

MEMORIAL DE CÁLCULO E JUSTIFICATIVA TÉCNICA

Objeto: Composição de Preço Unitário para Umedecimento de Pavimento (Serviço acessório à Compactação e controle de poeira).

Unidade de Medida: Hora de Mobilização (h) ou metro quadrado (m²).

1. Objetivo

O presente memorial tem por objetivo demonstrar a metodologia e os cálculos empregados na formulação do Custo Horário para o serviço de umedecimento de vias não pavimentadas, utilizando caminhão pipa. O serviço atua como etapa preparatória e acessória à compactação do solo, visando atingir a umidade ótima do material, visando tornar a compactação mais eficiente. A composição foi estruturada por hora de mobilização para compor a Ata de Registro de Preços (ARP), combinando bases de custos oficiais (SINAPI) e referenciais técnicos de produtividade (SICRO/DNIT).

2. Premissas e Bases de Referência

Para a formatação técnica, adotaram-se as diretrizes do Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes (SICRO), especificamente os parâmetros atrelados ao serviço de "Umedecimento de Caminhos de Serviço", item 2.5 do manual.

- **Capacidade do Tanque de Água (C):** 10.000 L
- **Taxa de Consumo de Água Estimada (c):** 3,0 L/m²
- **Fator de Eficiência (Fe) do Equipamento:** 0,83
- **Tempo Total de Ciclo (T):** 55,15 minutos

3. Metodologia de Cálculo de Produtividade

Para determinar a produção horária do caminhão tanque e o respectivo volume de água gasto, aplicou-se a fórmula paramétrica do SICRO estruturada para processamento linear:

$$P = (60 \times C \times Fe) / (c \times T)$$

Onde:

- **P** = Produção do equipamento em área (m²/h)
- **C** = Capacidade do tanque (10.000 L)
- **Fe** = Fator de Eficiência (0,83)
- **c** = Consumo de água (3,0 L/m²)
- **T** = Tempo de ciclo (55,15 min)

Substituindo os valores, obtém-se a área umedecida por hora:

$$P = (60 \times 10.000 \times 0,83) / (3,0 \times 55,15)$$

- **Produção do Caminhão (P):** 3.009,89 m²/h

A partir dessa área, determina-se o volume de água (insumo) consumido em 1 hora de serviço, convertendo litros para metros cúbicos (unidade padrão do SINAPI):

- **Volume Horário** = $3.009,89 \text{ m}^2/\text{h} \times 3,0 \text{ L}/\text{m}^2 = 9.029,67 \text{ L}/\text{h}$
- **Consumo Adotado na Composição:** $9,03 \text{ m}^3/\text{h}$

4. Estruturação da Composição de Preço Unitário (Hora)

O Custo Horário do equipamento foi rateado em Custo Horário Produtivo (CHP) e Custo Horário Improdutivo (CHI), utilizando o Fator de Eficiência (0,83) estipulado pelo SICRO. Desta forma, a cada 1 hora de mobilização na frente de serviço, o equipamento opera efetivamente 83% do tempo, restando 17% como tempo improdutivo (manobras, aguardos e carregamento).

A tabela abaixo consolida os códigos de referência, coeficientes calculados e os preços unitários balizados pelo SINAPI:

Código	Tipo	Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço Unit. (R\$)	Custo Total (R\$)
5901	Equipamento	CAMINHÃO PIPA 10.000L - CHP	h	0,8300	357,41	296,65
5903	Equipamento	CAMINHÃO PIPA 10.000L - CHI	h	0,1700	78,85	13,40
101008	Insumo	Carga de água	m³	9,0300	10,43	94,18
		Custo Direto Total (1 Hora)	R\$/h			404,24

5. Verificação de Viabilidade e Aderência ao Mercado (Benchmarking)

Para atestar a razoabilidade do valor horário e blindar o orçamento contra sobrepreços, realizou-se a conversão do custo por hora para o custo por metro quadrado (m²) efetivamente executado.

- **Custo Direto por Metro Quadrado:**

$$\text{Valor da Hora (R\$ 404,24)} / \text{Produção Horária (3.009,89 m}^2\text{)} = \text{R\$ 0,134 / m}^2$$

- **Projeção de Preço Final (Com BDI calculado no item 6):**

$$\text{R\$ 0,134 / m}^2 \times 1,2145 = \text{R\$ 0,162743/ m}^2$$

- **Simulação de Desempenho (Trecho Padrão):**

Considerando uma via não pavimentada com 6,5 m de largura média, 1 km de extensão representa uma área de 6.500 m². O custo direto para umedecer 1 km dessa via será de R\$ 871,00, consumindo aproximadamente 2,16 horas de mobilização do equipamento.

Conclusão da Verificação:

A conversão comprova que a estruturação em horas está matematicamente correta e condizente com a realidade de mercado, visto que foram utilizados índices calculados pelo DENIT e custos SINAPI.

6. Composição do BDI (Benefícios e Despesas Indiretas)

Para a definição do preço final de referência desta Ata de Registro de Preços, aplicou-se a taxa de BDI fundamentada nos parâmetros estabelecidos pelo Tribunal de Contas da União (TCU), por meio do Acórdão nº 2.622/2013 - Plenário, adotando-se a tipologia de obras de "Construção de Rodovias e Ferrovias".

6.1. Parâmetros Adotados Os percentuais que compõem o BDI foram fixados dentro dos limites estipulados pela jurisprudência do TCU, refletindo a realidade operacional e a tributação municipal:

- **AC (Administração Central):** 4,00%
- **S (Seguros e Garantias):** 0,40%
- **R (Riscos):** 0,56%
- **DF (Despesas Financeiras):** 1,11%
- **L (Lucro / Remuneração):** 7,40%
- **I (Tributos):** 6,15%
 - PIS: 0,65%
 - COFINS: 3,00%
 - ISS: 2,50%

6.2. Memória de Cálculo do BDI A fórmula padronizada pelo TCU para o cálculo do BDI é:

$$\text{BDI} = \{ [(1 + (\text{AC} + \text{S} + \text{R}) / 100) \times (1 + \text{DF} / 100) \times (1 + \text{L} / 100)] / [1 - (\text{I} / 100)] \} - 1$$

Substituindo os valores adotados:

- Termo 1 (Despesas Indiretas): $1 + (4,00 + 0,40 + 0,56) / 100 = 1,0496$
- Termo 2 (Despesa Financeira): $1 + (1,11 / 100) = 1,0111$
- Termo 3 (Lucro): $1 + (7,40 / 100) = 1,0740$
- Termo 4 (Tributos): $1 - (6,15 / 100) = 0,9385$

Aplicando na fórmula: **BDI = { [1,0496 x 1,0111 x 1,0740] / 0,9385 } - 1** BDI = { 1,1398 / 0,9385 } - 1 BDI = 1,2145 - 1

- **Taxa de BDI Calculada:** 21,45%

Justificativa técnica: O valor de 21,45% encontra-se perfeitamente enquadrado dentro do intervalo aceitável pelo TCU para obras rodoviárias (19,60% a 24,23%), garantindo a exequibilidade do contrato e a economicidade para a administração pública.

6.3. Preço Final da Composição

Aplicando-se a taxa de BDI sobre o custo direto operacional levantado no item 4 deste memorial, consolida-se o valor máximo aceitável para a licitação:

- **Custo Direto Horário:** R\$ 404,24
- **BDI (21,45%):** R\$ 86,71
- **Preço Final (Hora de Mobilização c/ BDI):** 490,95 R\$/h
- **Preço final (m² executado C/ BDI):** 0,16 R\$/m²

Desta forma, o valor de referência sugerido para a presente Ata de Registro de Preços, contemplando todos os insumos (água), custos de equipamento, mão de obra, tributos incidentes e margem regulamentar, é de **R\$ 490,95 por hora** ou **R\$ 0,16 por metro quadrado executado**.

***Obs.:** No caso de medição por metro quadrado o caminhão deverá executar o serviço até a unidade ótima a ser alcançada, pois a quantidade de água a ser irrigada sob o pavimento pode sofrer variações em decorrência de fatores ambientais (Ex.: evaporação em dias quentes podem necessitar de mais aplicações), desta forma o valor pago por m² refere-se a área de pavimento que atingindo a unidade ótima determinada, independente de quantas passadas de caminhão forem necessária, evitando duplicidade de pagamentos na execução do serviço.

7. Análise Comparativa de Custos Horários: Caminhão Pipa vs. Rolo Compactador

À primeira vista, a comparação direta entre o custo horário do serviço de umedecimento com caminhão pipa (R\$ 404,24) e o custo horário orçado para o rolo compactador (R\$ 275,15) pode sugerir uma aparente desproporcionalidade. No entanto, visando resguardar a transparência e a correta interpretação dos custos na administração pública, faz-se imperativo esclarecer que a análise isolada da métrica "hora-máquina" não reflete o custo efetivo de execução do serviço na via.

Obs. 1; análise feita para fins demonstrativos, sem BDI, entretanto como é um fator multiplicador linear, pode-se utilizar essa mesma análise e multiplicar pelo BDI ao final, mantendo a proporção calculada entre serviço de umedecimento e serviço de rolo compactado.

Obs. 2: o custo horário do rolo compactador foi obtido através de pesquisa de preço local e via sistema (PNCP, LICITACON, etc.) feita pela administração da SEOB.

A coerência técnica entre esses valores é comprovada pela dinâmica operacional de cada equipamento, que se difere em dois pilares fundamentais:

- **Inclusão de Insumo Direto:** O custo de R\$ 404,24 do caminhão pipa não representa apenas a locação do equipamento e seu operador, mas embute o fornecimento contínuo do material a ser aplicado. Da composição horária total, a quantia de R\$ 94,18 é destinada exclusivamente ao custeio da carga de água. O rolo compactador, por sua vez, atua apenas com o custo de posse e operação (equipamento, operador e combustível), não consumindo materiais da obra.
- **Produtividade Geométrica e Tempos de Execução:** A velocidade de liberação de frentes de serviço é drasticamente diferente. O caminhão pipa opera de forma contínua em passada única, enquanto o rolo compactador atua em baixíssima

velocidade e exige múltiplas passadas sobre o mesmo ponto (transpasses) para atingir o grau de compactação exigido normativamente.

7.1. Demonstração de Cálculo e Desempenho (Simulação)

Para fins de comprovação matemática e visualização do impacto financeiro real, simula-se abaixo a execução de um trecho viário padrão de 1 km de extensão com 6,5 m de largura média, totalizando uma área de serviço de 6.500 m².

A) Execução do Umedecimento (Caminhão Pipa)

- **Produção horária parametrizada:** 3.009,89 m²/h
- **Tempo de mobilização necessário:** 6.500 m² / 3.009,89 m²/h = **2,16 horas**
- **Custo direto total no trecho:** 2,16 h x R\$ 404,24/h = **R\$ 873,15**
- **Custo Efetivo de Execução:** R\$ 873,15 / 6.500 m² = **R\$ 0,13 / m²**

B) Execução da Compactação (Rolo Compactador) Adotando-se a produtividade média referencial do SICRO para rolos vibratórios (considerando velocidade operacional restrita e exigência média de 6 passadas), estipula-se a produção em aproximadamente 800 m²/h.

- **Produção horária média estimada:** 800 m²/h
- **Tempo de mobilização necessário:** 6.500 m² / 800 m²/h = **8,12 horas**
- **Custo direto total no trecho:** 8,12 h x R\$ 275,15/h = **R\$ 2.234,21**
- **Custo Efetivo de Execução:** R\$ 2.234,21 / 6.500 m² = **R\$ 0,34 / m²**

Conclusão da Análise: Fica matematicamente demonstrado que, embora a hora-máquina do caminhão pipa possua um valor nominal primário superior (em virtude da incorporação dos custos do insumo água à sua operação), a sua alta produtividade geométrica assegura que sua incidência real no orçamento represente a menor parcela financeira do serviço (aproximadamente 28%). O peso principal do custo do trecho (cerca de 72%) recai de forma correta e previsível sobre o rolo compactador, em razão de seu maior tempo de permanência mobilizado na frente de obra. Deste modo, a proporção dos valores horários atesta total exequibilidade, coerência técnica e aderência às melhores práticas de orçamentação pública.

8. Projeção estimativa de quantitativo de horas ou metros quadrados para o serviço de umedecimento de pavimento

Para a correta estipulação das quantidades a serem licitadas, o dimensionamento das horas de mobilização do caminhão pipa foi elaborado de forma técnica e proporcional à produtividade do rolo compactador, evitando superdimensionamento da Ata de Registro de Preços e resguardando o princípio da economicidade para a administração pública.

A composição do quantitativo de **1.000 horas** baseia-se nos seguintes eixos operacionais e administrativos:

8.1. Demanda Vinculada à Compactação (Serviço Acessório) Considerando que o planejamento da Secretaria prevê 3.000 horas para o serviço principal de máquina rolo compactador, calculou-se a área total projetada para intervenção ao longo da vigência da ata, utilizando as produtividades referenciais do SICRO já demonstradas em memorial de cálculo:

- **Área Total de Compactação Projetada:** $3.000 \text{ h} \times 800 \text{ m}^2/\text{h} = 2.400.000 \text{ m}^2$.
- **Horas de Umedecimento Necessárias (Serviço Acessório):** Para assegurar a umidade ótima de compactação em toda essa extensão, a necessidade estrita do caminhão pipa é de $2.400.000 \text{ m}^2 / 3.009,89 \text{ m}^2/\text{h} = 797,37 \text{ horas}$ (arredondado para 800 horas).

8.2. Demanda para Operações de Conservação Viária (Controle de Poeira) Adicionalmente à operação conjunta com o rolo compactador, faz-se necessário prever um saldo para o uso do caminhão pipa em ações autônomas de conservação viária. Sendo assim, aplicou-se um acréscimo de 25% (200 horas) sobre a necessidade base. Este montante é destinado exclusivamente a operações preventivas "anti-poeira", consistindo no umedecimento de vias não pavimentadas em trechos urbanos e rurais durante períodos de estiagem. O objetivo é mitigar a suspensão de material particulado, garantindo a segurança do tráfego e a saúde da população lindeira.

8.3. Capacidade Total de Cobertura (Metragem Quadrada Projetada) A partir do quantitativo global estipulado (1.000 horas), projeta-se a área total máxima de vias que poderá ser atendida pelo serviço durante a vigência da Ata de Registro de Preços:

- **Fórmula:** Área Total = Quantidade de Horas x Produção Horária
- **Cálculo:** $1.000 \text{ h} \times 3.009,89 \text{ m}^2/\text{h} = 3.009.890 \text{ m}^2$ Deste montante, $2.400.000 \text{ m}^2$ suprem a demanda acessória do rolo compactador, enquanto o saldo de 609.890 m^2 garante à administração a margem técnica necessária para o controle de poeira e intempéries.

8.4. Justificativa da Unidade de Medida e Critério de Fiscalização A definição da unidade de medida final a ser adotada no edital — seja por "Hora de Mobilização" (h) ou por área efetivamente executada (m^2) — fica a critério exclusivo da administração pública, visando adotar a sistemática que melhor se adeque à capacidade e à conveniência da fiscalização contratual. Caso a opção seja pelo controle em **horas**, a medição poderá ser aferida de forma ágil via horímetro do equipamento ou relatórios de GPS. Por outro lado, caso a administração opte pela medição por **área (m^2)** (utilizando a conversão de custo de R\$ 0,16/ m^2 demonstrada neste memorial), assegura-se o pagamento estrito pelo produto entregue, mediante aferições topográficas ou em campo. Ambas as metodologias se encontram plenamente fundamentadas e amparadas por este estudo técnico.

8.5. Conclusão do Planejamento Orçamentário A soma das demandas operacionais consolida o referencial de 1.000 horas de serviço. Com este dimensionamento devidamente justificado, a estimativa de custos global reflete fielmente a realidade executiva: o serviço acessório de umedecimento representará um impacto orçamentário significativamente menor do que o serviço principal de compactação, atestando a razoabilidade técnica e a responsabilidade fiscal no planejamento da contratação.

Eng. Civil Guilherme Oliveira da Silveira

CREA-RS 265736