ANÁLISE COMPARATIVA DO CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM CONCRETO ASFÁLTICO E PAVIMENTOS RÍGIDOS EM CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND APLICADO EM RODOVIA DE ALTO TRÁFEGO

Victor N. Cavalet
Gislaine Luvizão
Fabiano A. Nienov
Lucas Q. Zampieri
Universidade do Oeste de Santa Catarina

RESUMO
As condições da superfície de rolamento das rodovias são de suma importância para o desenvolvimento do país. No presente artigo adotou-se dados do trecho da SC-114 localizado entre Otacílio Costa e Lages. Com os dados de tráfego e características do subleito propôs-se a comparação avaliativa entre pavimentação asfáltica e de concreto, de maneira a analisar a viabilidade de implantação destes. Determinou-se o período de análise de 20 anos, observando-se economicamente as estruturas por todo o período, considerando as manutenções comumente empregadas nos dois casos. Utilizou-se o software MeDiNa para o dimensionamento do pavimento flexível e o método PCA/84 para o pavimento rígido. Através da comparação após o dimensionamento e orçamentação, concluiu-se que a implantação do pavimento rígido apresentou melhor custo benefício para o trecho em questão, observando-se que os custos de construção e manutenção, para o pavimento flexível, foram respectivamente de R$1.742.275,73 e R$1.045.690,50 e para o pavimento rígido de R$1.205.237,40 e R$247.371,06.

ABSTRACT
The conditions of the road surface of the highways are of paramount importance for the development of the country. In this article we adopted data from the SC-114 section located between Otacílio Costa and Lages. With the data of traffic and characteristics of the subleito it was proposed the evaluation comparison between asphaltic and concrete paving, in order to analyze the viability of their implantation. The analysis period of 20 years was determined, observing the structures economically throughout the period, considering the maintenance commonly used in both cases. MeDiNa software was used for the design of the flexible pavement and the PCA / 84 method for the hard pavement. Through the comparison after sizing and budgeting, it was concluded that the implementation of the rigid pavement presented a better cost benefit for the stretch in question, noting that the construction and maintenance costs for the flexible pavement were respectively R $ 1,742. 275.73 and R $ 1,045,690.50 and for the rigid floor of R $ 1,205,237.40 and R $ 247,371.06.

1. INTRODUÇÃO

A pavimentação é parte essencial da infraestrutura rodoviária de qualquer país, contribuindo efetivamente para o seu crescimento econômico por proporcionar o deslocamento de pessoas e mercadorias. O pavimento é constituído por camadas de diferentes materiais de forma a fornecer segurança e conforto aos usuários. Existem no mercado diferentes tipos de pavimentos: rígido, semirrígido e flexível.

Segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2019) o pavimento rígido é mais durável e tem menor necessidade de intervenções de manutenção durante seu ciclo de vida se comparado ao pavimento flexível que pode apresentar vantagem no custo inicial de construção. Porém com o aumento de mais de 60 % nos custos dos ligantes asfálticos no último ano, além do novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos esse panorama pode ter mudado. Nessas condições os pavimentos asfálticos acabam ficando bem mais caros, tornado seu uso inviável economicamente e favorecendo a utilização de pavimentos rígidos de concreto.

Desta forma, este estudo compara a utilização de pavimentação rígida de concreto de cimento

Portland com a pavimentação flexível em concreto asfáltico usinado à quente considerando o tráfego da SC-114, trecho entre Otacílio Costa – SC e Lages –SC, com o objetivo de avaliar o custo-benefício de construção e manutenção.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentados os conceitos, justificativas e características dos assuntos mais importantes que serão tratados neste trabalho, do ponto de vista dos autores.

2.1. Dimensionamento de pavimentos flexíveis

Existem inúmeros métodos para o dimensionamento dos pavimentos flexíveis, porém o mais consagrado no Brasil é o método Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (SENÇO, 2007). O novo método de dimensionamento de pavimentos asfálticos (MeDiNa) está em fase de testes e aprimoramento e promete ser o principal método para dimensionamento de pavimentos asfáltico no Brasil.

O MeDiNa é um *software* que realiza a verificação e o dimensionamento de estruturas de pavimentos, por meio da rotina AEMC (análise elástica de múltiplas camadas) (MEDINA, 2019). O programa calcula as tensões e deformações do pavimento sob carregamento de um ”eixo-padrão” e aplica modelo de fadiga e deformação permanente para ajustar as espessuras das camadas. O *software* MeDiNa apresenta dois modos de dimensionamento, considerando pavimento novo ou projeto de reforço. A cada tipo de via incide um critério de parada do dimensionamento, bem como os graus de confiabilidade das análises realizadas. A **Tabela 1**, da aba *Ajuda* do MeDiNa, resume os critérios e a confiabilidade de cada tipo de via (MEDINA, 2019).

Conforme MeDiNa (2019), o *software* analisa a estrutura, verificando os critérios de área trincada e/ou deformação permanente.

Tabela 1: Critérios de parada e confiabilidade dos tipos de vias

Tipo de via	Confiança	Área Trincada	Deformação Permanente
Sistema arterial principal	95%	30%	10mm
Sistema arterial primário	85%	30%	13mm
Sistema arterial secundário	75%	30%	20mm
Sistema coletor primário	85%	30%	13mm
Sistema coletor secundário	75%	30%	20mm
Sistema local	65%	30%	20mm

Fonte: Software MeDiNa.

2.2. Dimensionamento de pavimentos rígidos

No Brasil, para o dimensionamento dos pavimentos rígidos, geralmente se utiliza a metodologia da *Portland Cement Association* (PCA) de 1984, recomendada pela ABCP.

O PCA/1984 é um método empírico mecanístico de dimensionamento de pavimentos rígidos que utiliza modelos de desempenho por fadiga do concreto e erosão das placas (SANTOS, 2011). Conforme DNIT (2005), o método da PCA de 1984 se baseia em estudos teóricos sobre comportamento das placas de concreto, análises computacionais, ensaios laboratoriais, pistas experimentais, observação metódica do pavimento em serviço e comportamento das juntas, sub-base e acostamento no desempenho de pavimentos de concreto. Podendo ser aplicado tanto no dimensionamento de pavimentos de concreto simples e com barras de

transferência, como naqueles que possuem armadura, descontínua ou contínua.

A resistência do concreto é medida aos 28 dias, de modo que as tabelas e ábacos que compõe a metodologia incorporam o crescimento da resistência com o tempo. O valor de suporte da fundação é representado pelo coeficiente de recalque k. Os parâmetros de composição do PCA são os modelos de ruptura do pavimento por fadiga e erosão (OLIVEIRA, 2000).

De acordo com Oliveira (2000), o modelo de fadiga utiliza o conceito de dano acumulado, conforme a regra de Miner, o qual determina que a parcela de resistência a fadiga não consumida por uma certa classe de carga fica disponível para uso por outras cargas, sendo o resultado do dano total a soma final dos consumos individuais da resistência a fadiga.

Conforme apresenta DNIT (2005), as tensões de tração por flexão consideradas no cálculo são produzidas pela carga tangente à borda longitudinal, e a curva de fadiga alcança valores abaixo da relação de tensões limite de 0,5, eliminando a descontinuidade nesse ponto.

Devido a ação da água, combinada com a passagem de cargas sobre o pavimento ocorre a erosão, ou seja, a perda de material no topo da camada. Como consequência da erosão ocorrem deformações verticais críticas, em cantos e bordas, causando escalões nas juntas transversais, principalmente quando estas não possuem barras de transferência (DNIT, 2005).

Os danos por erosão também são causados polos eixos tandem, vinculado as condições climáticas do local e a eficiência dos sistemas de drenagem (OLIVEIRA, 2000). Portanto, o critério de erosão é uma diretriz básica, que pode ser modificado de acordo com características locais (DNIT, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A avaliação comparativa para o presente trabalho foi conduzida utilizando como variáveis principais os custos de implantação e conservação para as duas alternativas de pavimento propostas. O estudo utilizou como base de dados um trecho da SC-114 entre Otacílio Costa a BR-282 em Lages disponibilizados pela empresa SOTEPA (responsável pelo projeto da via), conforme Ilustração 1.

Os dados utilizados foram referentes ao tráfego e subleito. Esses dados foram utilizados para o dimensionamento dos pavimentos. Sendo que para a pesquisa foram propostas duas estruturas de pavimentos distintas, uma flexível e uma rígida.



Ilustração 1: Localização da Rodovia SC-114, trecho entre Otacílio Costa e BR-282
Fonte: SOTEPA (2013).

As estruturas apresentadas foram constituídas pelos materiais de pavimentação comumente empregados em obras de pavimentação na região de Lages, cujas características físicas e mecânicas cumprem os requisitos solicitados pelo DNIT (2006) e DNIT (2005).

Para a análise comparativa entre os pavimentos adotou-se extensão de 1.000 m. Considerou-se no dimensionamento a pista com duas faixas de rolamento de 3,50 m e acostamento nas duas margens de 2,50 m.

3.1. Período de análise

Para os pavimentos propostos foi estipulado o período de análise de 20 anos, após o ano de abertura ao tráfego, onde todos os custos foram observados. Dentro desse período foram definidas as intervenções de conservação e restauração, mantendo a qualidade e serventia dos pavimentos até o final do ciclo. Considerou-se no dimensionamento o ano de abertura como sendo 2020.

3.2. Dimensionamento do pavimento flexível

Para o dimensionamento do pavimento flexível foi utilizado o Método de Dimensionamento Nacional que dispõe de um *software* (MeDiNa) para o dimensionamento das estruturas do pavimento. Utilizou-se a versão Beta 1.1.2.0 de abril de 2019.

3.2.1. Informando os dados e analisando a estrutura

O pavimento flexível foi dimensionado para um período de projeto de 10 anos, período esse adotado normalmente no dimensionamento de pavimentos flexíveis. Os dados referentes ao tráfego (exclusivo veículos comerciais), informados ao *software* estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Dados de tráfego

Tipo de via	Sistema Arterial Primário
VMD (1º ano)	2632
FV:	4.794
N anual (1º ano)	4,61x10^6
Taxa de crescimento	4,4
Período de projeto (anos)	10
N total	5,63x10^7

Fonte: Adaptado de MeDiNa.

A estrutura do pavimento flexível foi modelada com sub-base em macadame seco, base de brita graduada e revestimento em concreto asfáltico. Estes assentes sobre o subleito com CBR de 8%. Para o lançamento do subleito buscou-se na bibliografia um solo que, fosse de uma região com características de solo semelhantes com o solo do projeto utilizado como base (SC-114) e possuísse todas as informações necessárias ao dimensionamento. Neste sentido adotou-se o solo "JC" (Jazida Canabarro) de Santa Maria –RS que foi ensaiado por Zago (2016). Esse solo também foi adotado por Quadros (2018) em seus estudos sobre o dimensionamento de pavimentos asfálticos pelo MeDiNa.

Como o software MeDiNa não possui em sua base de dados o material macadame seco, para a sub-base, foi necessário adicionar o material macadame seco com seus parâmetros como módulo de resiliência (MPa) e coeficiente de Poisson. Adotou-se módulo de resiliência de 208 MPa para o material macadame seco. Esse valor foi utilizado por Zago (2016) e Fernandes (2016). Os coeficientes de Poisson utilizados são coerentes com os valores apresentados por

Medina e Motta (2005), onde assumem valores típicos de 0,35 para materiais granulares e 0,45 para o subleito.

Para a camada de base utilizou-se uma das britas graduadas da base de dados do *software* MeDiNa. A base e sub-base foram lançadas com 15 cm de espessura, que é a espessura mínima para as camadas granulares.

A camada de revestimento foi lançada com duas camadas de concreto asfáltico modificado por polímero da base de dados do *software*, pois as misturas convencionais não atenderiam os esforços aplicados durante a vida útil adotada. Depois de lançada a estrutura realizou-se análises e determinou as espessuras necessárias para as camadas de revestimento.

3.3. Dimensionamento do pavimento rígido

O pavimento rígido foi dimensionado pelo método PCA de 1984, seguindo o roteiro de dimensionamento apresentado por DNIT (2005).

Adotou-se período de projeto de 20 anos, conforme recomendado pela ABCP. Os dados referentes a distribuição do tráfego e suporte da fundação foram obtidos como mencionado no pavimento flexível. Dessa maneira adotou-se para o subleito CBR igual a 8%. O número de repetições por eixo de carga estão apresentados na **Tabela 3**, referente aos veículos comerciais que trafegam na via em estudo. Esses valores foram obtidos através da contagem em campo e posterior tratamento dos dados segundo o método da PCA.

Tabela 3: Número de repetições por eixo de carga

Eixos	Número de Repetições	N
Simples (6t)	14.902.218	1,49x10^7
Simples (10 t)	5.904.044	5,9x10^6
Duplo (17 t)	12.073.156	1,2x10^7
Triplo (25,5 t)	5.834.085	5,83x10^6

No dimensionamento da espessura da placa admitiu-se o fator de segurança de cargas (FSC) de 1,2. Esse fator, conforme o DNIT (2005), é utilizado para altos volumes de tráfego. Considerou-se no dimensionamento, pavimento com acostamento de concreto e barras de transferência e ligação nas juntas do pavimento. Seguindo as recomendações do DNIT (2005), adotou-se placa de concreto de 3,50 x 5,00 (pista) e 2,50 x 5,00 (acostamento), com barras de transferência em Aço CA-25 com Ø: 25 mm a cada 30 cm e comprimento de 46 cm. E barras de ligação com comprimento de 75 cm em Aço CA-50 com Ø:10 mm a cada 100 cm.

No dimensionamento, para a resistência à tração na flexão do concreto adotou-se 4,5 MPa. Considerando que a resistência do concreto à tração como 70% de sua resistência à tração na flexão e que a resistência do concreto à tração é 10% de sua resistência à compressão, estimou-se a resistência característica do concreto em 31,5 MPa, com valor adotado de 30 MPa. O dimensionamento do pavimento rígido foi realizado considerando sub-base de concreto compactado com rolo (CCR) com espessura de 10 cm.

3.4. Métodos de restauração e conservação dos pavimentos

Para o pavimento asfáltico foram adotadas as soluções de restauração comumente empregadas em rodovias administradas por agências rodoviárias. Dessa maneira, foram previstas intervenções a cada 5 anos, em uma porcentagem da área total pavimentada, conforme a

Tabela 4. Para o 10º e 20º ano foi dimensionado, através do *software* MeDiNa, um reforço de 5 cm em concreto asfáltico modificado por polímero com sobrevida de 10 anos.

Tabela 4: Solução de restauração para o pavimento asfáltico

Tipo de serviço	5° ano	10° ano	15° ano	20° ano
Micro revest. e=2 cm	100%	-	100%	-
Reforço CAUQ e = 5 cm	-	100%	-	100%
Fresagem descontínua e = 3cm	20%	20%	20%	20%
Recomposição em CAUQ e = 3 cm	20%	20%	20%	20%

Além destes, foram previstos para o pavimento flexível, serviços de conservação periódica, que serão executados a partir do 2º ano de uso da rodovia em uma porcentagem da área do pavimento conforme a Tabela 5, baseados nos estudos de Souza (2017).

Tabela 5: Conservação periódica para o pavimento asfáltico

Tipo de serviço	2° ano	3° ano	4° ano	5° ano	+ 6°ano
Fresagem descontínua e=3 cm	0,5%	1%	1,5%	2%	2,5%
Recomposição em CAUQ e=3 cm	0,5%	1%	1,5%	2%	2,5%
Reparo Superficial	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%
Reparo Profundo	0,02%	0,04%	0,06%	0,08%	0,10%

Para o pavimento rígido, admitiram-se as medidas de manutenção indicadas pelo DNIT (2005). Nesse sentido, previu-se serviços de selagem de juntas e fissuras, a partir do segundo ano, em uma área parcial do pavimento conforme indica a **Tabela 6**.

Tabela 6: Conservação periódica – Pavimento de concreto

Tipo de serviço	2° ano	3º ano	4° ano	5° ano	+ 6º ano
Reparo de juntas e fissuras	1,00%	1,5%	2,00%	2,5%	3,00%

A **Tabela 7** apresenta as medidas de manutenção propostas para o 10º, 15º e 20º ano.

Tabela 7: Medidas de restauração – pavimento de concreto

Tipo de serviço	10° ano	15° ano	20° ano
Remendo em placa	3%	5%	5%
Substituição de placas	-	3%	3%

3.5. Levantamento quantitativo

Com as estruturas dos pavimentos definidas, determinou-se os quantitativos de serviços necessários para a execução de ambos os pavimentos. Para a realização do levantamento quantitativo dos pavimentos são necessários alguns dados referentes às dimensões e extensão da via considerada, às espessuras das camadas que compõe a estrutura, além de parâmetros de densidade e consumo dos materiais asfálticos. As dimensões obtidas a partir dos dimensionamentos podem ser visualizadas na Tabela 8.

Tabela 8: Parâmetros utilizados

PAVIMENTO FLEXÍVEL		PAVIMETO RÍGIDO	
Revestimento (1ª cam.)	6,1 cm	Placa de concreto	20 cm
Revestimento (2ª cam.)	10 cm	Sub-base de CCR	10 cm
Base	15 cm		
Sub-base	15 cm		
Consumo de Material		Densidade	
CAP polímero	5,50%	CAUQ	2,4 t/m³
CM-30	0,0012 t/m²		
RR-1C	0,0004 t/m²		

Para a aferição da quantidade de equipamentos, mão de obra e materiais para execução da via, foi utilizada a base de dados do DNIT, através do sistema SICRO. Com os parâmetros definidos, determinou-se os quantitativos necessários para a construção de ambos os pavimentos. A **Tabela 9** apresenta os quantitativos de serviços necessários para a execução do pavimento flexível.

Tabela 9: Quantitativo de serviços de execução dos pavimentos para 1.000 metros

Pavimento Flexível			Pavimento Rígido		
Serviço	Unidade	Quantidade	Serviço	Unidade	Quantidade
Regularização do subleito	m²	12.000,0	Regularização do subleito	m²	12.000,0
Sub-base em macadame seco	m³	1.800,0	Sub-base de CCR	m³	1.200,0
Base de brita graduada	m³	1.800,0	Pavimento de CCP	m³	2.400,0
Imprimação	m²	12.000,0	Aço - CA 25 (25 mm)	kg	14.183,0
Pintura de ligação	m²	19.000,0	Aço - CA 50 (10 mm)	kg	1.389,0
CAUQ modificado por polímero	ton	3.904,8	Arame recozido nº 18	kg	35,0
CAP Polímero	ton	214,7	Treliça nervurada Gerdau (TR 12645)	kg	2.137,0
Asfalto Diluído CM-30	ton	14,4			
Emulsão Asfáltica RR-1C	ton	7,6			

Também foram quantificados os serviços referentes a restauração e conservação dos pavimentos que, conforme previsto, serão realizados dentro do período de análise. A quantificação desses serviços foi realizada a partir das estratégias de manutenção propostas para os pavimentos. De acordo com a área do pavimento abrangida por cada serviço de manutenção, calculou-se as quantidades necessárias de cada serviço. A **Tabela 10** apresenta os serviços e as quantidades necessárias para a manutenção dos pavimentos.

Tabela 10: Serviços de manutenção no pavimento flexível

Pavimento Flexível			Pavimento Rígido		
Serviço	Unidade	Quantidade	Serviço	Unidade	Quantidade
Microrrevestimento (2cm)	m²	14.000,0	Reparo de juntas	m	2.808,0
Reforço de CAUQ (5 cm)	t	1.680,0	Tratamento de fissuras	m²	3.640,0
Fresagem descont. (3 cm)	m³	257,2	Remendo em placa	m³	91,0
Pintura de Ligação	m²	23.289,0	Demolição de placa de concreto	m³	84,0
Recomp. em CAUQ (3 cm)	ton	734,8	Construção de placa de concreto	m²	420,0
Reparo superficial	m³	29,4			
Reparo profundo	m³	54,1			
Imprimação	m²	117,6			
Cap Modificado por polímero	ton	132,8			
Asfalto diluído CM-30	ton	0,14			
Emulsão asfáltica RR-1C	ton	9,3			
Emulsão asf. Mod. por polímero	ton	42,0			

3.6. Composição de custos

Os custos referentes a construção e manutenção dos pavimentos foram determinados através

do relatório analítico da composição de custos do Sistema de Custos Rodoviários (SICRO), do DNIT. Sendo que, para essa pesquisa, utilizou-se as composições de custos para o estado de Santa Catarina, com o mês de outubro de 2018 como referência. Esses custos foram reajustados para o mês de abril de 2019, conforme as orientações da Instrução de Serviço nº 01/2019, publicada no Boletim Administrativo do DNIT nº 004 de 07 de janeiro de 2019.

Os custos dos líquidos asfálticos foram obtidos através de consulta a tabela de preços ponderados mensais (produto/estado) da Agência Nacional do Petróleo (ANP). Como os líquidos asfálticos serão adquiridos de uma refinaria de asfalto de Araucária-PR, considerou-se os preços para o estado do Paraná, referentes ao mês de abril de 2019.
Considerou-se ainda, um custo de ICMS de 12% referente a circulação interestadual de mercadorias. A **Tabela 11** apresenta os líquidos asfálticos necessários para a construção do pavimento flexível, com os custos em R$/Kg para o estado do Paraná (360 km) referente ao mês de abril de 2019.

Tabela 11: Custo de líquidos asfálticos

Material	Custo Unitário R$/Kg	Custo Unitário com ICMS 12% R$/Kg
Asfalto Diluído CM-30	4,73	5,37
Emulsão Asfáltica RR-1C	1,93	2,19
CAP Modificado por polímero	3,49	3,97

Fonte: ANP (2019).

Os custos do transporte dos líquidos asfálticos foram calculados de acordo com a metodologia da Portaria nº 1977 de outubro de 2017 publicada pelo DNIT, através de equações tarifárias que são definidas em função da natureza do transporte, das condições da rodovia e das distâncias de transporte. As equações de transporte de produtos asfálticos foram reajustadas para o mês de abril de 2019, conforme as orientações da Instrução de Serviço nº 01/2019, publicada no Boletim Administrativo do DNIT nº 004 de 07 de janeiro de 2019. Os índices de reajustamento, utilizados para os serviços de pavimentação foram retirados dos índices de reajustamento de obras rodoviárias do DNIT.

O custo de aquisição do concreto de cimento Portland fck 30 MPa foi obtido por consulta a empresa Concreserra Concretos Usinados de Lajes – SC. Essa empresa localiza-se a aproximadamente 40 km do trecho em estudo, porém os custos de transporte já estão incluídos no preço do produto, adotou-se essa fornecedora pois é a que caracteriza o mercado local.

4. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados dessa pesquisa. Em seguida esses resultados, que foram obtidos considerando os custos de construção e manutenção dos pavimentos, serão analisados e discutidos. Os custos de construção dos pavimentos estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Custos de construção dos pavimentos

Pavimento Flexível		Pavimento Rígido	
Serviços e Materiais	Custo (R$)	Serviços	Custo (R$)
Regularização do Subleito	9.231,78	Regularização do subleito	9.231,78
Sub-base em Macadame Seco	146.275,62	Sub-base de CCR	171.813,99
Base em Brita Graduada	180.870,01	Placa de CCP	1.024.191,63
Imprimação	2.790,30		
Pintura de Ligação	3.602,82		
Revestimento CAUQ Polímero	413.600,93		
Asfalto Diluído CM-30	77.377,05		
Emulsão Asfáltica RR-1C	16.661,92		
CAP Modificado por Polímero	851.837,13		
Transporte de Líquidos asfálticos	40.028,18		
TOTAL (R$):	1.742.275,73	TOTAL (R$):	1.205.237,40

Verifica-se que o custo total de construção do pavimento flexível foi de R$ 1.742.275,73, aproximadamente 45 % superior ao do pavimento rígido. Isso ocorreu devido a necessidade de uma camada de revestimento espessa para suportar o tráfego intenso de veículos comerciais. Além disso, considerou-se essa camada composta por concreto asfáltico modificado por polímero do tipo EVA, que possui custo superior ao concreto asfáltico comum, custando R$ 3.490,42 a tonelada, com referência para março de 2019, no estado do Paraná.

O custo elevado para aquisição do concreto asfáltico contribuiu diretamente para o elevado custo de construção pavimento flexível. Apresentando custos de R$ 851.837,13, essa atividade representou aproximadamente 49% dos custos do pavimento flexível.

A utilização do novo método de dimensionamento nacional também contribuiu para uma espessura maior para a camada de revestimento do pavimento, pois pelo antigo método DNER essa camada apresentaria espessura de 12,5 cm em CAUQ. O que certamente resultaria em uma redução considerável no custo de construção do pavimento flexível. Porém deve-se considerar que o novo método de dimensionamento é capaz de avaliar trincamentos por fadiga dos revestimentos asfálticos, além da deformação permanente que é o único parâmetro considerado no método DNER. Além disso o novo método de dimensionamento prevê a utilização de diferentes misturas asfálticas, considerando sua performance, garantindo melhor desempenho ao pavimento.
Os custos de manutenção estão apresentados na **Tabela 13**, distribuídos ano a ano.

Tabela 13: Custos de manutenção dos pavimentos ano a ano

Ano	Flexível (R$/ano)	Rígido (R$/ano)
1		Abertura
2	1.877,44	1.362,45
3	3.754,87	2.043,68
4	5.632,31	2.724,90
5	125.494,88	3.406,13
6 a 9	37.548,70	16.349,40
10	334.693,37	25.160,53
11 a 14	37.548,70	16.349,40
15	126.898,16	81.812,59
16 a 19	37.548,70	16.349,40
20	334.693,37	81.812,59
Total	1.045.690,50	247.371,06

Através da **Tabela 13**, observa-se que para o pavimento flexível os custos de manutenção foram mais elevados no 5º, 10º, 15º e 20° ano, devido as intervenções de restauração mais contundentes propostas para esses anos, além das medidas de conservação. Destacando-se no 10º e 20º ano, que separadamente representam aproximadamente 32% do custo total, devido a previsão de execução de uma camada de reforço de 5 cm em CAUQ para esses anos.

Já para o pavimento rígido o custo de manutenção mantém certa estabilidade até o 10º ano onde foram previstos serviços de restaurações no pavimento através de remendos nas placas.

Os anos 15º e 20º são os que apresentam maiores custos de manutenção do pavimento, representando separadamente em torno de 33% dos custos totais desses serviços. Isso ocorreu devido a necessidade de restauração do pavimento através da substituição de placas e remendos em placa de concreto, além dos serviços previstos para os demais anos.

Em relação aos custos totais de manutenção, o pavimento flexível apresentou custos muito superiores ao do pavimento rígido, no valor de R$ 1.045.690,50 contra os R$ 247.371,06 do pavimento rígido. Esse resultado, corresponde ao esperado já que, conforme CNT (2017), o pavimento asfáltico tem maior necessidade de intervenções de manutenção durante seu ciclo de vida. O **Gráfico 1** apresenta os custos totais referentes a construção e manutenção dos pavimentos.

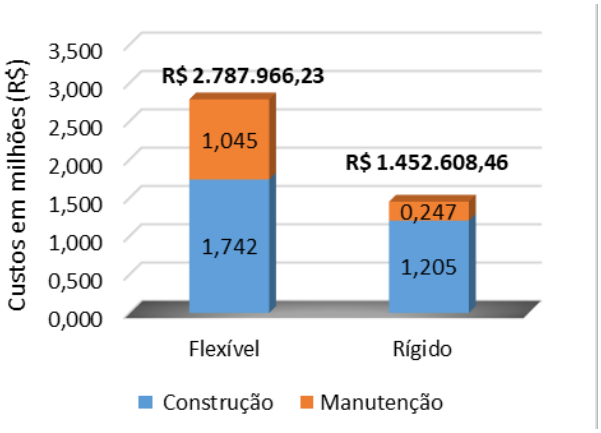


Gráfico 1: Custos totais dos pavimentos
Fonte: Os autores.

A partir do **Gráfico 1**, observa-se que o pavimento flexível apresentou custos superiores tanto para a construção como na manutenção, resultando em um custo total de R$ 2.787.966,23, aproximadamente 92% superior ao do pavimento rígido. Isso ocorreu devido a esse pavimento requerer na manutenção intervenções mais frequentes e onerosas, que contribuíram de maneira expressiva com o custo total do pavimento, aproximadamente 38%. Além disso esse pavimento necessitou de uma camada espessa de revestimento asfáltico para suportar o tráfego intenso de veículos comerciais na rodovia analisada que, conforme estudos realizados pela SOTEPA (2013), apresentou volumes altos de veículos de carga, resultando em um VMD (volume médio diário), projetado para o ano de 2020, de 2632 veículos comerciais. Nessas condições conforme a ABCP (2019), o pavimento rígido apresenta melhor desempenho se comparado ao flexível.

5. CONCLUSÃO

A pavimentação de rodovia é de suma importância para o desenvolvimento econômico de um país, garantindo conforto e segurança aos seus usuários. Procurar pavimentos de boa qualidade, reduzindo custos de construção e manutenção, é uma busca constante do setor de engenharia.

De acordo com os resultados obtidos no estudo realizado verificou-se que na construção o pavimento rígido apresentou, aproximadamente 31% mais economia comparado ao pavimento flexível. Esse resultado deve-se muito ao elevado custo do concreto asfáltico, que apresentou aumento de mais de 60% no último ano, elevando os custos do pavimento flexível e diminuindo sua viabilidade econômica.

Na manutenção a diferença de custos ficou ainda mais evidente, com o pavimento rígido apresentando uma economia de 76% em relação ao pavimento flexível, devido a sua menor necessidade de intervenções de manutenção.

A partir dos resultados obtidos, considerando os custos de construção e manutenção dos pavimentos, conclui-se que, para a rodovia estudada, a implantação do pavimento rígido é a alternativa mais viável economicamente, apresentando uma economia de R$ 1.335.357,77.

Considerando o cenário atual brasileiro, com elevados custos dos ligantes asfálticos e rodovias de tráfego pesado, o pavimento de concreto apresenta-se como uma alternativa com excelente custo-benefício para pavimentação de rodovias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. *Pavimento verde, cada vez mais presente*. Disponível em: <http://viasconcretas.com.br/tecnologia/pavimento-de-concreto/> Acesso em: 10 abr. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEL. *Preços de distribuição de produtos asfálticos.* Disponível em: <http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-de-distribuicao> Acesso em: 10 maio. 2019.

BALBO, J. T. *Pavimentação asfáltica materiais, projeto e restauração*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES (CNT). *Pesquisa CNT de Rodovias*. Brasília, 2017. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/pesquisas> Acesso em: 15 mar. 2019.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *DNIT lança novo Sistema de Custos Referenciais de Obras* –SICRO. Disponível em: < http://www.dnit.gov.br/noticias/dnit-lanca-novo-sistema-de-custos-referenciais-de-obras-sicro> Acesso em: 15 mar. 2019

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Índices de Reajustamentos de Obras Rodoviárias*. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/indices-de-reajustamentos-de-obras/indices-de-reajustamentos-de-obras-rodoviario> Acesso em: 15 maio. 2019

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Instrução de Serviços nº 01*. DG/DNIT Sede 2019. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-1/InstruodeServion012019.pdf > Acesso em: 15 maio. 2019.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de custos de infraestrutura de transportes*. Metodologia e conceitos. v1. 1. ed. – Brasília, 2017.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de pavimentos rígidos*. Publicação IPR-714. Brasília, 2005.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de pavimentação*. Publicação IPR-719. Brasília, 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. *Manual de restauração de pavimentos rígidos*. Publicação IPR-737. Rio de Janeiro, 2010.

FERNANDES W. D. *Análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do Brasil e o método da AASHTO*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

MEDINA, J.; MOTTA, L. M. G. *Mecânica dos Pavimentos*. 2 ed. Rio de Janeiro: UFRJ, 2005.

OLIVEIRA, P. L. *Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto*. Tese (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

QUADROS, M.G. *Dimensionamento de pavimentos asfálticos com o método mecanístico-empirico: uso do novo método de dimensionamento nacional*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

SANTOS, C. R. G. *Dimensionamento e análise do ciclo de vida de pavimentos rodoviários: uma abordagem probabilística*. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SENÇO, W. Manual técnico de pavimentação: volume 1. 2ª ed. São Paulo: Pini, 2007.

SOFTWARE MeDiNa – MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO NACIONAL. *Manual de utilização*. Versão Beta 1.1.2.0 de abril de 2019.

SOTEPA – SOCIEDADE TÉCNICA DE ESTUDOS, PROJETOS E ACESSORIA LTDA. *Projeto de Engenharia Rodoviária para Restauração de Rodovia*. Volume 3 - Memória Justificativa. Departamento Estadual de Infraestrutura, 2013.

SOUZA, L.D.P. *Uso integrado das ferramentas de análise do ciclo de vida e de análise do custo do ciclo de vida em pavimentação*. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

ZAGO, J. P. *Estudo da deformação permanente de três solos típicos de subleitos rodoviários de Santa Maria-RS*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

Victor N. Cavalet (victorcavalet@hotmail.com)
Gislaine Luvizão (gislaine.luvizao@unoesc.edu.br)
Fabiano A. Nienov (fabiano.nienov@unoesc.edu.br)
Lucas Q. Zampieri (lucas.zampieri@unoesc.edu.br)
Departamento de Engenharia, Universidade do Oeste de Santa Catarina
Rua José Firmo Bernardi. Joaçaba, SC, Brasil