

ANÁLISE FINANCEIRA PARA REQUALIFICAÇÃO DE VIAS URBANAS BASEADO NO CUSTO DE CICLO DE VIDA: o impacto da manutenção preventiva em pavimentos intertravados

Vitória Sandrelly Borges de Andrade

vsba@discente.ifpe.edu.br

Prof. Roubier Muniz de Sousa

roubiermuniz@recife.ifpe.edu.br

RESUMO

A gestão de pavimentos urbanos no Brasil é marcada por uma cultura de intervenção reativa, o que gera gastos públicos elevados e obsolescência precoce da infraestrutura. O presente trabalho propõe uma análise financeira do impacto da manutenção preventiva no pavimento com blocos intertravados de concreto, fundamentada no Custo de Ciclo de Vida (LCC). A metodologia compreendeu o dimensionamento de uma seção transversal de referência, o levantamento de custos via SINAPI e a simulação de dois cenários em um horizonte de 20 anos: o Cenário A (manutenção preventiva trienal) e o Cenário B (manutenção corretiva profunda no 12º ano). Os resultados indicam que a estratégia preventiva apresenta um valor presente líquido de R\$ 188.440,20, sendo 15,86% mais econômica que a estratégia reativa (R\$ 218.318,32). Conclui-se que intervenções de baixo custo, como o rejuntamento e varrição manual, são investimentos estratégicos que asseguram a estabilidade estrutural e a sustentabilidade financeira da gestão pública.

Palavras-chave: pavimento intertravado; custo de ciclo de vida (LCC); manutenção preventiva.

ABSTRACT

Urban pavement management in Brazil is characterized by a reactive intervention culture, which leads to high public expenditures and premature infrastructure obsolescence. This study proposes a financial analysis of the impact of preventive maintenance on interlocking concrete block pavements, based on Life Cycle Cost (LCC). The methodology included the design of a reference cross-section, cost assessment using SINAPI data, and the simulation of two scenarios over a 20-year horizon: Scenario A (preventive maintenance every three years) and Scenario B (major corrective maintenance in the 12th year). The results indicate that the preventive strategy presents a net present value of R\$ 188,440.20, making it 15.86% more cost-effective than the reactive strategy (R\$ 218,318.32). It is concluded that low-cost interventions, such as joint refilling and manual sweeping, are strategic investments that ensure structural stability and the financial sustainability of public management.

Keywords: interlocking pavement; life cycle cost (LCC); preventive maintenance.

1. INTRODUÇÃO

A infraestrutura viária urbana é de fundamental importância para o desenvolvimento socioeconômico das cidades, sendo o pavimento com blocos de concreto intertravado uma das soluções mais utilizadas atualmente em projetos de vias secundárias, devido à sua versatilidade, estética e facilidade de reparo. Segundo a ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland (2022), o uso dessas peças pré-moldadas oferece vantagens competitivas em ambientes urbanos, especialmente em locais que demandam intervenções constantes em redes de infraestrutura subterrânea, visto que permite a reutilização dos blocos após a manutenção da via.

Porém, a gestão desses ativos no Brasil enfrenta um grande desafio de planejamento. Conforme observa Balbo (2007), a pavimentação urbana carece frequentemente de diretrizes de longo prazo, o que consolida uma “cultura de intervenção reativa” em detrimento da prevenção. Essa prática torna-se economicamente insustentável ao ignorar que o custo de restauração de uma via degradada é drasticamente superior ao de sua conservação preventiva. Tal fenômeno é tecnicamente corroborado por Meira e Padaratz (2002), que, ao realizarem uma análise comparativa entre os custos de recuperação e prevenção, demonstram a desproporcionalidade financeira de se postergar as intervenções preventivas que poderiam preservar a integridade das camadas inferiores.

Diante da escassez de recursos públicos, a metodologia de Análise do Custo de Ciclo de Vida (LCC) surge como uma ferramenta estratégica de engenharia econômica, encontrando fundamental respaldo jurídico na Nova Lei de Licitações e Contratos Administrativos (Lei nº 14.133/2021). Conforme aponta Teles (2024), o LCC permite ao gestor quantificar não apenas o investimento inicial, mas prever o comportamento dos custos de operação e manutenção ao longo da vida útil do ativo. Essa atualização legislativa consolida a transição do critério de "menor preço de aquisição" para o de "menor dispêndio para a Administração", estabelecendo que o julgamento das propostas deve considerar os custos indiretos e as despesas de manutenção ao longo de todo o ciclo de vida do objeto (Art. 34). Essa abordagem revela que a "economia" imediata resulta em gastos futuros exponenciais. Assim, o LCC atua como um mecanismo de suporte à decisão, garantindo que a escolha técnica seja pautada pela viabilidade financeira de longo prazo.

Nesse contexto, o problema central desta pesquisa se dá pela dificuldade de quantificar o retorno financeiro da manutenção preventiva em pavimentos intertravados de vias secundárias. O presente artigo propõe o desenvolvimento de uma análise financeira do impacto da manutenção preventiva no pavimento intertravado, fundamentada na comparação de cenários sob a ótica do LCC. Utilizando um horizonte de 20 anos e composições de custos baseadas no Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), o estudo busca demonstrar como a manutenção das juntas e limpezas frequentes impactam os cofres públicos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O pavimento intertravado de concreto, popularmente conhecido como paver, diferencia-se dos sistemas tradicionais por sua composição em peças pré-moldadas que, ao serem assentadas sobre um leito granular, dependem fundamentalmente do contato lateral para promover o intertravamento, garantindo assim a estabilidade estrutural e a distribuição de cargas (Gomes, 2024). Segundo as diretrizes da NBR 15953 (ABNT, 2011), a funcionalidade desse sistema não advém de agentes colantes, mas sim do preenchimento rigoroso das juntas com material de granulometria específica, o que permite a transferência de esforços entre as unidades.

Essa configuração confere ao pavimento uma flexibilidade inerente por meio de sua natureza segmentada. Conforme destaca a ABCP (2022), essa característica permite que o pavimento absorva deformações e acomodações do subleito que, em estruturas de pavimentos rígidos, resultariam em falhas catastróficas ou colapso estrutural. No caso de vias secundárias, o desempenho é assegurado pela NBR 9781 (ABNT, 2013), que fixa requisitos mínimos de resistência à compressão para que o material atenda às solicitações mecânicas do tráfego urbano leve e moderado.

O desempenho operacional desse pavimento fundamenta-se na cooperação mecânica entre as peças. A ABCP (2010) explica que o intertravamento ocorre em três planos distintos: vertical, rotacional e horizontal. Todavia, a eficácia dessa distribuição de tensões é estritamente dependente da integridade do material de rejuntamento. As juntas entre os blocos devem ter abertura média de 3mm (variando de 2,5 a 4mm) e estar totalmente preenchidas com areia de rejuntamento, material responsável por transferir as tensões entre os blocos vizinhos. Sobre essa importância, o manual técnico destaca:

A selagem das juntas (seu preenchimento com areia) é necessária para o bom funcionamento do pavimento. Por isso, é importante empregar o material adequado e executar a selagem o melhor possível [...]. Se as juntas estiverem mal seladas, os blocos de concreto ficarão soltos, o pavimento perderá intertravamento e se deteriorará rapidamente (ABCP, 2010).

Complementando essa análise, Silva (2016) identifica que a selagem deficiente não compromete apenas o travamento mecânico, mas atua como um vetor de vulnerabilidade hídrica. A infiltração de água no interior da estrutura reduz o atrito interno e a coesão das camadas granulares, culminando em recalques diferenciais que comprometem a serventia do pavimento. Sob essa ótica, a manutenção preventiva deve ser rigorosa, priorizando o preenchimento frequente das juntas e o controle de vegetação — cuja raiz desloca o material de selagem — para preservar a impermeabilidade e a estabilidade estrutural do sistema (ABCP, 2010).

Considerando que a integridade física do pavimento depende dessas intervenções frequentes, torna-se necessário quantificar o impacto financeiro de tais ações ao longo do tempo. Diante disso, a metodologia de Análise do Custo de Ciclo de Vida (LCC) apresenta-se como a ferramenta ideal, pois permite avaliar o custo total de um ativo desde a sua construção até o fim de sua vida útil. Diferente da análise tradicional, que foca apenas no preço de licitação, o LCC considera o "custo de propriedade",

integrando despesas de operação, manutenção e restauração (ABNT NBR ISO 15686-5).

Para a engenharia de pavimentos, o LCC é calculado através da soma do investimento inicial com os custos futuros descontados a valor presente, conforme a fórmula 1:

$$LCC = C_{inicial} + \sum_{t=1}^n \frac{C_{conservacao}}{(1+i)^t} - S \quad (1)$$

- Onde i representa a taxa de desconto e S o valor residual do material ao final do período.
- O fator de desconto $(1+i)^t$ é o mecanismo matemático que transforma o valor nominal futuro em valor descontado presente, removendo o efeito do tempo sobre o capital.

Segundo Basso (2021), essa abordagem, preferencialmente ainda na etapa de planejamento, permite aos tomadores de decisão avaliar custos diretos e indiretos garantindo níveis adequados de serventia e otimizando os recursos públicos sob orçamentos limitados. Além disso, ela argumenta que a manutenção regular mantém a trafegabilidade da via em níveis adequados, o que é fundamental para conter os custos operacionais dos usuários. Essa abordagem demonstra que investimentos em manutenção preventiva, embora exijam desembolsos imediatos, mitigam gastos expressivos com reconstruções corretivas ao final do período de projeto.

3. METODOLOGIA

A estrutura metodológica deste artigo foi dividida em cinco etapas fundamentais, que permitiram a transição da teoria para a análise financeira. Essas etapas estão descritas abaixo:

3.1. Revisão Bibliográfica

A etapa inicial consistiu em um levantamento bibliográfico sistemático, focado na mecânica dos pavimentos intertravados. Consultaram-se as diretrizes da ABCP e as normas técnicas da ABNT, especificamente a NBR 15953 (Pavimento intertravado com peças de concreto–Execução), a NBR 9781 (Peças de concreto para pavimentação–Especificação e métodos de ensaio) e a Instrução de Projeto IP-06/2004 (Dimensionamento de pavimentos em blocos intertravados de concreto) da SIURB/PMSP. Essa fundamentação permitiu compreender o papel crítico das juntas de areia na estabilidade do sistema, bem como as especificações normativas para a definição do pavimento tipo que fundamentou a análise. Adicionalmente, foram consultadas as métricas consolidadas da engenharia de custos para obras públicas, garantindo que os percentuais de BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) adotados na modelagem estivessem alinhados às práticas de mercado e às exigências de transparência orçamentária.

3.2. Investigação de Campo e Diagnóstico de Patologias

Para alinhar a teoria à realidade urbana, foram realizadas inspeções técnicas em vias secundárias pavimentadas com blocos de concreto intertravado no município de Recife-PE. O objetivo foi investigar o estado de conservação funcional e estrutural do pavimento, confrontando as manifestações patológicas observadas (Figura 1, Figura 2 e Figura 3) com as diretrizes de manutenção recomendadas para pavimentos intertravados, segundo o Manual de Pavimento Intertravado (ABCP, 2010).

Figura 1 – Afundamento e acúmulo de sedimentos nas juntas do pavimento



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 2 – Proliferação de vegetação nas juntas, comprometendo o intertravamento lateral



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

Figura 3 - Perda de material de rejuntamento



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

A partir da análise visual, as patologias foram devidamente identificadas e correlacionadas às suas respectivas ações de recuperação, conforme detalhado no Catálogo de Patologias constante no Apêndice A deste artigo. Essas manifestações foram convertidas em ações de manutenção para a análise de Custo de Ciclo de Vida (LCC), divididas em dois grupos de intervenção:

3.2.1. Manutenções Preventivas

Em conformidade com as boas práticas de conservação, identificou-se a necessidade periódica de limpeza e verificação das juntas. A análise financeira considerou custos para:

- a) Varrição e Limpeza: Adoção de limpeza manual com cerdas duras, vetando-se o uso de lavagem de alta pressão (compressores) que induzem a erosão precoce do material de rejunte.
- b) Rejuntamento: Conforme o Manual de Pavimento Intertravado da ABCP (2010), a perda de areia nas juntas superior a 1 cm de profundidade exige reposição imediata. Em campo, essa perda pode ter sido recorrente devido à pluviometria intensa local, validando a inclusão de uma taxa anual de reposição de areia no cálculo do LCC para garantir o intertravamento.
- c) Controle de Vegetação: Remoção de gramíneas e ervas daninhas nas juntas, cuja presença, embora não impeça o funcionamento imediato da via, demanda intervenção manual com ferramentas adequadas para evitar acúmulo de umidade e detritos.

3.2.2. Manutenções Corretivas

Foram diagnosticados trechos com ondulações e afundamentos, sintomas associados a falhas na compactação local, instabilidade do subleito ou tráfego superior ao previsto em projeto. Para estas manifestações a análise de custos previu a intervenção corretiva padrão: retirada dos blocos (aproveitando o potencial de reutilização das peças), correção da base granular e repavimentação com controle rigoroso das cotas de nível para consolidação posterior.

3.3. Dimensionamento do Pavimento Tipo

Conforme preconiza a ABNT, o dimensionamento estrutural do pavimento intertravado pressupõe a execução de um sistema em camadas, iniciado pelo preparo do subleito e seguido por uma base granular, essencial para o suporte de cargas. Sobre essa base, aplica-se a camada de areia de assentamento, que deve possuir espessura uniforme entre 3cm e 5cm após a compactação. Para vias sujeitas ao tráfego de veículos comerciais, a NBR 9781 exige peças de concreto com resistência característica à compressão (fck) igual ou superior a 35MPa, garantindo a durabilidade frente aos esforços repetitivos.

Com base nas diretrizes da Instrução de Projeto IP-06/2004 da SIURB/PMSP, realizou-se o dimensionamento técnico de uma seção transversal de referência para servir de base à análise. Adotou-se como premissa o quadro de classificação de vias, enquadrando o trecho como tráfego médio (via local e coletora), correspondente a um número de repetições de eixo padrão $N=5 \times 10^5$, conforme Quadro 1. Em consonância com essa classificação, aplicou-se o procedimento B (PCA - Portland Cement Association), seguindo a ordem de prioridade apresentada no Quadro 2, a fim de definir a espessura da camada de sub-base necessária, considerando o critério de solicitações de tráfego situadas na faixa de 10^5 a $1,5 \times 10^6$ repetições para o método em questão.

Quadro 1 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	$1,40 \times 10^5$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	5×10^7
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3×10^6 ⁽¹⁾	10^7
	VOLUME PESADO	12		> 500		5×10^7	5×10^7

Fonte: Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto (IP-06/2004).

Quadro 2 – Prioridade (p) de utilização dos procedimentos de dimensionamento

PROCEDIMENTO	TIPO DE TRÁFEGO			
	L	M	MP	P
A	1ª p	2ª p	1ª p	1ª p
B	2ª p	1ª p	1ª p	2ª p

Fonte: Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto (IP-06/2004).

Visto que o modelo de referência não se vincula a um local específico — inviabilizando a obtenção do Índice de Suporte Califórnia (CBR) real —, adotou-se como premissa o CBR de projeto de 8% para o subleito. Logo, diante dos dados de CBR e do número N para tráfego médio, a espessura de sub-base necessária recai no valor mínimo de 15cm, de acordo com o ábaco apresentado no Quadro 3. Para esta camada, definiu-se o uso de Brita Graduada Simples (BGS). A escolha deve-se à granulometria contínua e ao baixo índice de vazios deste material, características fundamentais para impedir a migração da areia de assentamento para o interior da base.

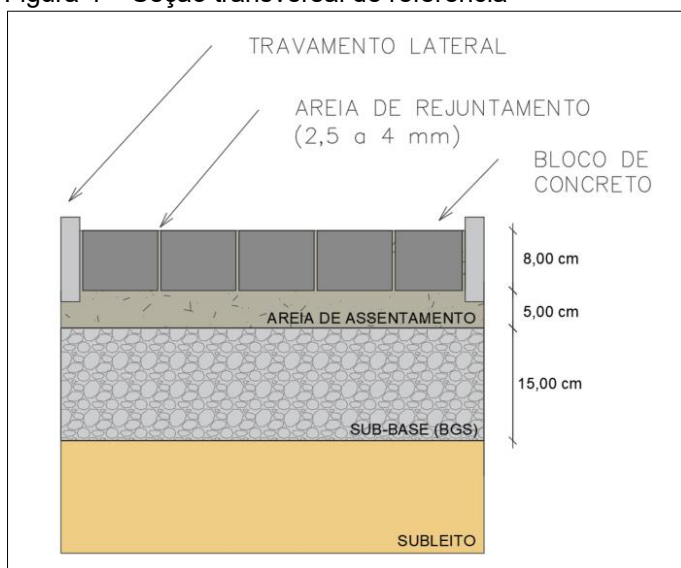
Quadro 3 – Espessura necessária de base puramente granular (HBG) - Procedimento B

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H _{BG})										
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
(10 ¹)	27	21	17								
2 x 10 ²	29	24	20	17							
4 x 10 ²	33	27	23	19	17						
8 x 10 ²	36	30	25	22	19						
(10 ³)	37	31	26	23	20						
2 x 10 ⁴	41	34	29	25	22	17					
4 x 10 ⁴	44	37	32	28	24	19					
8 x 10 ⁴	48	40	35	30	27	21	17				
(10 ⁵)	49	41	36	31	28	22	18				
2x10 ⁵	52	44	38	34	30	24	19				
4x10 ⁵	56	47	41	36	32	26	21				
8x10 ⁵	59	51	44	39	34	28	23				
(10 ⁶)	60	52	45	40	35	29	23	16			
2x10 ⁶	64	55	47	42	38	30	25	17			
4x10 ⁶	68	58	50	45	40	33	27	19			
8 x 10 ⁶	71	61	53	47	42	34	29	20			
(10 ⁷)	72	62	54	48	43	35	30	21			

Fonte: Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto (IP-06/2004).

Com isso, a configuração final dimensionada, com as respectivas espessuras de cada camada (blocos de concreto, assentamento e base granular) adequada para o tráfego de vias secundárias, seguindo as diretrizes da IP-06/2004, encontra-se apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Seção transversal de referência



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

3.4. Levantamento de Custos e Estruturação dos Dados

A análise quantitativa deste estudo fundamentou-se na extração de custos unitários do SINAPI, tendo como referência a tabela de encargos sociais desonerados de 2025 para o estado de Pernambuco. Essa fonte forneceu informações relativas a custos, quantidades de materiais, equipamentos e serviços, os quais foram fundamentais para a modelagem dos processos.

Para a obtenção dos custos finais de venda sobre os custos diretos, aplicou-se uma taxa de BDI de 25%. As composições unitárias selecionadas para a etapa de implantação e para as atividades de manutenção estão detalhadas no Quadro 4 e Quadro 5.

Quadro 4 – Composição de custos de referência para a implantação de 1.000 m² de pavimento intertravado

Item	Código SINAPI	Descrição do Serviço	Unidade	Coef. / Qtd.	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$)
1	IMPLANTAÇÃO					
1.1	100576	Regularização e compactação de subleito de solo predominantemente argiloso	m ²	1000	2,69	2690,00
1.2	96396	Execução e compactação de base e/ou sub-base de Brita Graduada Simples (BGS)	m ³	150	174,98	26247,00
1.3	92398	Execução de pavimento em piso intertravado, com bloco retangular de 20 x 10 cm, espessura 8 cm (inclui colchão de areia e rejunte)	m ²	1000	87,16	87160,00
1.4	94273	Assentamento de guia (meio-fio) em trecho reto, confeccionada em concreto pré-fabricado (100x15x13x30 cm)	m	200	51,62	10324,00
CUSTO DIRETO TOTAL (IMPLANTAÇÃO)						126421,00
BDI	25%	PREÇO GLOBAL (INVESTIMENTO INICIAL)				158026,25

Fonte: Elaborado pela autora com base no SINAPI/2025 (2026).

Quadro 5 – Custos unitários e coeficientes adotados para as atividades de manutenção preventiva e corretiva

Item	Código SINAPI	Descrição do Serviço	Unidade	Frequência	Coef. / Qtd.	Custo Direto SINAPI	Preço Unit. c/ BDI (25%)	Custo Total (R\$)
2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA								
2.1	Comp. Própria (CP-01)	Varrição manual com vassoura de cerdas duras	m ²	Trienal	1000	0,56	0,70	700,00
2.2	Comp. Própria (CP-02)	Reposição de areia de rejunte (e=1cm)	m ²	Trienal	1000	2,45	3,06	3062,50
2.3	98524	Limpeza manual de vegetação em terreno com enxada	m ²	Trienal	1000	4,14	5,18	5180,00
3 MANUTENÇÃO CORRETIVA								
3.1	97635	Demolição de pavimento intertravado, de forma manual, com reaproveitamento de blocos	m ²	Periódica (Fim de vida)	1000	17,81	22,26	22260,00
3.2	101864	Reassentamento de blocos retangulares (8 cm) com reaproveitamento (inclui nova areia)	m ²	Periódica (Fim de vida)	1000	36,85	46,06	46060,00
3.3	101835	Recomposição de base de BGS para remendo profundo (inclui retirada e colocação)	m ³	Periódica (Fim de vida)	150	282,66	353,33	52999,50

Fonte: Elaborado pela autora com base no SINAPI/2025 (2026).

Ressalta-se que, embora a base referencial do SINAPI tenha fornecido a maioria dos insumos, as especificidades técnicas da manutenção de pavimentos intertravados — como a varrição manual e a necessidade de rejuntamento — demandaram a criação de Composições Próprias (CP). Tais adaptações, cujas memórias de cálculo são detalhadas no Quadro 6, estão apresentadas a seguir:

- a) Composição Própria 01 (CP-01) - Varrição Manual: Diferentemente da limpeza de pavimentos rígidos ou asfálticos, o pavimento intertravado possui restrições severas quanto ao uso de equipamentos de lavagem por hidrojateamento (alta pressão), como mencionado anteriormente. Desta forma, a composição de custo foi calculada considerando exclusivamente a mão de obra de servente (SINAPI 88316) operando com vassouras de cerdas duras. O coeficiente de produtividade adotado (0,025h/m²) reflete o esforço adicional necessário para a remoção de detritos em superfície rugosa sem a utilização de água, garantindo a preservação das juntas.
- b) Composição Própria 02 (CP-02) - Rejuntamento: Não havendo no SINAPI um serviço específico para "re-rejuntamento", elaborou-se uma composição baseada no consumo de material necessário para atender aos critérios de inspeção visual. Adotou-se a premissa técnica de que a perda da areia de rejunte (pó de pedra) superior a 1,0cm de profundidade exige reposição imediata para evitar o deslocamento das peças e a infiltração de água na base. O consumo de pó de pedra foi calculado geometricamente para o preenchimento desse volume (1,0m² x 0,01m), acrescido de um fator de perda de 10%, resultando em um coeficiente de consumo de 0,011m³/m². A mão de obra considerou o espalhamento manual, a varrição para preenchimento dos interstícios e a remoção do excesso.

Quadro 6 – Memória de cálculo das composições de custo próprias (CP) adaptadas para varrição e rejuntamento

Código	Descrição do Insumo / Serviço	Unid.	Coefficiente (Consumo)	Custo Unit. (R\$)	Custo Total (R\$)
CP-01	Varrição manual com vassoura de cerdas duras	m ²			0,56
88316	Servente com Encargos Complementares	h	0,025	22,26	0,56
CP-02	Reposição de areia de rejunte (e=1cm)	m ²			2,45
00004741	Pó de pedra	m ³	0,011	95,03	1,05
88316	Servente com Encargos Complementares	h	0,06	22,26	1,34
-	Material de Consumo (Vassoura/Pá)	%	0,07	-	0,07

Fonte: Elaborado pela autora com base no SINAPI/2025 (2026).

3.5. Análise do Custo de Ciclo de Vida (LCC)

A fase final compreendeu a construção de uma análise financeira baseada no Custo de Ciclo de Vida (LCC). A estruturação partiu da criação de dois cenários hipotéticos aplicados a uma seção padrão de via secundária de 1.000 m² e camadas de pavimento previamente dimensionadas para a simulação dos custos ao longo do ciclo de vida:

- **Cenário A (Estratégia de Preservação):** Estabeleceram-se intervenções trienais de limpeza e reposição de rejunte, impedindo o surgimento de patologias estruturais e preservar o intertravamento. A adoção de intervenções trienais fundamenta-se pela alta pluviosidade da cidade associada ao tráfego, o que acelera a erosão das juntas, tornando o ciclo de 3 anos o intervalo ideal dentro da periodicidade de 3 a 5 anos recomendada pelos manuais técnicos da ABCP (2010) para a manutenção preventiva. Este prazo garante a reposição da parcela erodida antes que se atinja o limite crítico de 1 cm, evitando que o sistema perca o intertravamento lateral e comprometa a integridade das camadas de base.
- **Cenário B (Estratégia de Reação):** Simulou-se a ausência total de manutenção até o 12^o ano, ponto que representa o limite médio da vida útil de serviço para pavimentos secundários quando há negligência total das juntas. É fundamental contrastar que, embora pavimentos intertravados de concreto possam potencial para durar de 20 a 30 anos quando submetidos a manutenções recorrentes, a falta de rejunte rompe o intertravamento lateral precocemente. Sem essa proteção, a infiltração hídrica e os esforços de tráfego desestabilizam a base granular, forçando uma reabilitação profunda já no 12^o ano para restaurar a trafegabilidade.

O processamento financeiro seguiu o modelo de Fluxo de Caixa Descontado, no qual os gastos previstos ao longo do horizonte de 20 anos foram trazidos ao valor presente por meio da fórmula (2) simplificada do LCC, estabelecida para a engenharia de pavimentos:

$$LCC = C_{inicial} + \sum_{t=1}^n \frac{C_{conservacao}}{(1+i)^t} \quad (2)$$

A opção pela utilização desta fórmula, em detrimento da versão expandida do Custo de Ciclo de Vida (LCC), justificou-se por adotar uma postura conservadora ao considerar o valor residual dos materiais S como nulo ao final dos 20 anos, para conferir maior clareza à memória de cálculo e foco na comparação das intervenções de manutenção.

Adotou-se uma taxa de desconto anual de 6%, valor condizente com as taxas de juros reais para investimentos em infraestrutura pública de longo prazo.

Ressalta-se que a presente modelagem se restringiu aos custos diretos da agência (implantação e manutenção). Embora a literatura de gerência de pavimentos recomende a inclusão dos custos dos usuários — como o aumento do consumo de combustível e danos mecânicos aos veículos decorrentes da irregularidade da via — tais variáveis não foram objeto de análise quantitativa nesta pesquisa. Essa delimitação justifica-se pela complexidade de mensuração desses dados e pelo foco no suporte à decisão voltado exclusivamente à eficiência do orçamento público municipal.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

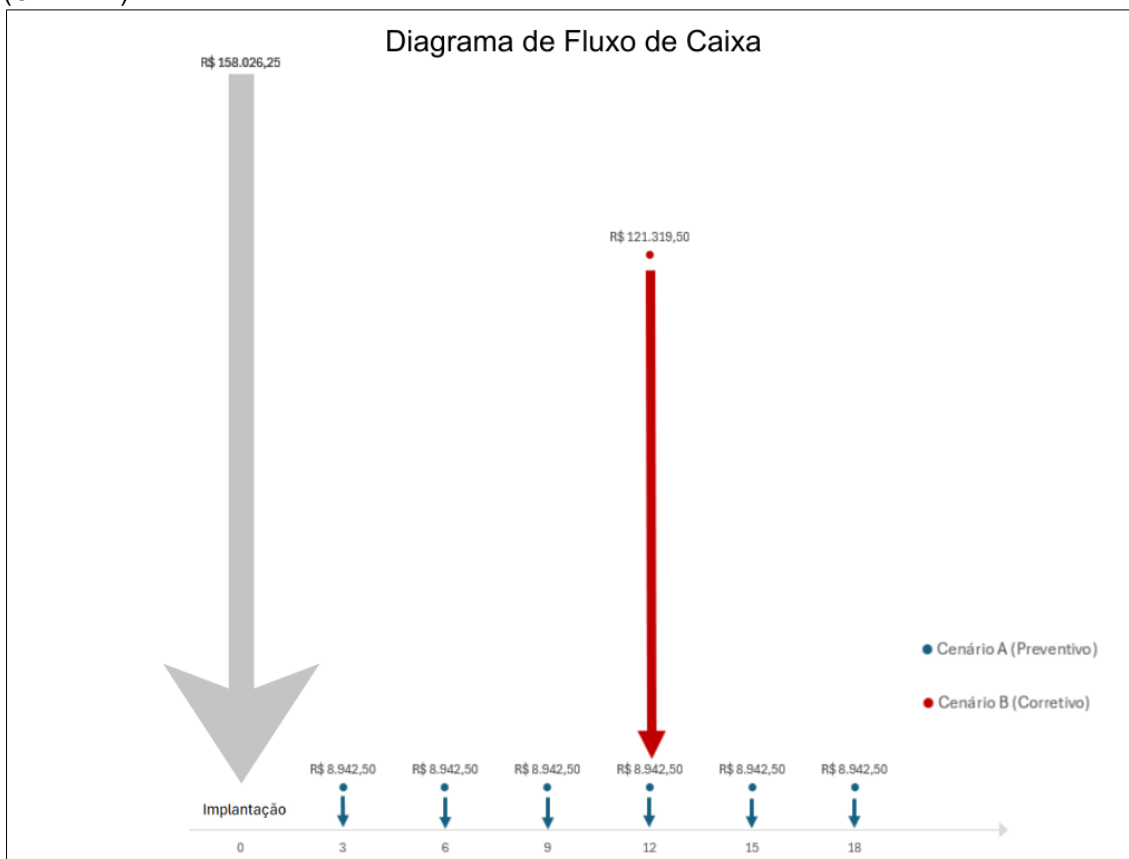
A análise baseou-se na projeção dos fluxos de caixa descontados, aplicando-se a taxa de 6% ao ano, permitindo a análise comparativa entre a preservação contínua e a recuperação corretiva para uma seção de 1.000m², com 200m de comprimento e 5m de largura.

4.1. Diagrama de Fluxo de Caixa

O desenvolvimento da análise iniciou-se com a consolidação dos custos de implantação, que serviram como o ponto de partida para ambos os cenários. Com base nos dados do SINAPI (12/2025) e na aplicação do BDI de 25%, o investimento inicial totalizou R\$ 158.026,25. Este valor contemplou a regularização do subleito, a execução da base em Brita Graduada Simples (BGS) e o assentamento do piso intertravado de 8 cm.

Após a definição do custo inicial, projetaram-se as saídas de recursos ao longo de 20 anos. O comportamento financeiro de cada estratégia pode ser visualizado por meio do diagrama de fluxo de caixa apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Diagrama de Fluxo de Caixa – Comparativo entre cenário A (Preventivo) e cenário B (Corretivo)



Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.2. Modelagem do Custo de Ciclo de Vida (LCC)

No cenário A, o fluxo caracterizou-se por desembolsos periódicos trienais de R\$ 8.942,50, mantendo uma previsibilidade orçamentária. Em contrapartida, o cenário B apresentou uma ausência de desembolsos operacionais no período inicial, resultando em um pico de gasto de R\$ 121.319,50 no 12º ano.

Para comparar as estratégias de manutenção, aplicou-se a metodologia do Custo de Ciclo de Vida (LCC). Diferente de uma análise de custo simples, o LCC permitiu trazer todos os gastos futuros de conservação para o valor presente, utilizando a formulação matemática (2), apresentada anteriormente na seção 3.5.

Os componentes do cálculo foram definidos da seguinte forma:

- C (inicial): Correspondeu ao investimento inicial de R\$ 158.026,25.
- C (conservação): Correspondeu aos gastos trienais de R\$ 8.942,50 (cenário A) ou à reabilitação profunda de R\$ 121.319,50 (cenário B).
- Taxa de Desconto (i): Adotou-se 6% ao ano, ajustando o valor do dinheiro no tempo.
- t (período): Representa o momento exato do desembolso, variando de 0 a 18 anos conforme o ciclo de intervenção.

O Quadro 7 apresenta a memória de cálculo que fundamentou a comparação entre o cenário A e o cenário B.

Quadro 7 – Memória de cálculo do fluxo de caixa resultante da modelagem

Descrição do Evento	Ano (t)	Cenário A (Preventivo)		Cenário B (Corretivo)	
		Custo de Conservação	Valor Descontado $\frac{C_{conservacao}}{(1+i)^t}$	Custo de Conservação	Valor Descontado $\frac{C_{conservacao}}{(1+i)^t}$
Implantação (Investimento Inicial)	0	R\$ 158.026,25		R\$ 158.026,25	
Manutenção Preventiva (Ciclo 1)	3	R\$ 8.942,50	R\$ 7.508,30	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Manutenção Preventiva (Ciclo 2)	6	R\$ 8.942,50	R\$ 6.304,11	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Manutenção Preventiva (Ciclo 3)	9	R\$ 8.942,50	R\$ 5.293,05	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Manutenção Preventiva/Corretiva (Ciclo 4)	12	R\$ 8.942,50	R\$ 4.444,15	R\$ 121.319,50	R\$ 60.292,07
Manutenção Preventiva (Ciclo 5)	15	R\$ 8.942,50	R\$ 3.731,39	R\$ 0,00	R\$ 0,00
Manutenção Preventiva (Ciclo 6)	18	R\$ 8.942,50	R\$ 3.132,95	R\$ 0,00	R\$ 0,00
LCC Final (Valor Presente)	20		R\$ 188.440,20		R\$ 218.318,32

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

4.3. Análise de Sensibilidade

Para verificar a robustez da decisão financeira diante de incertezas econômicas, realizou-se uma análise de sensibilidade variando a taxa de desconto (i) entre 4% e 10%. Esta etapa foi fundamental para identificar o "ponto de inversão", ou seja, a taxa na qual a estratégia reativa (Cenário B) se tornaria financeiramente mais vantajosa à preventiva (Cenário A).

Os resultados demonstram que, mesmo no cenário mais pessimista de custo de capital ($i = 10\%$), o Cenário B permanece com um Valor Presente Líquido significativamente superior ao Cenário A, como é possível observar no Quadro 8. Isso ocorre porque o custo da reabilitação estrutural e da base granular no 12º ano é tão elevado que o efeito do desconto temporal não é suficiente para torná-lo preferível ao fluxo de pequenas manutenções trienais. Dessa forma, a decisão não se mostra sensível a variações macroeconômicas, conferindo segurança técnica ao gestor público para a adoção da política preventiva.

Quadro 8 - Análise de sensibilidade do Valor Presente Líquido (VPL) em função da variação da taxa de desconto (*i*)

Taxa de Desconto (<i>i</i>)	Valor Descontado (Cenário A)	Valor Descontado (Cenário B)	Diferença (B-A)	Melhor Escolha
4%	R\$ 194.291,55	R\$ 233.802,05	R\$ 39.510,50	Preventiva
5%	R\$ 191.185,37	R\$ 225.581,49	R\$ 34.396,12	Preventiva
6%	R\$ 188.440,20	R\$ 218.318,32	R\$ 29.878,13	Preventiva
7%	R\$ 186.006,40	R\$ 211.893,56	R\$ 25.887,16	Preventiva
8%	R\$ 183.841,95	R\$ 206.203,89	R\$ 22.361,94	Preventiva
9%	R\$ 181.911,18	R\$ 201.159,55	R\$ 19.248,37	Preventiva
10%	R\$ 180.183,69	R\$ 196.682,38	R\$ 16.498,69	Preventiva

Fonte: Elaborado pela autora (2026).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A consolidação matemática, fundamentada na aplicação da fórmula do LCC, revelou que a estratégia de reação (cenário B) apresenta um custo total de R\$ 218.318,32, tornando-a aproximadamente 15,86% mais onerosa do que a estratégia de preservação contínua (cenário A), que totalizou R\$ 188.440,20. Essa diferença confirma que o diferimento das intervenções de conservação resulta em um passivo financeiro desproporcional para a administração pública.

Do ponto de vista técnico, o estudo comprovou que intervenções de baixo custo e alta frequência são os pilares da estabilidade do pavimento intertravado. A manutenção da integridade das juntas impede a evolução de patologias hídricas e estruturais que, no cenário reativo, exigiriam a reabilitação da base e da camada de rolamento no 12º ano, com um custo descontado de R\$ 60.292,07.

Em última análise, a adoção do LCC como ferramenta de suporte à decisão garantiu que a escolha técnica fosse pautada pela sustentabilidade financeira de longo prazo. Conclui-se então que a manutenção preventiva em pavimentos intertravados não representa um gasto operacional evitável, mas sim um investimento estratégico indispensável para otimizar os recursos públicos, mitigar falhas de planejamento e assegurar a serventia das vias urbanas secundárias ao longo de todo o seu ciclo de vida.

6. REFERÊNCIAS

ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. São Paulo: ABCP, 2010.

ABCP, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Sistema de piso com peças de concreto: pavimento intertravado: manual de desempenho**. São Paulo: ABCP, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 15686-5**: Edifícios e ativos construídos — Planejamento da vida útil – Parte 5: Avaliação do custo do ciclo de vida. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953**: Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BASSO, Luana Caroline Girardi. **Aplicação de algoritmos genéticos na otimização de estratégias de manutenção e reabilitação de pavimentos flexíveis**. 2021. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2021. Disponível em: <https://repositorio.upf.br/server/api/core/bitstreams/c843c990-7d9f-4e80-bd1c-cd1b1618d78d/content>. Acesso em: 14 out. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021**. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2021.

GOMES, Roney da Silva. **Durabilidade e eficiência na pavimentação de vias públicas com blocos intertravados de concreto: estudo de caso na praça Eloy Coelho e suas principais vias de acesso na cidade de Balsas-Ma, 2024**. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/handle/123456789/7634>. Acesso em: 05 jan. 2026.

MEIRA, G. R. e PADARATZ, I. J. **Custos de recuperação e prevenção em estruturas de concreto armado: uma análise comparativa**, 2002. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/5243/9/MONOGRRAFIA_An%c3%a1liseT%c3%a1tilVisual.pdf. Acesso em: 22 nov. 2025.

SÃO PAULO (CIDADE). Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras. **IP-06: Dimensionamento de pavimentos em blocos intertravados de concreto**. São Paulo: SMSO, 2004.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de técnicas de pavimentação**. Volume 1. 2º ed. São Paulo: PINI, 2007.

SILVA, Eric R. da. **Análise do Comportamento Estrutural e Funcional de um Pavimento com Blocos Pré-moldados de Concreto**. Dissertação (mestrado) versão corrigida. Escola Politécnica, USP, Departamento de Engenharia e Transportes. São Paulo, 2016. 234p. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-18012017-154950/publico/EricRibeirodaSilvaCorr16.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2025.

TELES, A. A. **Método para avaliação do ciclo de vida de serviços de infraestrutura de transportes a partir de dados do SICRO: análise comparativa entre pavimentos asfáltico e de concreto com monetização das emissões de carbono**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-xxx/xx, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2024. 111p. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/52270/1/2024_AliceAmorimTeles_DISSERT.pdf. Acesso em: 05 jan. 2026.

7. APÊNDICE A - CATÁLOGO DE PATOLOGIAS E AÇÕES DE INTERVENÇÃO

Patologia Diagnosticada	Causa Provável	Ações de Manutenção	Tipo de Intervenção
Perda de Material de Rejuntamento	Ação das chuvas (pluviometria intensa local)	Reposição da areia de rejuntamento	Preventiva
Acúmulo de Detritos e Sedimentos	Falta de limpeza regular e tráfego urbano	Varição manual com cerdas duras para preservar as juntas	Preventiva
Proliferação de Vegetação	Acúmulo de umidade e terra fina nas juntas desprotegidas	Remoção manual de vegetação e reposição da areia de rejuntamento	Preventiva
Afundamentos e Ondulações	Instabilidade do subleito ou falhas na compactação da base	Retirada de blocos, correção da base e reassentamento	Corretiva