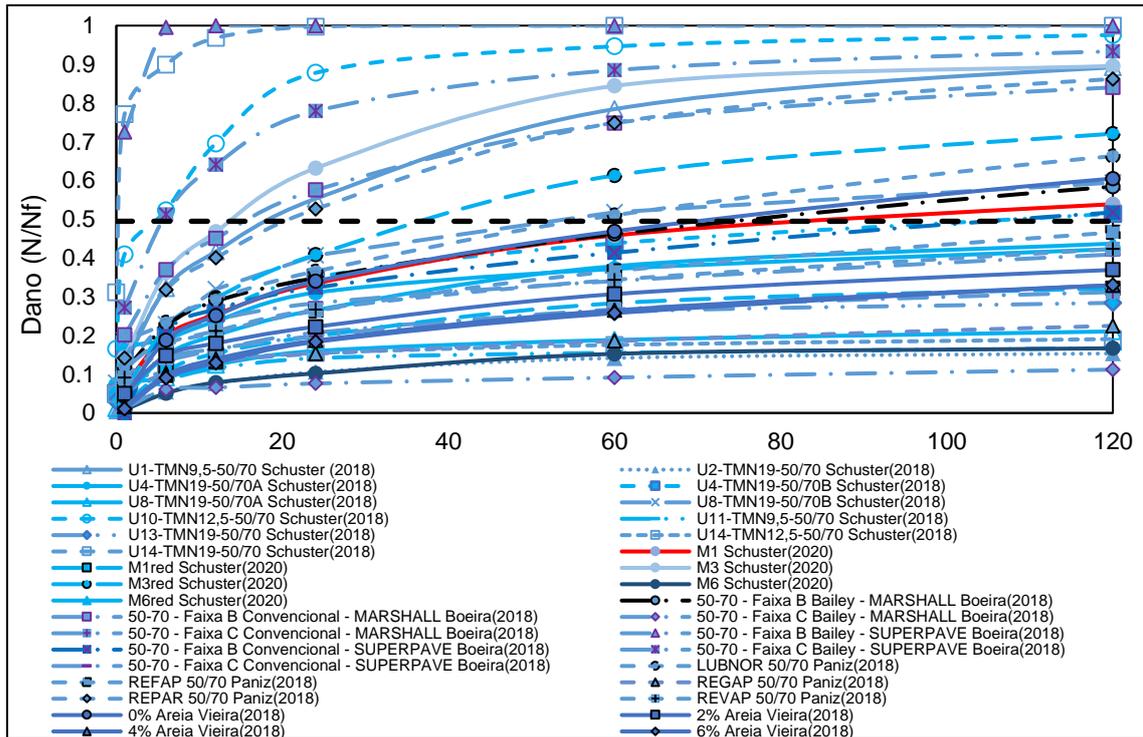


Figura 3– Gráfico de dano por tempo em misturas asfálticas convencionais

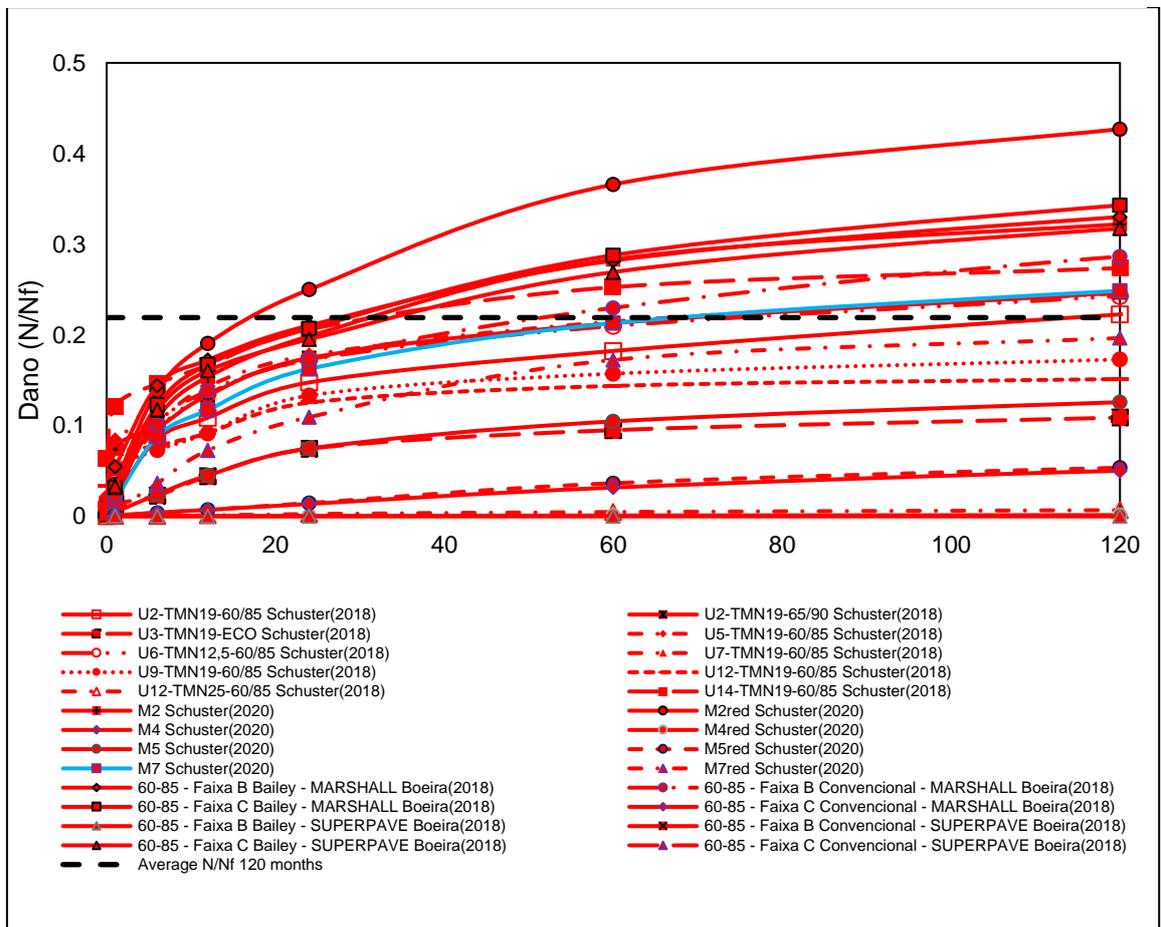


Figura 4 – Gráfico de dano por tempo em misturas asfálticas modificadas por polímero

Diante das condições de tráfego, algumas premissas estruturais foram adotadas a fim de realizar o dimensionamento das estruturas em concreto asfáltico. Assim como evidenciado nos pavimentos em CCP, o subleito também possui módulo de resiliência de 150MPa, a sub-base e a base são constituídos de Brita Graduada Simples com módulo igual a 250MPa e fixou-se sua espessura em 20cm, variando apenas a espessura da camada asfáltica e o tipo de mistura. Assim, obteve-se resultados satisfatórios, observados nas Figuras 5 e 6, através das estruturas evidenciadas abaixo para cada nível de tráfego das diferentes misturas.

1.4. CONVENCIONAL 50/70

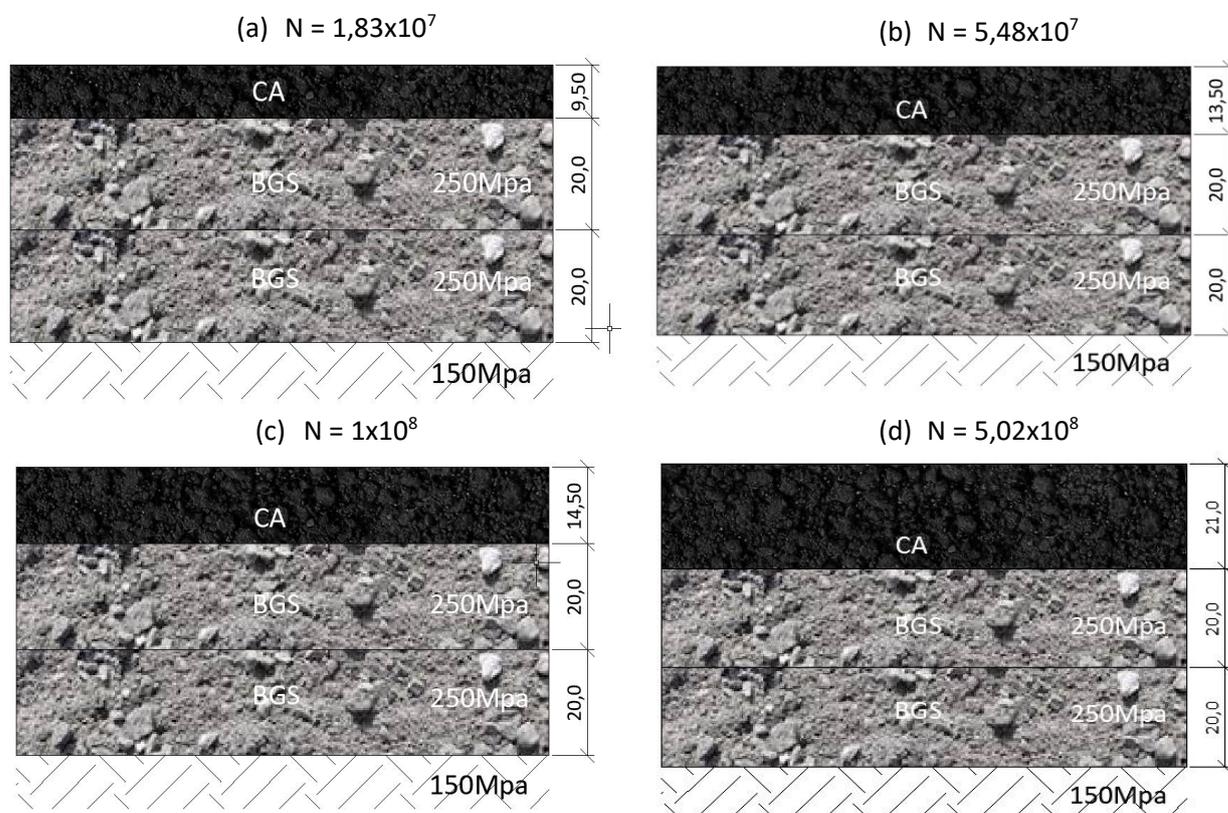


Figura 5 – Seções transversais das estruturas em concreto asfáltico convencional

1.5. MODIFICADA POR POLÍMERO SBS

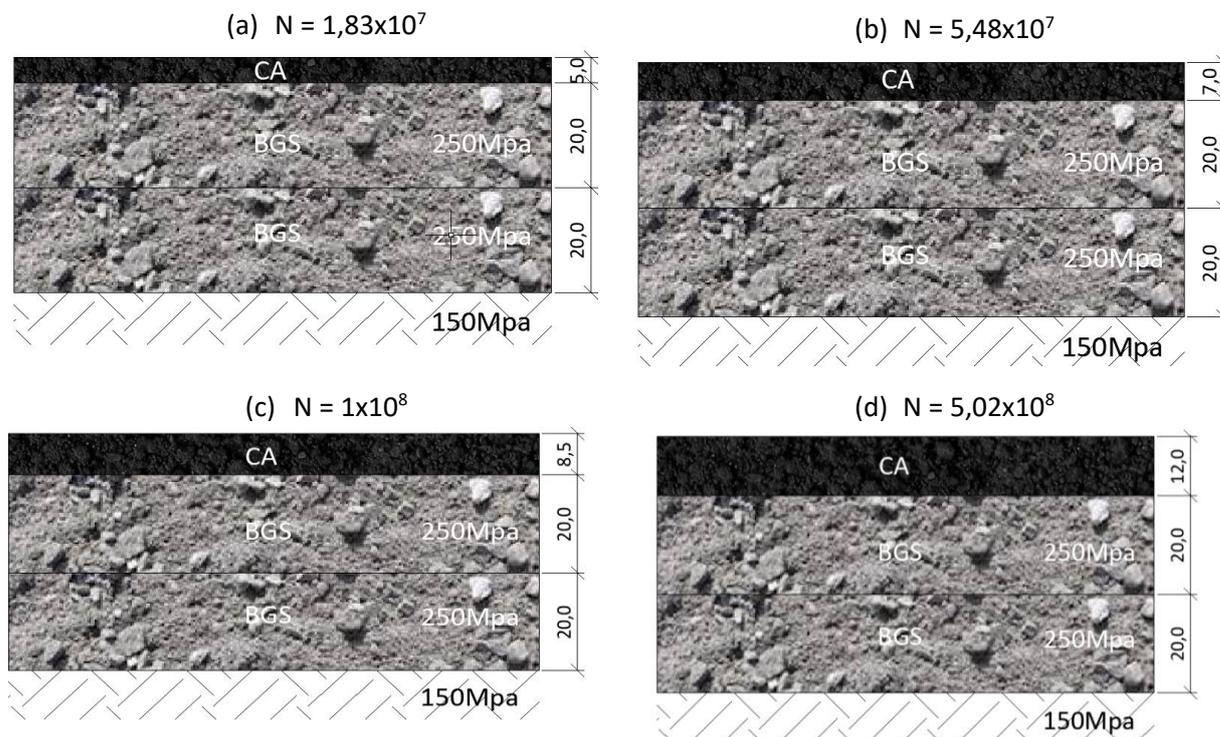


Figura 6– Seções transversais das estruturas em concreto asfáltico modificado por polímero

Nota-se que a mistura modificada por SBS resultou em espessuras, aproximadamente 45% menores em comparação à mistura com ligante convencional, o que vai ao encontro do esperado, visto que o ligante modificado por polímero proporciona uma maior rigidez ao concreto asfáltico, além de melhorar suas propriedades elásticas.

2. ORÇAMENTO DAS ESTRUTURAS

Para Sampaio (1989) o orçamento é o cálculo dos custos para executar uma obra ou um empreendimento e, quanto mais detalhado, mais se aproximará do custo real. Com essa premissa, todas as estruturas foram orçadas levando em conta cada etapa a ser executada, incluindo materiais, transporte, mão de obra e seção transversal detalhada. Para efetivar devido detalhamento orçamentário, a composição de custos dotou-se de algumas premissas para valorar a obra.

A data base adotada para a orçamentação foi a do SICRO de abril de 2022 do Rio Grande do Sul (último disponível no sítio do DNIT) e, para os ligantes asfálticos, foi extraído o preço de referência de junho de 2022. Os valores de BDI adotados foram condizentes com uma obra de médio porte, sendo 24,01% para as composições do SICRO e um BDI diferenciado de 15% para os materiais asfálticos, entretanto não foram considerados nos cálculos os valores de mobilização, desmobilização e terraplenagem,

visto que seriam custos aproximadamente iguais para ambas as alternativas de pavimentação.

Os pavimentos são compostos por estruturas de múltiplas camadas constituídas de materiais distintos que proporcionam o espraiamento de tensões à medida que elas se aproximam do subleito. Tratando-se de materiais diversos, depara-se também com preços diferentes para executar cada camada e percebe-se que a camada de revestimento, tanto em pavimentação asfáltica, quanto em concreto simples, detém o maior valor agregado dentre elas, principalmente devido aos materiais aglutinantes de cada mistura, o ligante asfáltico e o cimento Portland, respectivamente. Por se tratar das camadas mais onerosas da composição da estrutura, foi adotado, no presente trabalho, consoante aos teores médios de usinagem, um teor de ligante asfáltico de 5,5%, um consumo de 380 kg/m³ de cimento Portland para a placa de concreto e 200 kg/m³ para a camada de base em CCR.

Para Cordeiro (2007), um orçamento demanda um planejamento que compreenda todas as suas possibilidades e limitações. Diante dessa premissa, para obras rodoviárias, algumas limitações básicas a serem estudadas são as distâncias médias de transportes para cada material, visto que elas compreendem um valor muito significativo no valor global da obra que varia de acordo com o material em transporte e o tipo de via que se utiliza. Para o presente artigo, foram consideradas distâncias médias de transporte (DMT) para os principais insumos, dispostas abaixo.

Tabela 3 – Distâncias de transporte dos materiais e tipo de via

Materiais em Transporte	DMT (Km)	Tipo de Via
Jazida de Brita	60	Revestimento Primário
Jazida de Areia	20	Revestimento Primário
Usinagem CA	60	Revestimento Primário
Brita produzida em Central	1	Revestimento Primário
Cal Hidratada	270	Pavimentada
Transporte de Ligantes	270	Pavimentada
Transporte de Cimento	270	Pavimentada
Materiais para Sinalização	300	Pavimentada

Para Tisaka (2011), o orçamento deverá compreender todos os serviços a serem executados em uma obra, entendendo como de suma importância os quantitativos físicos do projeto e da composição de custos, além dos encargos complementares da obra. Nessa perspectiva, os quantitativos orçados foram estimados de modo que contemplassem a implantação de 1 km de rodovia com largura de igual a 7,20m, espessuras dimensionadas

para os devidos tráfegos, além de acostamentos com Tratamento Superficial Duplo (TSD). Diante disso, as seções transversais contempladas para determinar os quantitativos podem ser observadas nas Figuras 7 e 8.

2.1. SEÇÃO TRANSVERSAL PAVIMENTAÇÃO EM CCP



Figura 7 – Seção transversal para o cálculo dos quantitativos de estrutura em concreto simples

2.2. SEÇÃO TRANSVERSAL PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA

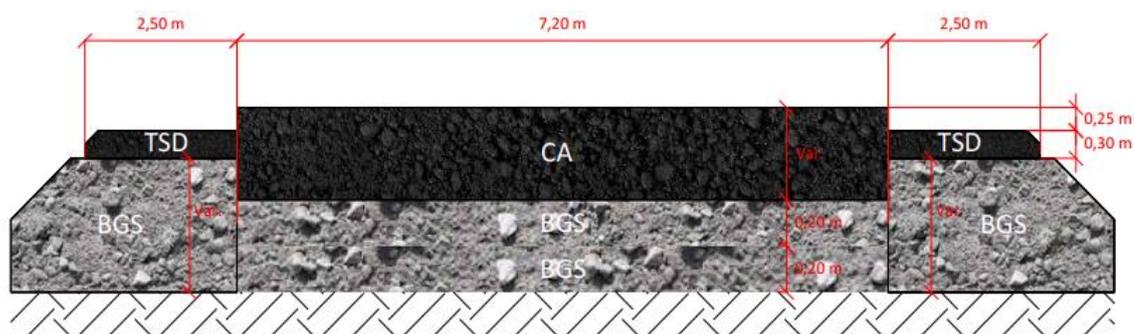


Figura 8 – Seção transversal para o cálculo dos quantitativos de estrutura em concreto asfáltico

3. RESULTADOS

Efetivados os orçamentos, foi possível realizar a comparação dos custos de implantação estruturas estudadas, além de outras análises comparativas e de viabilidade diante da variação do tráfego. O presente item propõe-se a analisar esses dados e introduzir uma conclusão de viabilidade diante do cenário atual de custos rodoviários no Brasil.

3.1. CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE PAVIMENTAÇÃO

De modo a ter uma visão ampla dos custos de cada alternativa, a Figura 9 introduz a comparação entre as estruturas orçadas com pavimentação asfáltica e em concreto de cimento Portland.

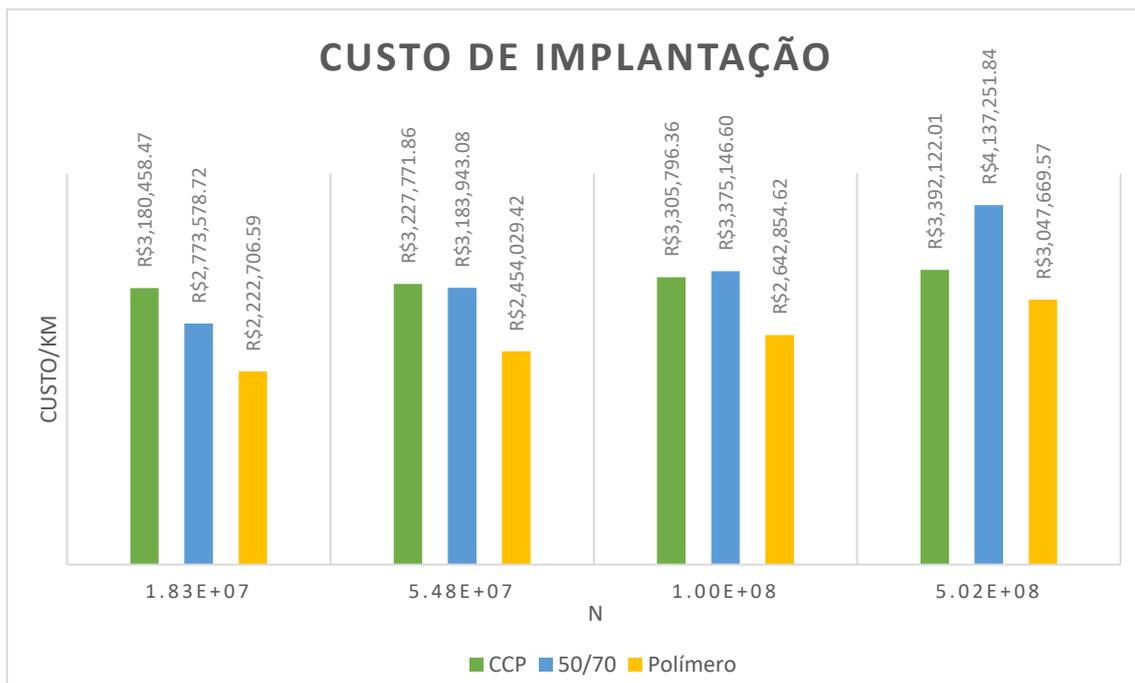


Figura 9 – Custos de implantação das estruturas de pavimento

Analisando os dados obtidos, observa-se aumentos praticamente lineares nos custos de cada uma das misturas. Entretanto, é interessante atentar-se à comparação entre a estrutura com concreto asfáltico 50/70 e o pavimento em CCP, pois percebe-se que, a partir de um tráfego de aproximadamente 7×10^7 , os custos de implantação do concreto asfáltico convencional ultrapassam os da estrutura em concreto de cimento Portland, como pode ser melhor observado, em outra perspectiva, no gráfico da Figura 10.

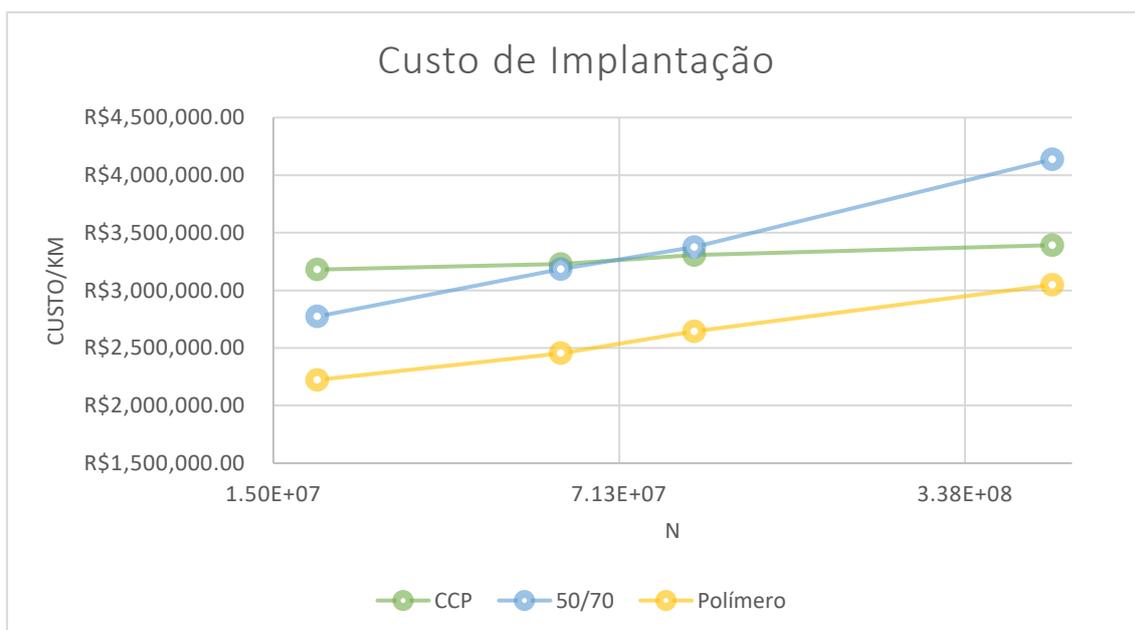


Figura 10 – Análise dos custos de implantação

3.2.CUSTOS POR CAMADA

De modo a compreender a dinâmica de custos, foram realizadas análises comparativas de preços por camadas de cada tipo de estrutura e geradas as contribuições dos principais serviços no valor global do pavimento. Além disso, quantificou-se a porcentagem do custo referente ao insumo com maior valor agregado para cada tipo de estrutura de modo a proporcionar uma visão específica acerca do custo dos principais materiais a serem empregados na pavimentação.

3.2.1 Concreto de cimento Portland

Nessa perspectiva, insere-se as análises de valor por camada nos pavimentos de concreto simples. Fica evidente na Figura 11 que a maior concentração de custos neste tipo de pavimento se encontra na camada de revestimento, visto que, conta com a maior quantidade de cimento, insumo mais oneroso da estrutura. Diante disso, a Figura 12 exprime o quanto esse material representa, em termos percentuais, no valor final da estrutura, correspondendo a aproximadamente 17% do custo para implantação de um pavimento nestes padrões, independentemente do nível de tráfego aplicado a ele.

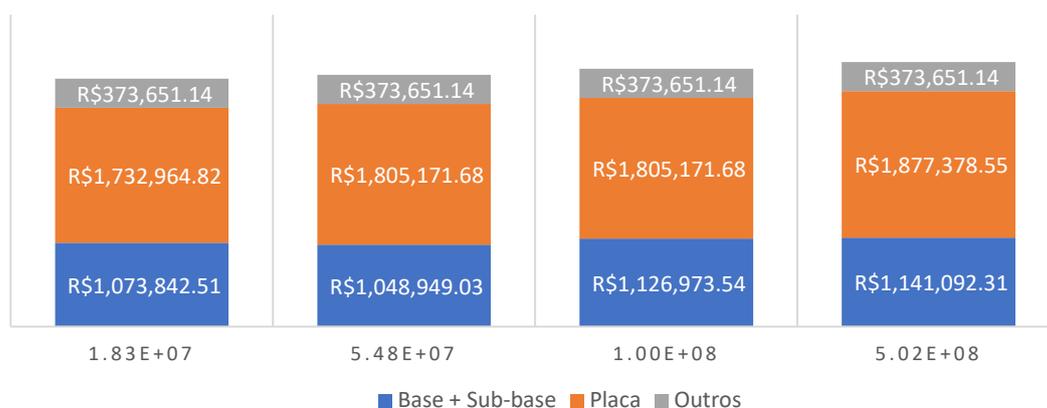


Figura 11 – Custo por camada dos pavimentos de concreto simples

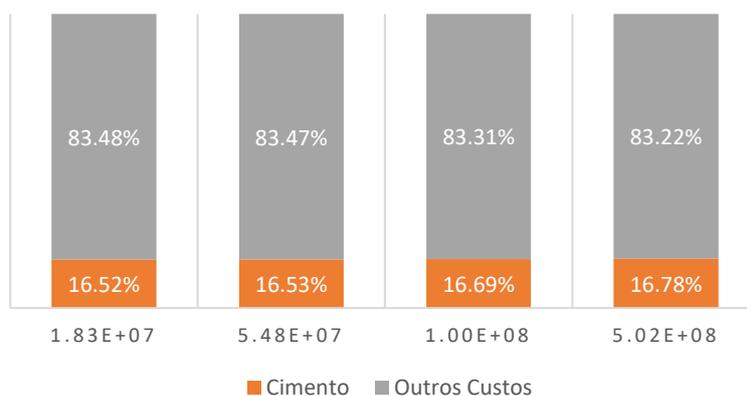


Figura 12 – Proporção do custo do cimento Portland em relação a um Km de obra

3.2.2 Pavimento em concreto asfáltico

Dentre os pavimentos asfálticos com ligante convencional, observa-se, através da Figura 13, que o comportamento dos custos das camadas do pavimento não é uniforme. Nota-se que os custo de CA aumenta com elevação do N, entretanto o valor dessa camada se torna mais relevante em comparação ao valor para base e sub-base apenas quando é submetido a tráfegos na ordem de 5×10^8 . Tratando-se de da camada de revestimento, a partir do gráfico da Figura 14, observa-se que o custo do ligante asfáltico em relação ao valor total do pavimento, correspondendo a uma parcela significativa no preço por km de obra, elevando o percentual conforme aumenta a espessura da camada asfáltica.

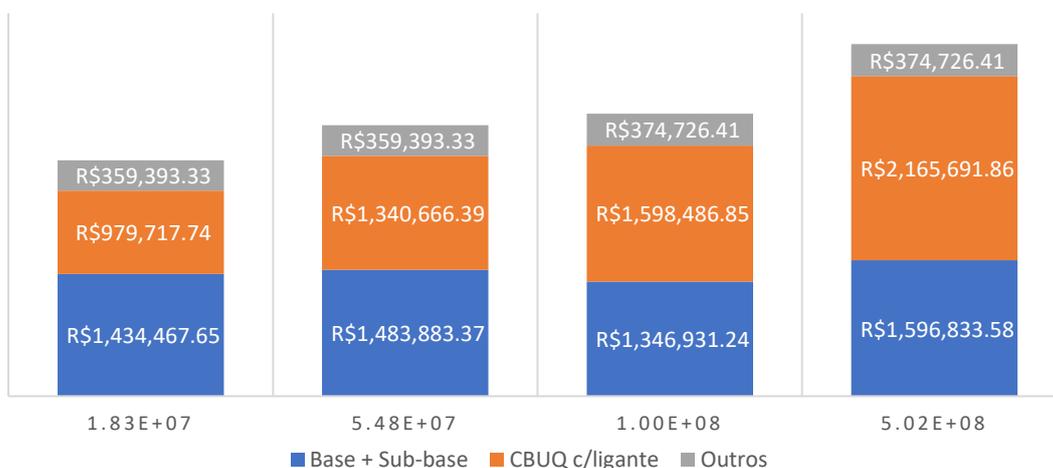


Figura 13 – Custo por camada dos pavimentos de concreto asfálticos com ligante convencional

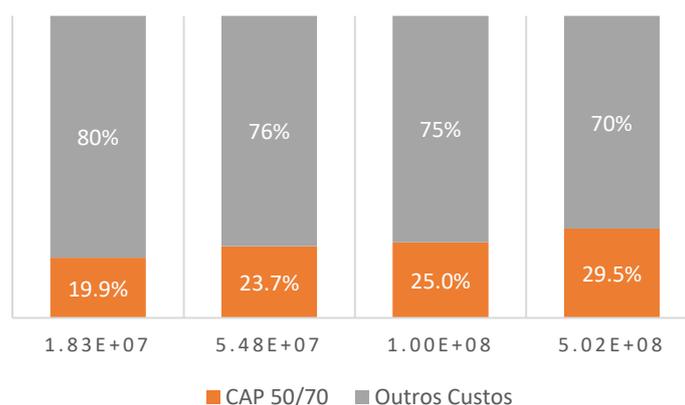


Figura 14 – Proporção do custo do ligante 50/70 em relação a um Km de obra

3.2.3 Pavimento em concreto asfáltico com ligante modificado por polímero

É notável que a pavimentação com asfalto modificado por polímero apresenta valores inferiores as demais. Observa-se, na Figura 15, que os custos de concreto asfáltico são

menos significativos que os da base e sub-base devido as baixas espessuras empregadas no material. Por conta disso, o crescimento dos custos referentes ao ligante asfáltico, evidenciado na Figura 16, tem um comportamento semelhante ao CAP 50/70, entretanto são significativamente menores em relação aos apresentados nas estruturas em concreto asfáltico convencional.

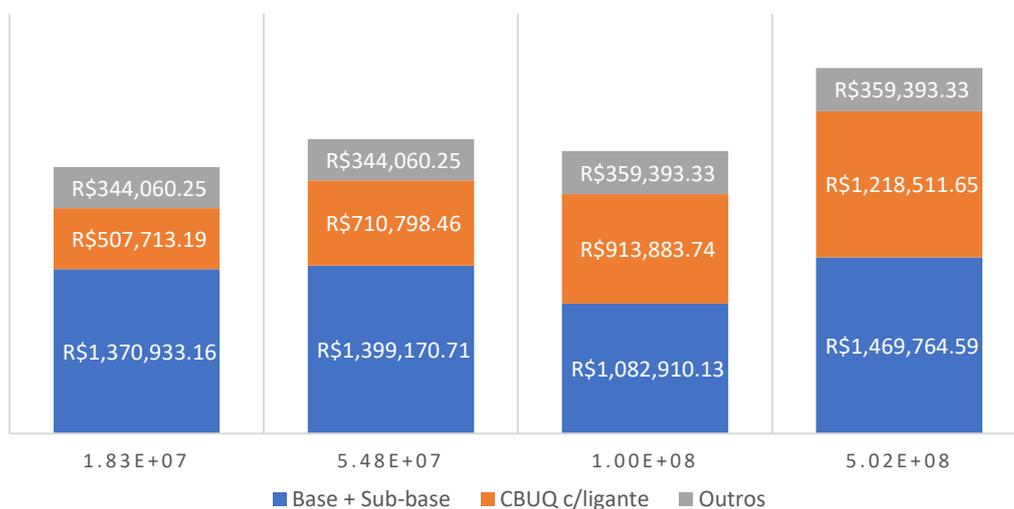


Figura 15 – Custo por camada dos pavimentos de concreto asfálticos com ligante modificado

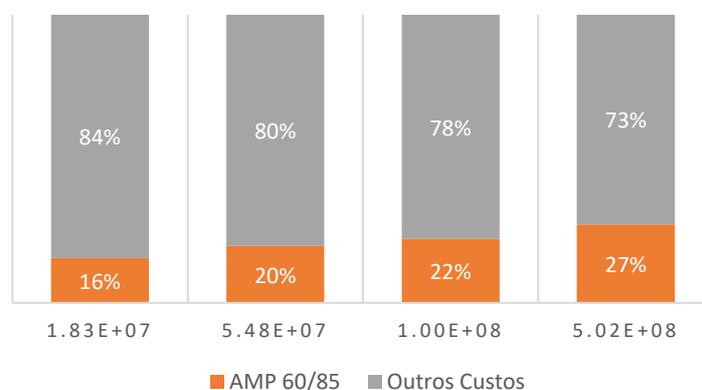


Figura 16 – Proporção do custo do ligante AMP 60/85 em relação a um Km de obra

3.3.CUSTO DO QUILOMETRO EM RELAÇÃO AO TRÁFEGO

Diante de todas as orçamentações realizadas, chega-se, por fim, a correlação do custo por quilômetro pelo número de solicitações do eixo padrão (R\$/Km.N) para cada tipo de estrutura dimensionada. Assim, com base nos dados apresentados na Figura 17, foi possível o desenvolvimento da análise de viabilidade de implantação, visando a estrutura de menor custo que atenda as demandas de tráfego.

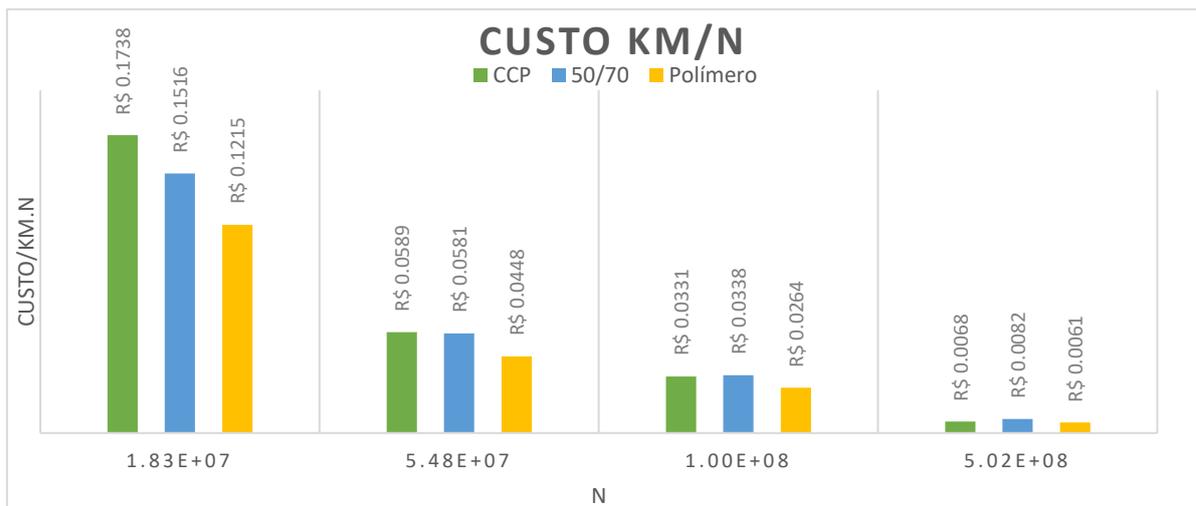
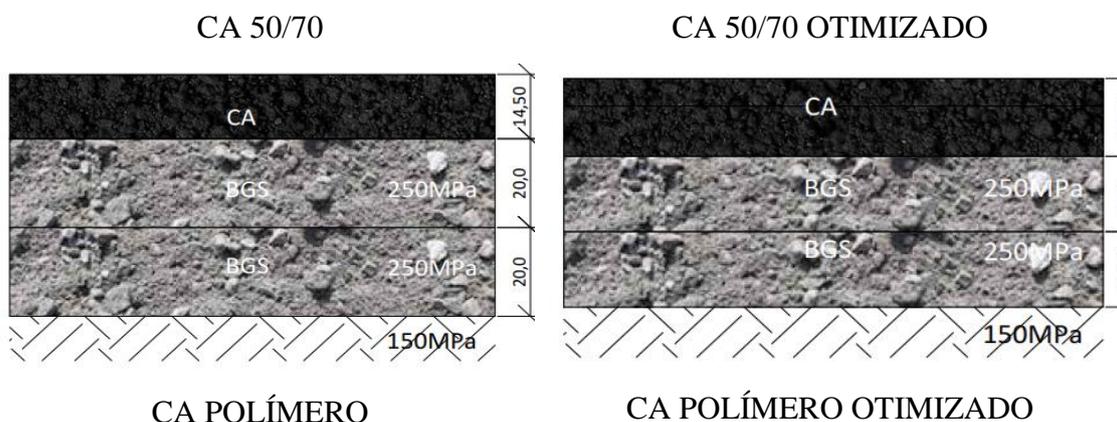


Figura 17 – Análise de viabilidade econômica (Custo/km.N)

Diante do apresentado na Figura 17, observa-se que o custo de ambas as misturas asfálticas é inferior ao pavimento de CCP apenas para os tráfegos de $1,83 \times 10^7$ e $5,48 \times 10^7$. Para tráfegos acima destes, o pavimento em concreto simples com juntas serradas se torna mais atrativo economicamente que o de concreto asfáltico convencional em torno de 2% entretanto, ao ser comparado com o concreto asfáltico modificado por polímero, percebe-se que o último possui custos menores para todos os tráfegos, variando entre 10 e 30%.

4. ANÁLISES COMPLEMENTARES

A fim de abranger uma quantidade maior de possibilidades para fins comparativos, o presente item tem por objetivo a inserção de uma nova análise a partir da adoção de ligantes asfálticos com melhor desempenho à fadiga. Dimensionou-se as estruturas, para o tráfego de 1×10^8 e adotou-se um ligante asfáltico com maior desempenho à fadiga, tanto para o convencional 50/70 quanto para o modificado por polímero. Como resultado, ocorreu um aumento na espessura de revestimento, porém uma redução significativa nas espessuras de base e sub-base, conforme pode ser observado na Figura 18.



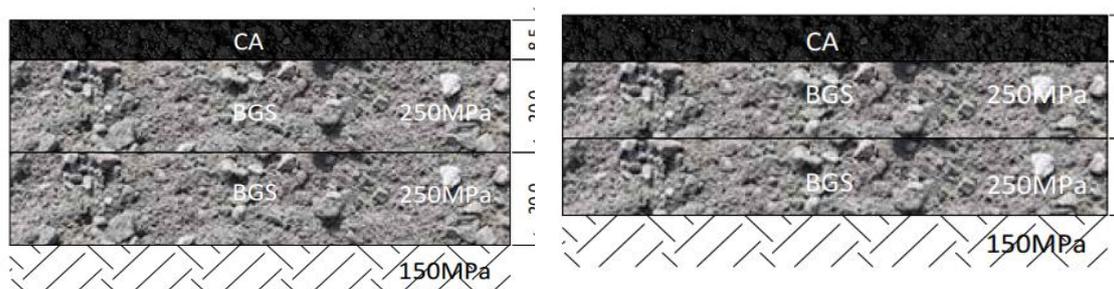


Figura 18 – Comparação das seções transversais com ligante otimizado

Com base na Figura 18, fica evidente a influência do desempenho do ligante diante das espessuras da estrutura. Como podemos observar, para o concreto asfáltico 50/70 essa alteração proporcionou um aumento de 1cm na espessura da camada de revestimento asfáltico, todavia, uma redução de 5 cm em cada camada de BGS. A alteração na estrutura também ficou evidente para o concreto asfáltico modificado por polímero que, por sua vez, aumentou a espessura do revestimento em 0,5cm e a base e sub-base, reduziram sua espessura total em 10cm. Conseqüentemente, a alteração observada na estrutura resulta em valores diferentes para a implantação do pavimento, introduzidos na Figura 19.

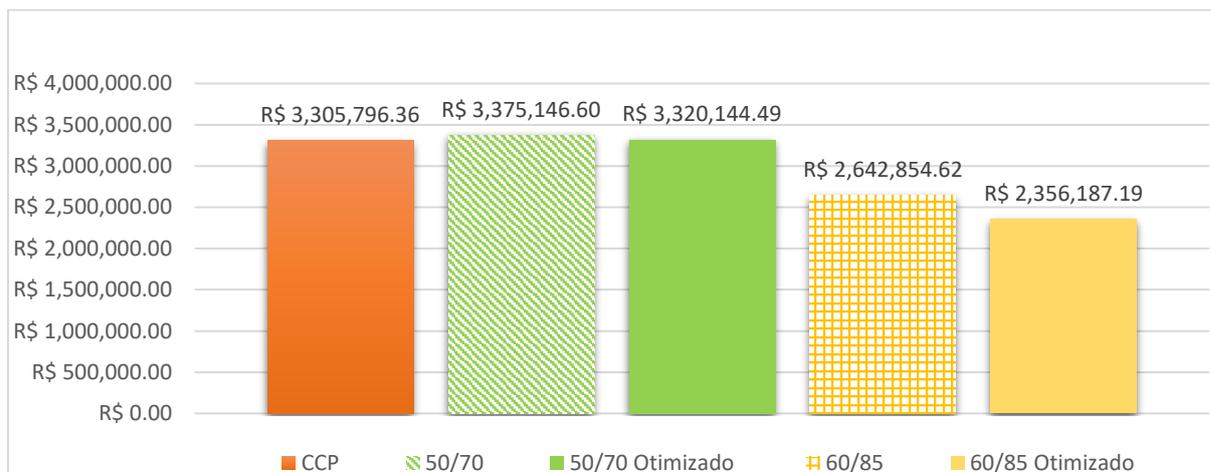


Figura 19 – Custos dos pavimentos com ligantes otimizados para tráfego igual a 1×10^8

Diante da análise dos dados da Figura 19, conclui-se que os custos para a implantação de pavimentos para um tráfego de 1×10^8 são mais baixos para um concreto asfáltico modificado por polímero que detenha melhor qualidade à fadiga, visto que a mistura modificada por polímero otimizada resultou em um decréscimo de 10,8% em relação ao modificado por polímero intermediário. Em relação a mistura com ligante 50/70 convencional, a adoção de um ligante de melhor qualidade proporcionou um decréscimo no orçamento de aproximadamente 1,6%, aproximando ainda mais o valor entre o pavimento em concreto asfáltico convencional e o pavimento de concreto de cimento Portland.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, as alternativas economicamente viáveis de pavimentos apresentadas no presente trabalho têm suas particularidades para implantação e dependem exclusivamente do nível de tráfego aplicado. É interessante ressaltar que as informações apresentadas no presente trabalho foram retiradas de misturas controladas em laboratório e possuem poucas variações nas misturas e processos de compactação muito uniformes, ao contrário de uma amostra retirada em campo. Dessa forma, a fim de garantir os melhores resultados possíveis para fins de aplicação destes pavimentos em situações reais, deve-se garantir o controle de qualidade das misturas e dos processos construtivos da obra.

Em suma, enfoca-se que o pavimento de concreto asfáltico com ligante modificado por polímero resultou no menor valor de implantação dentre todas as análises efetuadas, principalmente quando foi simulado a melhor qualidade do ligante para essa mistura, resultando em aproximadamente 20% mais barato que o pavimento em concreto de cimento Portland para altos volumes de tráfego. Conclui-se, a partir disso, que estruturas em asfálticas se mostraram muito eficientes não só para tráfegos na ordem de 10^7 , mas também como alternativas para a implementação em tráfegos mais elevados, devido ao seu alto desempenho à fadiga.

Tratando-se de pavimentos em concretos asfáltico convencional 50/70, observa-se que para as simulações efetuadas no presente trabalho, essa alternativa se apresentou mais vantajosa que os pavimentos em CCP para tráfegos inferiores a $1,48 \times 10^7$, já para o nível de solicitações de $5,48 \times 10^7$ os custos de implantação, em km/N, de ambas as estruturas estão muito próximo. A partir disso, percebe-se a transição de viabilidade, passando dos pavimentos em CA para os em CCP, para um nível de tráfego de aproximadamente $7,00 \times 10^7$. Caso persistam os aumentos dos preços dos materiais asfálticos, os pavimentos em CCP, considerados historicamente viáveis para tráfegos considerados muito elevado, poderão se tornar uma opção mais vantajosa também para altos volumes de tráfego, conforme a classificação de Ceratti et.al (2015).

Por fim, a partir de todos os resultados, determinou-se que a estrutura de pavimento mais viável economicamente em relação ao critério de ruptura analisado é a pavimentação asfáltica com ligante modificado por polímero. Diante disso, é interessante, para fins comparativos com o presente trabalho, o emprego de dimensionamentos que se detenham em outros critérios de ruptura, a incorporação dos custos operacionais, além de avaliações da adoção de pavimentos semirrígidos e/ou com bases asfálticas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). (2019) “Pavimento de concreto é alternativa para a melhoria das estradas brasileiras”, disponível em: <https://abcp.org.br/pavimento-de-concreto-e-alternativa-para-a-melhoria-das-estradas-brasileiras> (acessada em 19 de agosto de 2022)

Balbo, J. T. (2007) Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Ed. Oficina de texto.

Balbo, J. T. (2010) Pavimentos de Concreto. São Paulo: Ed. Oficina de Textos.

Bernucci, et al. (2010) Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Editora Abeda, p.11.

Ceratti, P.A (2015). Utilização de Ligantes Asfálticos em Serviços de Pavimentação, ABEDA, Rio de Janeiro, p.45

Cervo, T.C. (2004). Estudo da Resistência à Fadiga de Concretos de Cimento Portland para Pavimentação. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. pp. 171-177.

CNT (2021) Pesquisa CNT de rodovias 2021: relatório gerencial. Catálogo Nacional de Transportes, Brasília, DF, p.12.

Cordeiro, F. R. F. S. (2007) Orçamento e controle de custos na construção civil. Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: Acesso em 02 ago. 2012.

Nascimento, L. et al. (2014) Uso da mecânica do dano contínuo na caracterização de misturas asfálticas brasileiras, 21º Encontro de Asfalto, IBP, Rio de Janeiro.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). (2003) Manual de Custos Rodoviários - Brasília, p.38.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). (2017) Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes. 1ª Edição - Brasília, 2017a. pp. 3-18.

Moraes, Cláudio G. (2018) Impacto da Alteração de Sistemas de Referência de Preços, p.2.

Tisaka, Maçahico. Orçamento na construção civil: consultoria, projeto e execução – 2ª Edição revisada e ampliada. São Paulo: Editora Pini, 2011.

Sampaio, F. M. (1989) Orçamento e custo da construção. Brasília: Hemus.