RELATÓRIO TÉCNICO DE DIMENSIONAMENTO E MEMÓRIA DE CÁLCULO
ENSAIO DE DEFLEXÃO COM VIGA BENKELMAN

Objeto	Avaliação deflectométrica de pavimento por meio de Viga Benkelman
Locais avaliados	Avenida Cesário Castilho e Avenida Major Barbosa Ferraz Jr.
Município	Andirá/PR
Finalidade	Apresentar o dimensionamento dos resultados, a memória de cálculo e o relatório fotográfico do ensaio.
Data do ensaio	18/06/2026

1. Finalidade

Apresentar o dimensionamento técnico dos resultados do ensaio de deflexão com Viga Benkelman, com a respectiva memória de cálculo, tabelas de resultados e relatório fotográfico, para avaliação da condição estrutural dos pavimentos existentes nas Avenidas Cesário Castilho e Major Barbosa Ferraz Jr., no Município de Andirá/PR.

2. Metodologia e fórmula de cálculo

Foram avaliadas leituras em três posições da pista: lado direito, eixo da pista e lado esquerdo. Para cada posição foi registrada a leitura inicial e a leitura final. O fator de correção adotado foi K = 2,0, conforme planilhas de campo. A deflexão recuperável foi calculada pela diferença entre a leitura inicial e a leitura final, multiplicada pelo fator K, com os resultados expressos em 10^{-2} mm.

Parâmetro	Expressão
Deflexão individual	D = (LI - LF) x K
Deflexão média do ponto	Dmédio = (DLD + Deixo + DLE) / 3
Desvio padrão amostral	s = raiz[Σ(Dmédio - Dgeral)² / (n - 1)]
Deflexão característica adotada	Dc = Dgeral + s

Exemplo de cálculo - Ponto 01 da Avenida Cesário Castilho: LD = (500 - 460) x 2 = 80; Eixo = (500 - 470) x 2 = 60; LE = (500 - 469) x 2 = 62; Dmédio = (80 + 60 + 62) / 3 = 67,33 x 10^{-2} mm, arredondado para 67 x 10^{-2} mm.

3. Dimensionamento dos resultados deflectométricos

Parâmetro	Avenida Cesário Castilho	Avenida Major Barbosa Ferraz Jr.
Quantidade de pontos avaliados	35	18
Deflexão média geral (10^{-2} mm)	63,81	62,93

Menor deflexão média por ponto (10^{-2} mm)	40,00	40,00
Maior deflexão média por ponto (10^{-2} mm)	86,00	85,33
Desvio padrão amostral das médias (10^{-2} mm)	12,28	12,04
Deflexão característica Dc = Dgeral + s (10^{-2} mm)	76,09	74,96
Média - lado direito (10^{-2} mm)	70,11	72,67
Média - eixo (10^{-2} mm)	59,14	53,11
Média - lado esquerdo (10^{-2} mm)	62,17	63,00
Menor leitura individual (10^{-2} mm)	22,00	36,00
Maior leitura individual (10^{-2} mm)	110,00	110,00

3.1 Interpretação técnica

As deflexões características calculadas foram de 76,09 x 10^{-2} mm para a Avenida Cesário Castilho e 74,96 x 10^{-2} mm para a Avenida Major Barbosa Ferraz Jr. Os resultados são próximos entre si e demonstram comportamento deflectométrico uniforme nos trechos avaliados. Pelos dados analisados, não foi identificada necessidade de reforço estrutural generalizado, mantendo-se a recomendação de correção prévia apenas de defeitos localizados eventualmente encontrados em campo antes da execução do recapeamento em CBUQ.

3.2 Memória de cálculo - Avenida Cesário Castilho

Nº	LD	Eixo	LE	Média calculada
1	80	60	62	67,33
2	76	50	76	67,33
3	76	74	40	63,33
4	40	36	44	40,00
5	88	56	80	74,67
6	84	50	46	60,00
7	90	66	100	85,33
8	60	50	40	50,00
9	80	66	70	72,00
10	60	56	70	62,00
11	50	40	60	50,00
12	60	40	58	52,67
13	110	60	60	76,67
14	50	36	70	52,00
15	110	70	50	76,67
16	86	40	90	72,00
17	50	50	54	51,33
18	58	56	64	59,33
19	100	72	80	84,00
20	60	80	22	54,00
21	100	60	70	76,67
22	70	80	70	73,33
23	96	80	80	85,33
24	60	70	64	64,67
25	60	60	60	60,00

26	74	90	94	86,00
27	60	36	70	55,33
28	36	40	68	48,00
29	56	60	64	60,00
30	70	60	60	63,33
31	64	56	40	53,33
32	70	70	50	63,33
33	40	50	40	43,33
34	70	70	70	70,00
35	60	80	40	60,00

Observação: valores expressos em 10^{-2} mm; as médias foram calculadas por ponto com base nas deflexões do lado direito, eixo e lado esquerdo da pista.

3.3 Memória de cálculo - Avenida Major Barbosa Ferraz Jr.

Nº	LD	Eixo	LE	Média calculada
1	80	60	62	67,33
2	76	50	76	67,33
3	76	74	40	63,33
4	40	36	44	40,00
5	88	56	80	74,67
6	84	50	46	60,00
7	90	66	100	85,33
8	60	50	40	50,00
9	80	66	70	72,00
10	60	56	70	62,00
11	50	40	60	50,00
12	60	40	58	52,67
13	110	60	60	76,67

14	50	36	70	52,00
15	110	70	50	76,67
16	86	40	90	72,00
17	50	50	54	51,33
18	58	56	64	59,33

Observação: valores expressos em 10^{-2} mm; as médias foram calculadas por ponto com base nas deflexões do lado direito, eixo e lado esquerdo da pista.

4. Dimensionamento do tráfego e definição da espessura do recapeamento em CBUQ

O dimensionamento da camada de recapeamento foi desenvolvido pela integração de dois controles complementares: (i) avaliação estrutural do pavimento existente, por meio das deflexões recuperáveis medidas com Viga Benkelman; e (ii) contagem volumétrica classificada de tráfego realizada em campo nas vias avaliadas, seguida da projeção das solicitações para o período de projeto. A análise foi estruturada conforme os procedimentos usuais do Manual de Estudos de Tráfego do DNIT, com conversão da frota comercial observada em repetições equivalentes do eixo-padrão de 8,2 t (Número N). Para a restauração, foram ainda considerados os princípios da DNER-PRO 269/94 e as condições de execução do concreto asfáltico previstas na DNIT 031/2006-ES.

4.1 Critério da contagem de campo e premissas de projeção

Os volumes e a composição veicular utilizados neste dimensionamento decorrem de contagem volumétrica classificada realizada em campo, com registro diário de veículos leves, caminhões pequenos e caminhões médios nas duas avenidas. Os valores apresentados nas tabelas correspondem, portanto, ao tráfego efetivamente observado durante o período de levantamento. A partir das médias diárias apuradas, procedeu-se somente à projeção do tráfego para o horizonte de projeto, adotando-se período de 10 anos, crescimento geométrico anual de 2,0%, distribuição direcional de 50%, concentração dos veículos comerciais na faixa de projeto e fatores de equivalência de carga compatíveis com a composição veicular

constatada. Tais parâmetros conferem margem de segurança à verificação sem descaracterizar os dados reais obtidos em campo.

Parâmetro	Av. Cesário Castilho	Av. Major Barbosa Ferraz Jr.	Critério técnico
Função predominante	Via urbana interna, residencial e de acesso local	Via urbana interna com função coletora e tráfego mais diversificado	Classificação funcional e ocupação lindeira
VDM apurado em campo	900 veículos/dia	1.100 veículos/dia	Média diária obtida na contagem de campo, arredondada para o dimensionamento
Veículos comerciais	2,4%	5,7%	Caminhões pequenos e médios; sem fluxo regular de pesados
Período de projeto	10 anos	10 anos	Horizonte de verificação do recapeamento
Crescimento anual	2,0% a.a.	2,0% a.a.	Crescimento geométrico conservador
Fator direcional - FD	0,50	0,50	Divisão do fluxo entre os dois sentidos
Fator de faixa - FL	1,00	1,00	Uma faixa por sentido; faixa crítica recebe o fluxo comercial direcional
Fator veicular médio - FV	1,50	2,00	Equivalência média maior na via com caminhões de médio porte

4.2 Tabelas de controle da contagem de tráfego em campo

As tabelas a seguir consolidam os resultados reais da contagem de campo, discriminados por dia e por categoria veicular. Na Avenida Cesário Castilho foi constatada forte predominância de automóveis e demais veículos leves. Na Avenida Major Barbosa Ferraz Jr. também predominaram os veículos leves, porém foi registrada participação relativamente maior de caminhões pequenos e médios, ainda de forma eventual e sem caracterização de corredor de carga pesada.

Tabela 4.2-A - Contagem semanal de campo: Avenida Cesário Castilho

Dia	Veículos leves	Caminhões pequenos	Caminhões médios	Total diário
Segunda-feira	842	17	7	866
Terça-feira	870	19	7	896
Quarta-feira	882	20	8	910
Quinta-feira	889	20	8	917
Sexta-feira	925	22	9	956
Sábado	890	15	5	910
Domingo	823	12	4	839
Média diária	874	18	7	899

Tabela 4.2-B - Contagem semanal de campo: Avenida Major Barbosa Ferraz Jr.

Dia	Veículos leves	Caminhões pequenos	Caminhões médios	Total diário
Segunda-feira	1010	44	18	1072
Terça-feira	1035	48	20	1103
Quarta-feira	1048	50	21	1119
Quinta-feira	1055	52	22	1129
Sexta-feira	1090	56	24	1170
Sábado	1020	40	15	1075
Domingo	940	27	10	977
Média diária	1028	45	19	1092

4.3 Conversão do tráfego em Número N

O número acumulado de solicitações equivalentes foi obtido pela expressão N = 365 x VDM x p x FD x FL x FV x F10, em que p é a fração de veículos comerciais e F10 é o fator acumulado de crescimento para 10 anos. Para g = 2,0% a.a., F10 = [(1 + g)^10 - 1]/g = 10,9497. A utilização de fator veicular médio superior à unidade constitui margem de segurança, pois atribui aos caminhões ocasionais efeito equivalente maior que uma passagem simples do eixo-padrão.

Via	VDM	p comercial	FV	F10	Número N calculado	Classe resultante
Av. Cesário Castilho	900	0,024	1,50	10,9497	6,47 x 10□	Tráfego leve
Av. Major Barbosa Ferraz Jr.	1.100	0,057	2,00	10,9497	2,51 x 10□	Tráfego leve a moderado

Mesmo na Avenida Major Barbosa Ferraz Jr., que apresentou a condição de tráfego mais severa entre os trechos contados, o Número N permanece da ordem de 10□, muito abaixo das magnitudes próprias de corredores rodoviários submetidos a tráfego pesado contínuo. Esse resultado é diretamente compatível com a contagem de campo, na qual os veículos leves representaram mais de 94% do fluxo total e os caminhões de médio porte ocorreram de maneira esporádica.

4.4 Verificação conjunta do tráfego contado com a capacidade estrutural existente

O tráfego efetivamente contado em campo e projetado para o horizonte de 10 anos foi confrontado com as deflexões características medidas: 76,09 x 10^{-2} mm na Avenida Cesário Castilho e 74,96 x 10^{-2} mm na Avenida Major Barbosa Ferraz Jr. Os valores próximos e a ausência de comportamento deflectométrico anômalo generalizado indicam que o pavimento existente continuará exercendo a função estrutural principal. Assim, a camada nova não foi concebida como reconstrução da estrutura, mas como recapeamento funcional e reforço

superficial, destinado a recompor a regularidade, a impermeabilização, a aderência e a capacidade de distribuição das solicitações de baixa e média intensidade verificadas.

Verificação	Av. Cesário Castilho	Av. Major Barbosa Ferraz Jr.	Resultado
Deflexão característica Dc	76,09 x 10⁻² mm	74,96 x 10⁻² mm	Comportamento uniforme; sem falha estrutural generalizada
Número N de projeto	6,47 x 10□	2,51 x 10□	Solicitação baixa / moderada para via urbana
Predominância da frota	Veículos leves	Veículos leves, com caminhões eventuais	Ausência de tráfego pesado contínuo
Intervenção requerida	Recapeamento funcional	Recapeamento funcional com correções localizadas	Não se justifica reforço estrutural espesso generalizado
Espessura compactada adotada	3,0 cm	3,0 cm	Tecnicamente suficiente e economicamente compatível

4.5 Verificação construtiva da camada de 3,0 cm

A camada deverá ser executada em CBUQ de graduação compatível com espessura delgada, adotando-se mistura com dimensão máxima nominal do agregado de até 12,5 mm. Para espessura compactada de 30 mm, a relação espessura/diâmetro nominal é 30/12,5 = 2,40, compatível com a execução e compactação de camada única, desde que respeitados o projeto da mistura, a faixa granulométrica, a temperatura, a densidade e o controle tecnológico estabelecidos na especificação de projeto. A espessura indicada é final compactada, não correspondendo à espessura solta lançada pela vibroacabadora.

4.6 Espessura tecnicamente adotada

A análise combinada demonstra que o cenário determinante é o da Avenida Major Barbosa Ferraz Jr., com N = 2,51 x 10□, presença eventual de caminhões pequenos e médios e Dc = 74,96 x 10^{-2} mm. Ainda nesse cenário, o pavimento existente apresenta suporte global satisfatório e o tráfego pesado não é contínuo. Portanto, o dimensionamento não exige camada estrutural espessa nem reconstrução generalizada. Adota-se, justificadamente, recapeamento em CBUQ com espessura final compactada de 3,0 cm para ambas as avenidas. A solução é tecnicamente adequada ao tráfego de projeto, coerente com o diagnóstico deflectométrico e suficiente para a função de camada de rolamento/reforço superficial, desde que cumpridas as correções localizadas e o controle tecnológico especificado.

Resultado do dimensionamento: ESPESSURA DE CBUQ = 3,0 cm, APÓS COMPACTAÇÃO.

5. Conclusão técnica

Com base nos resultados do ensaio de deflexão com Viga Benkelman, na contagem volumétrica classificada realizada em campo e na projeção do tráfego real para o horizonte de 10 anos, conclui-se que os trechos avaliados apresentam capacidade estrutural global satisfatória para receber recapeamento em CBUQ. A condição mais crítica correspondeu à Avenida Major Barbosa Ferraz Jr., com Número N de 2,51 x 10^5 , mantendo-se a predominância de veículos leves e a circulação eventual de caminhões pequenos e médios.

As deflexões características de 76,09 x 10^{-2} mm e 74,96 x 10^{-2} mm não indicam falha estrutural generalizada. A verificação conjunta entre tráfego, deflexão e condição funcional confirma que a espessura compactada de 3,0 cm é suficiente para o recapeamento previsto, não se justificando reforço mais espesso em toda a extensão das vias.

Dessa forma, ficam aprovados o prosseguimento dos serviços e a adoção de CBUQ com 3,0 cm de espessura final compactada, condicionados ao tratamento prévio dos defeitos localizados, à pintura de ligação, à utilização de mistura compatível com a espessura e à

realização dos controles de temperatura, compactação, densidade, granulometria e acabamento.

Resultado: APROVADO.

Andirá/PR, 18 de junho de 2026.

ANTONIO EDUARDO BONIFACIO:01560716819

Assinado de forma digital por ANTONIO EDUARDO BONIFACIO:01560716819
Dados: 2026.07.13 11:06:03 -03'00'

ANTONIO EDUARDO BONIFACIO
Engenheiro Civil
CREA SP 601-664-754-D

6. Relatório fotográfico do ensaio

As imagens a seguir documentam a realização do ensaio de deflexão com Viga Benkelman nas vias avaliadas. As fotografias foram organizadas por avenida, preservando a identificação dos locais constantes nos relatórios fotográficos apresentados.

6.1 Avenida Cesário Castilho



Foto 01 - Avenida Cesário Castilho

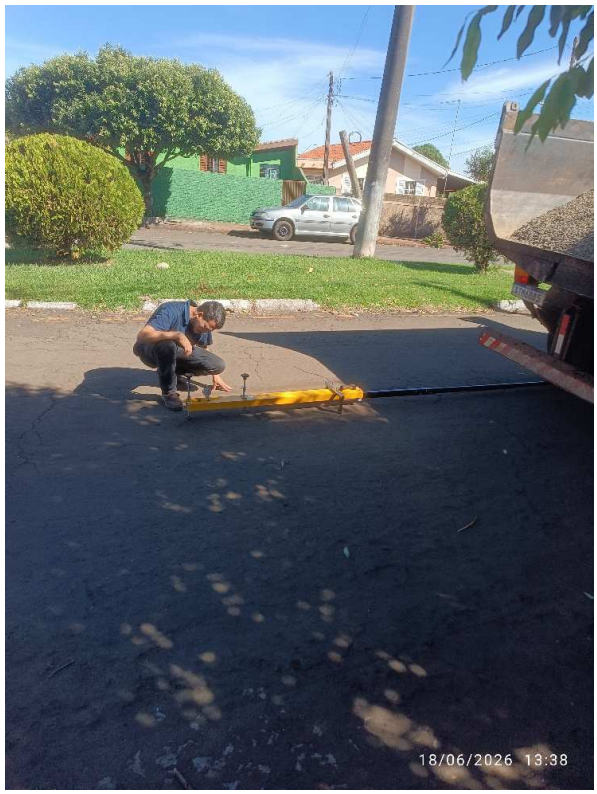


Foto 02 - Avenida Cesário Castilho



Foto 03 - Avenida Cesário Castilho



Foto 04 - Avenida Cesário Castilho



Foto 05 - Avenida Cesário Castilho



Foto 06 - Avenida Cesário Castilho

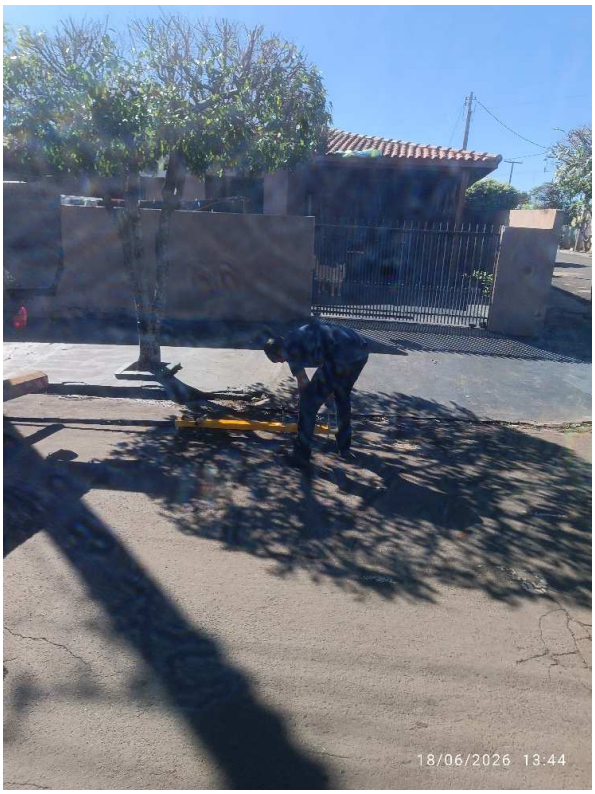


Foto 07 - Avenida Cesário Castilho

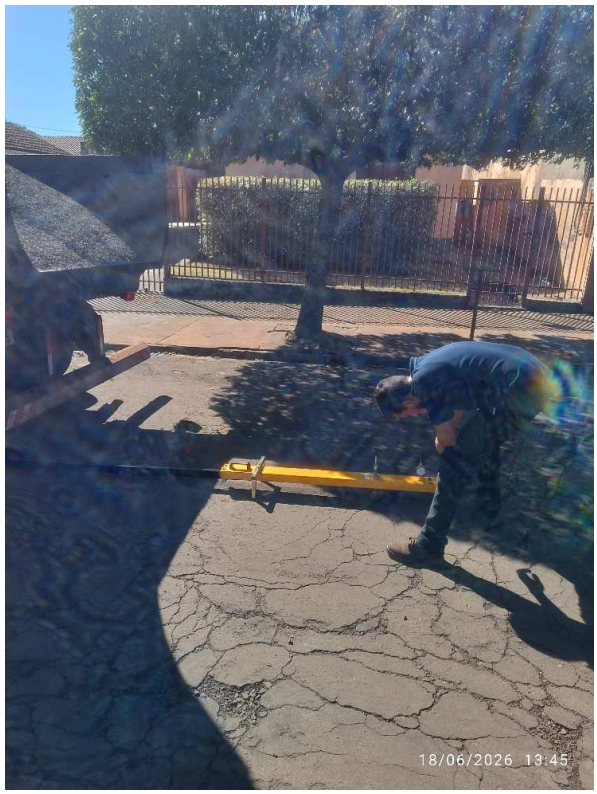


Foto 08 - Avenida Cesário Castilho



Foto 09 - Avenida Cesário Castilho

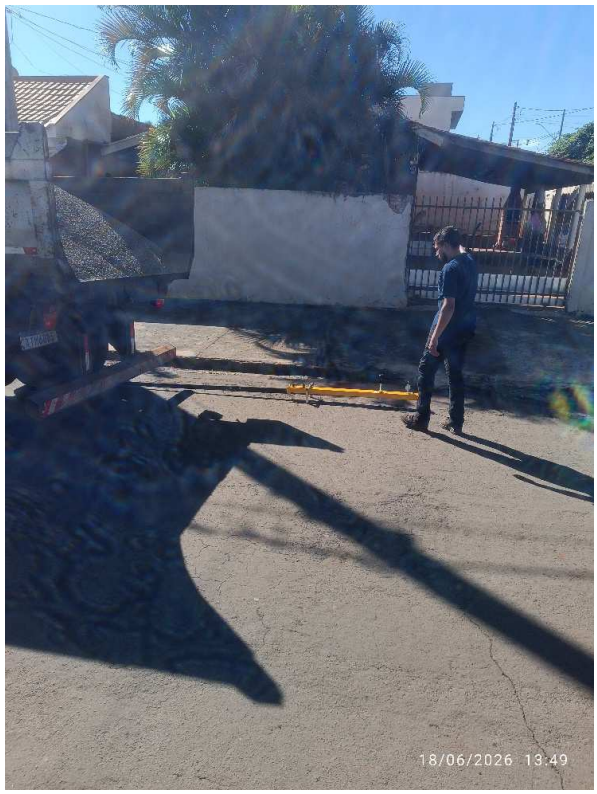


Foto 10 - Avenida Cesário Castilho



Foto 11 - Avenida Cesário Castilho

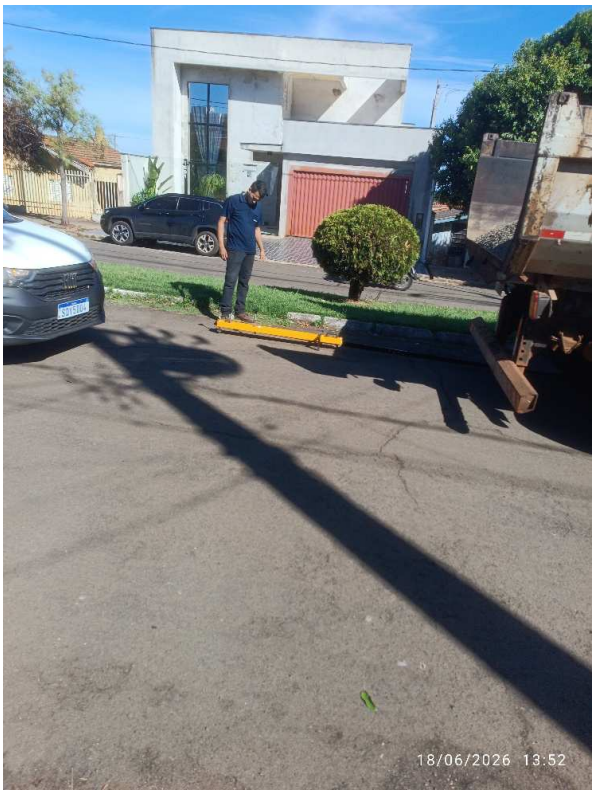


Foto 12 - Avenida Cesário Castilho

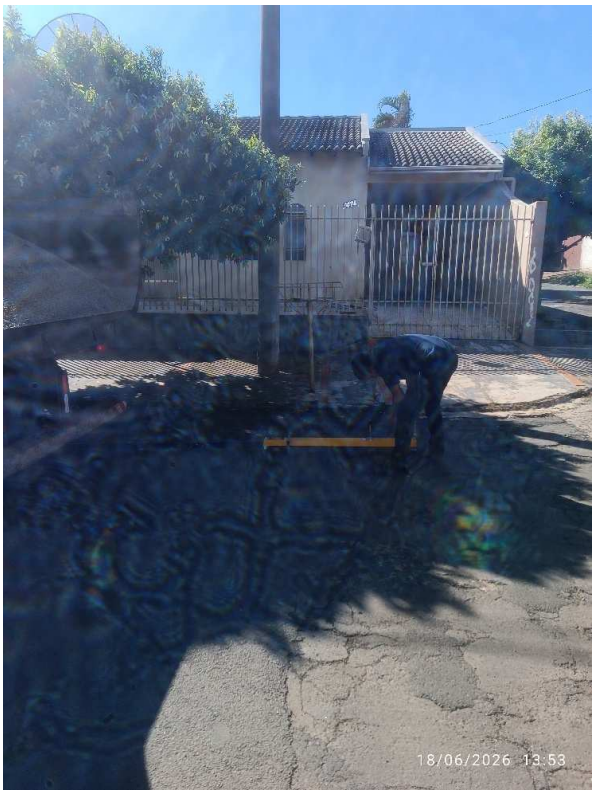


Foto 13 - Avenida Cesário Castilho

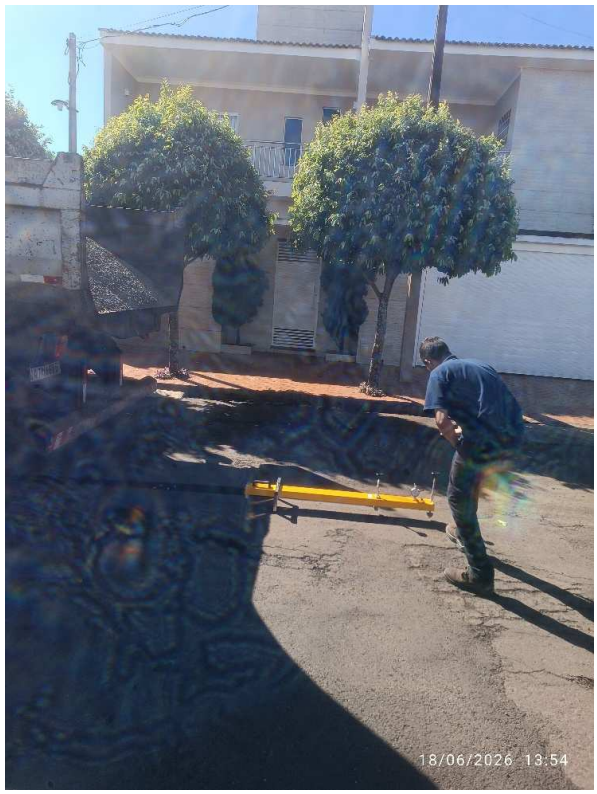


Foto 14 - Avenida Cesário Castilho

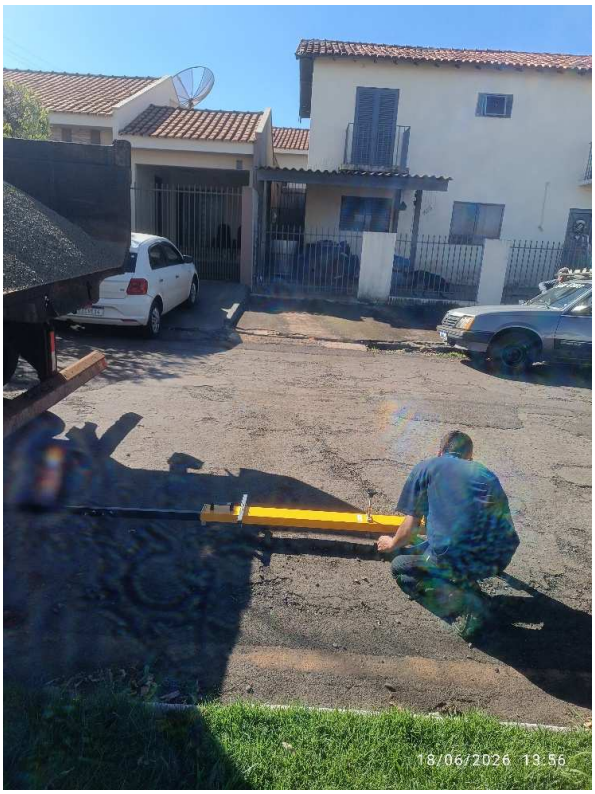


Foto 15 - Avenida Cesário Castilho

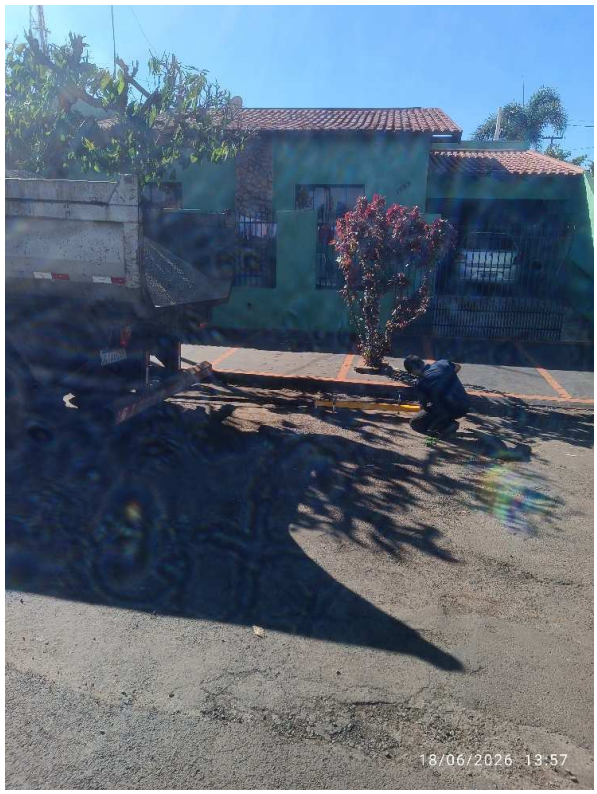


Foto 16 - Avenida Cesário Castilho

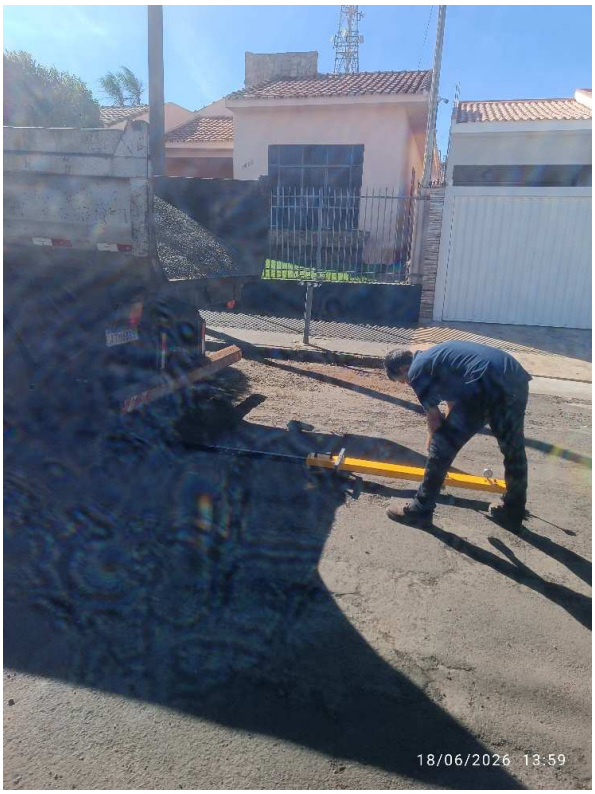


Foto 17 - Avenida Cesário Castilho

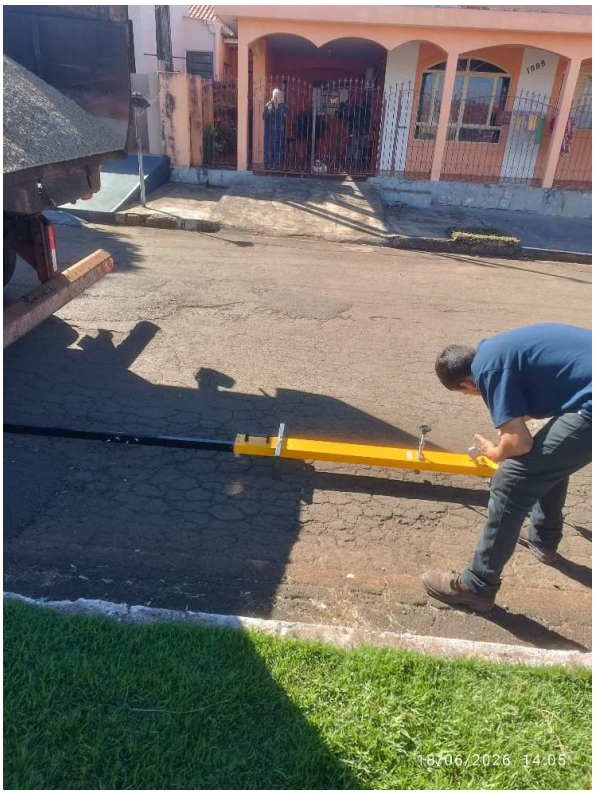


Foto 18 - Avenida Cesário Castilho

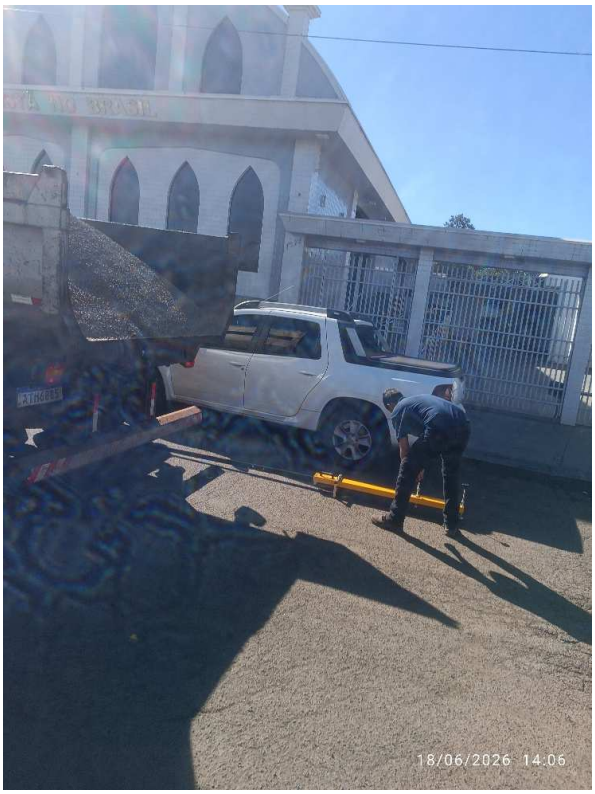


Foto 19 - Avenida Cesário Castilho

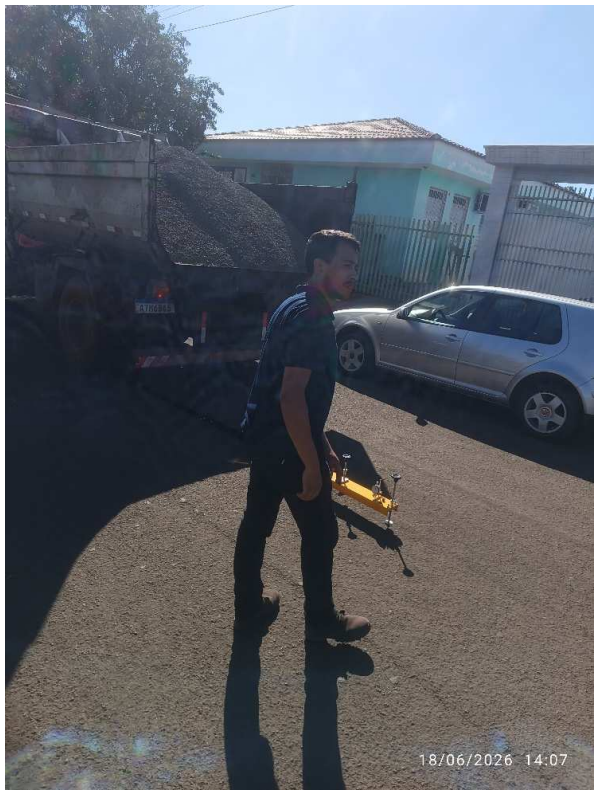


Foto 20 - Avenida Cesário Castilho



Foto 21 - Avenida Cesário Castilho

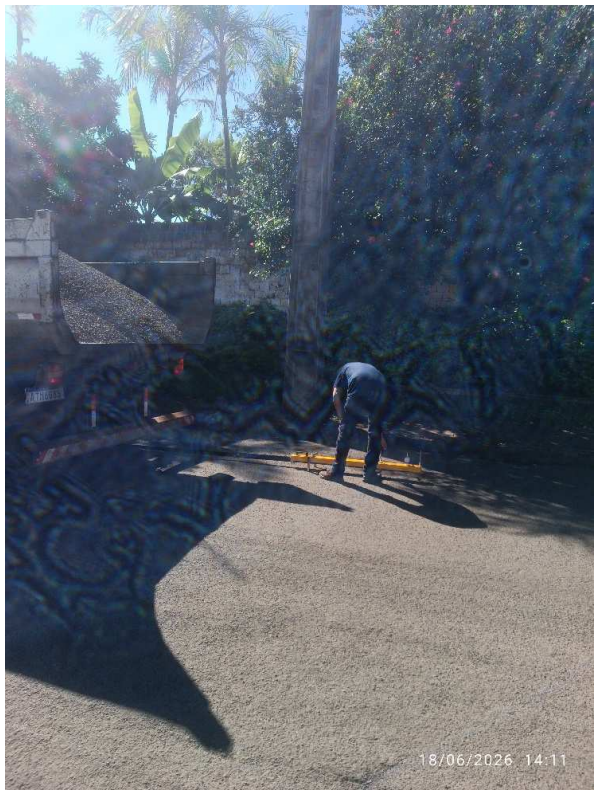


Foto 22 - Avenida Cesário Castilho



Foto 23 - Avenida Cesário Castilho



Foto 24 - Avenida Cesário Castilho



Foto 25 - Avenida Cesário Castilho



Foto 26 - Avenida Cesário Castilho

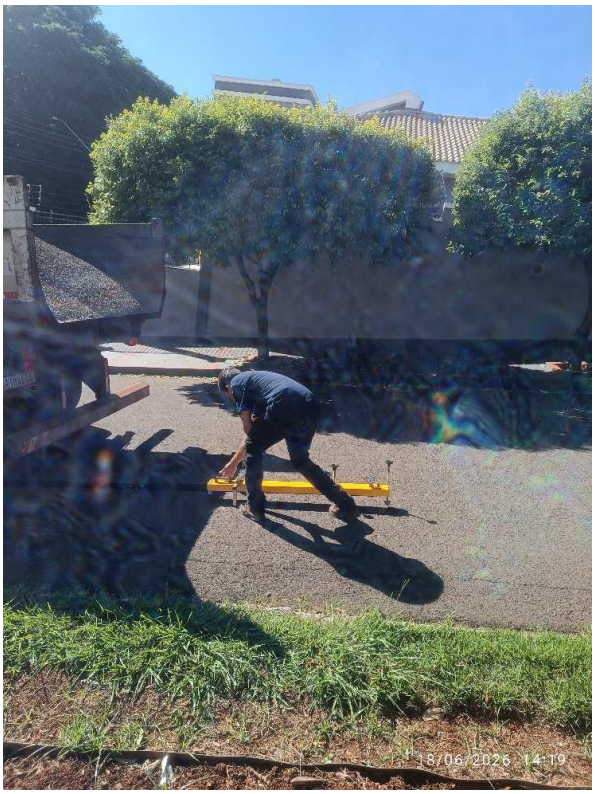


Foto 27 - Avenida Cesário Castilho



Foto 28 - Avenida Cesário Castilho

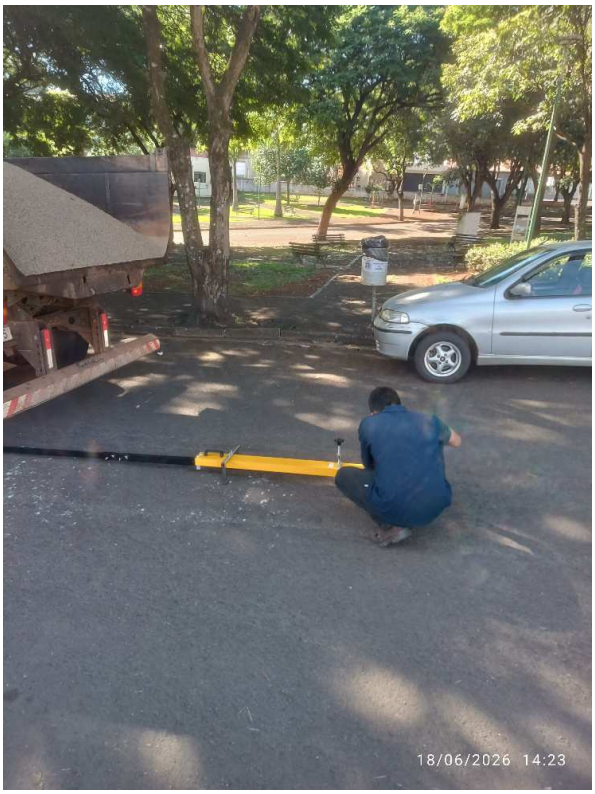


Foto 29 - Avenida Cesário Castilho

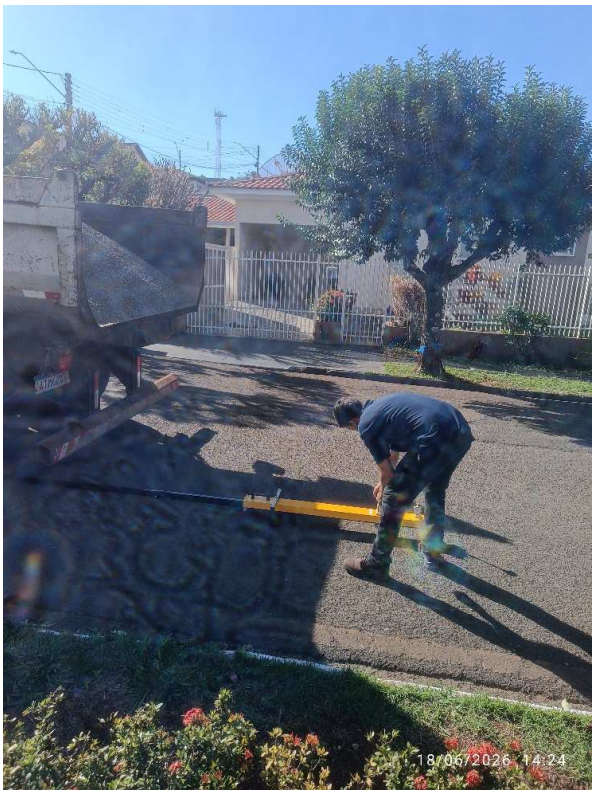


Foto 30 - Avenida Cesário Castilho



Foto 31 - Avenida Cesário Castilho

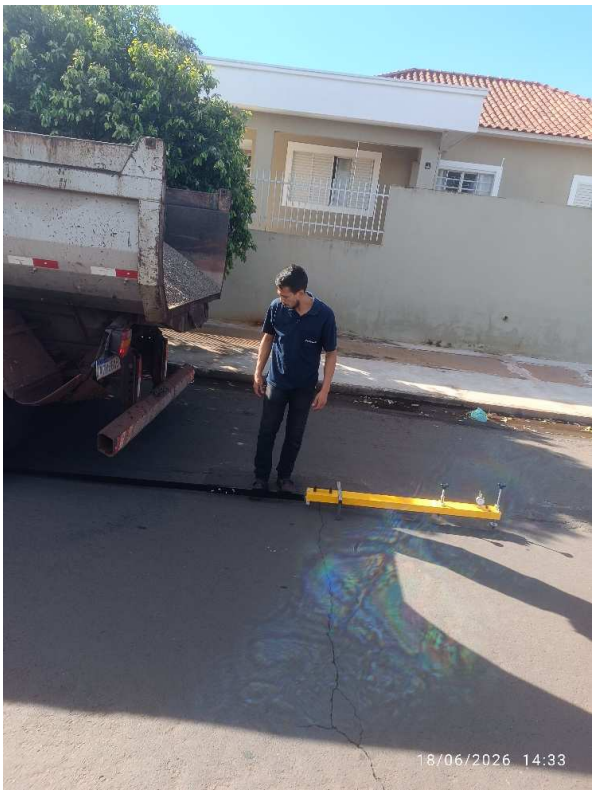


Foto 32 - Avenida Cesário Castilho



Foto 33 - Avenida Cesário Castilho

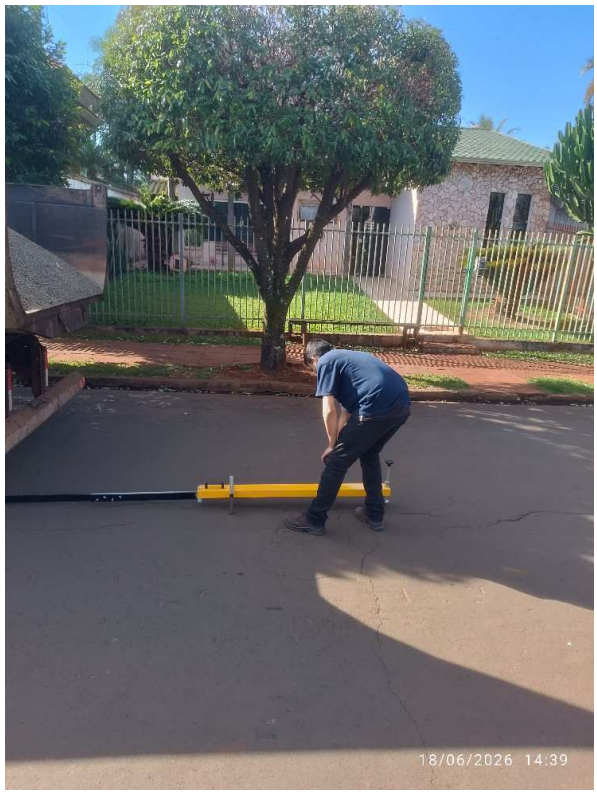


Foto 34 - Avenida Cesário Castilho



Foto 35 - Avenida Cesário Castilho



Foto 36 - Avenida Cesário Castilho

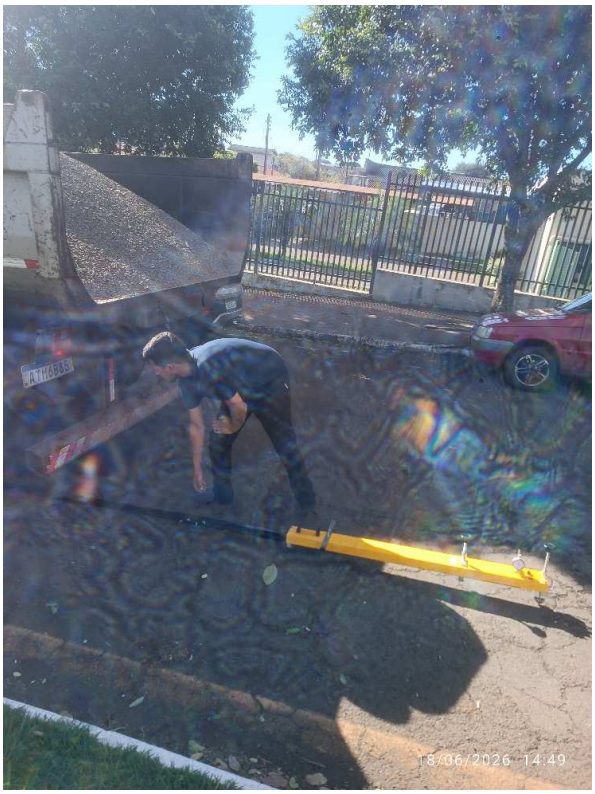


Foto 37 - Avenida Cesário Castilho



Foto 38 - Avenida Cesário Castilho



Foto 39 - Avenida Cesário Castilho

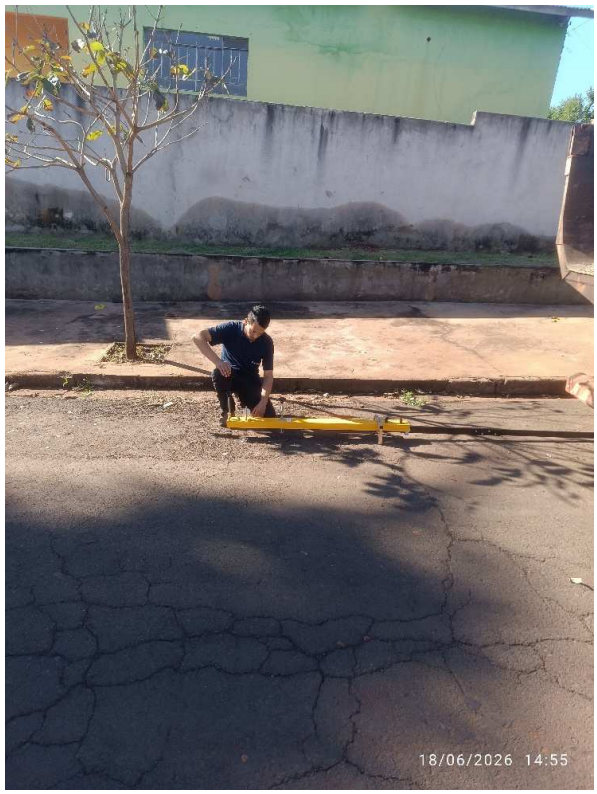


Foto 40 - Avenida Cesário Castilho



Foto 41 - Avenida Cesário Castilho



Foto 42 - Avenida Cesário Castilho



Foto 43 - Avenida Cesário Castilho



Foto 44 - Avenida Cesário Castilho



Foto 45 - Avenida Cesário Castilho



Foto 46 - Avenida Cesário Castilho



Foto 47 - Avenida Cesário Castilho



Foto 48 - Avenida Cesário Castilho



Foto 49 - Avenida Cesário Castilho

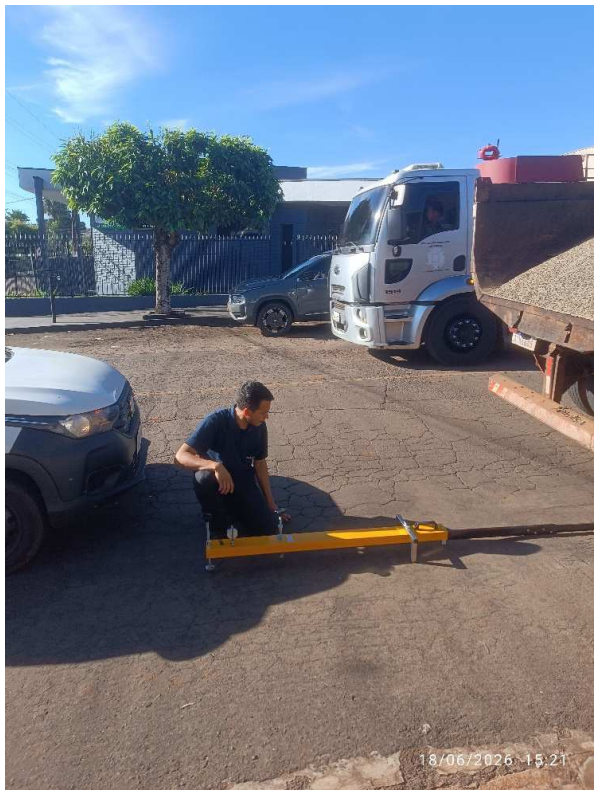


Foto 50 - Avenida Cesário Castilho

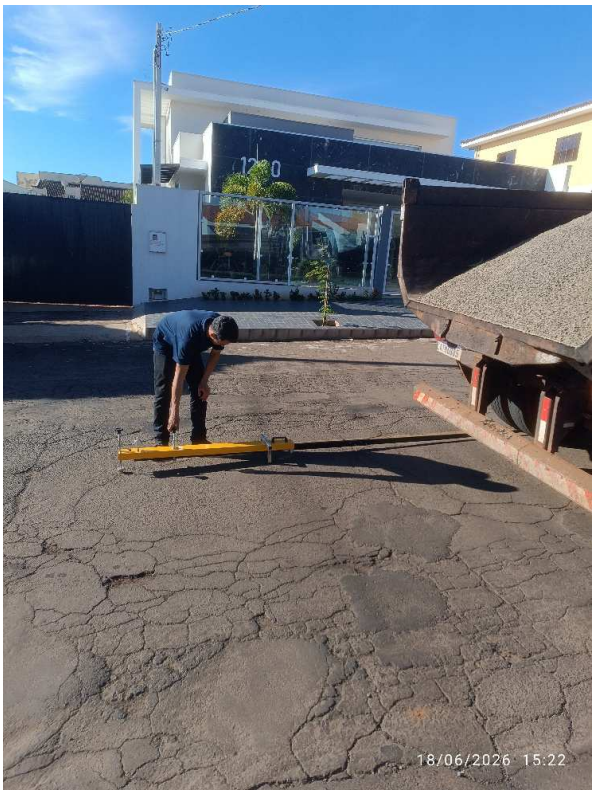


Foto 51 - Avenida Cesário Castilho

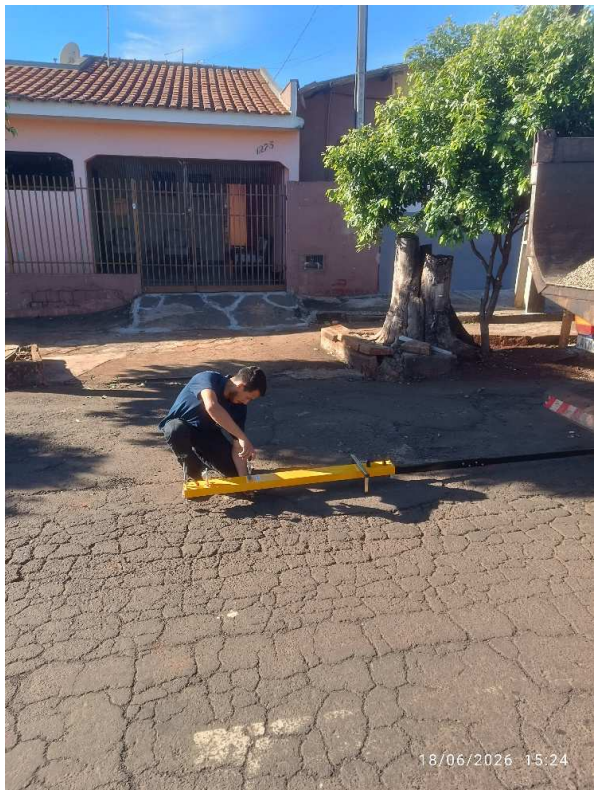


Foto 52 - Avenida Cesário Castilho

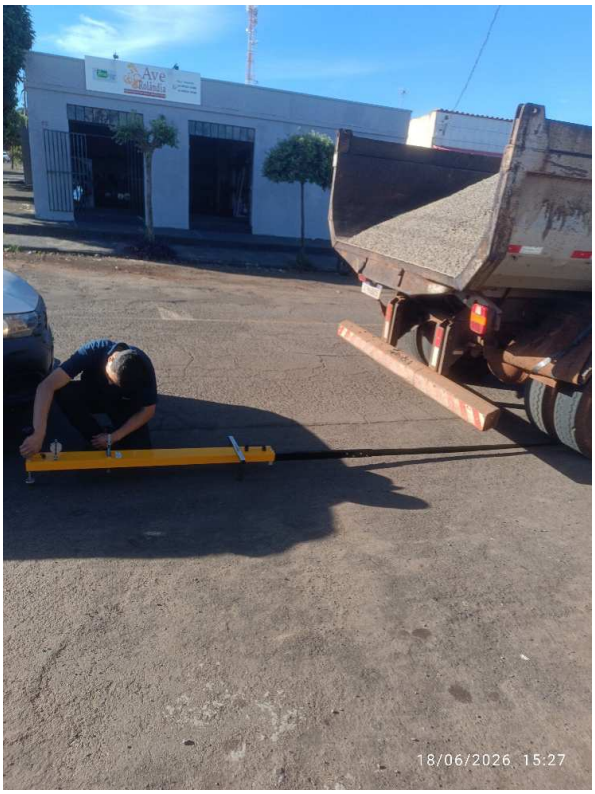


Foto 53 - Avenida Cesário Castilho



Foto 54 - Avenida Cesário Castilho

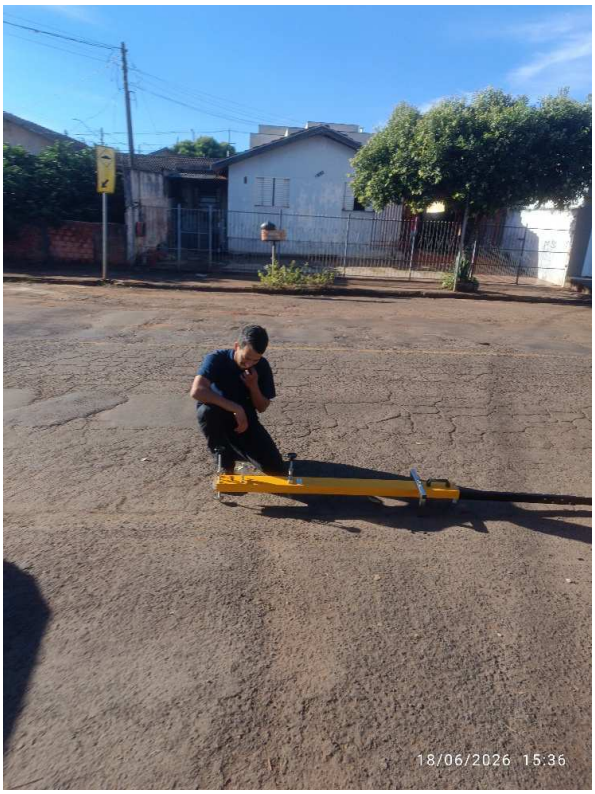


Foto 55 - Avenida Cesário Castilho



Foto 56 - Avenida Cesário Castilho



Foto 57 - Avenida Cesário Castilho

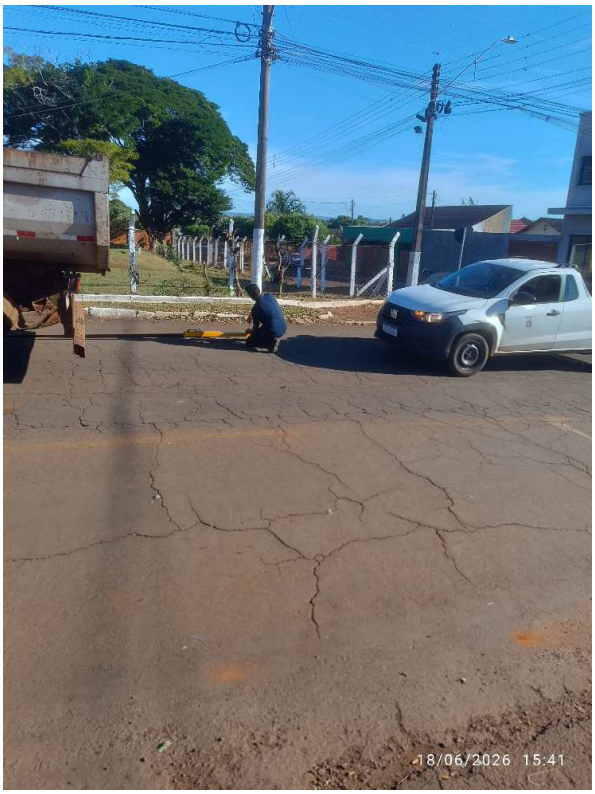


Foto 58 - Avenida Cesário Castilho

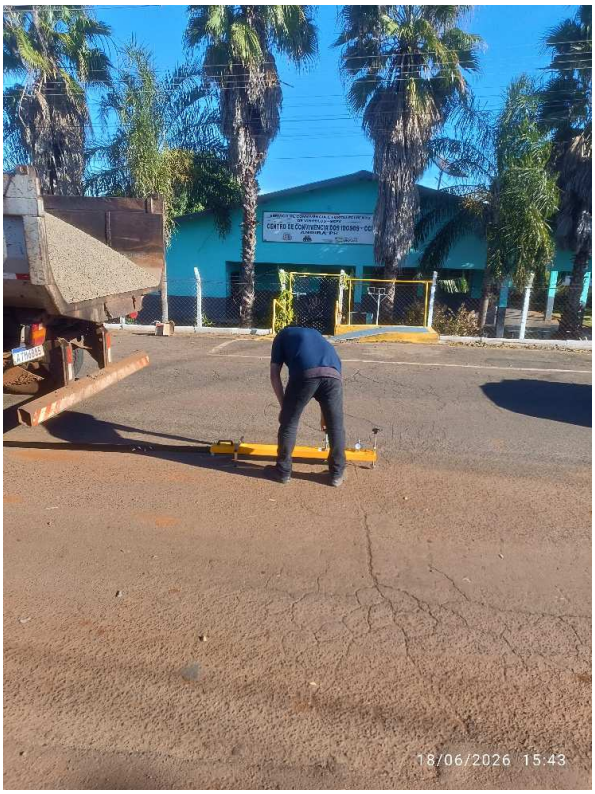


Foto 59 - Avenida Cesário Castilho

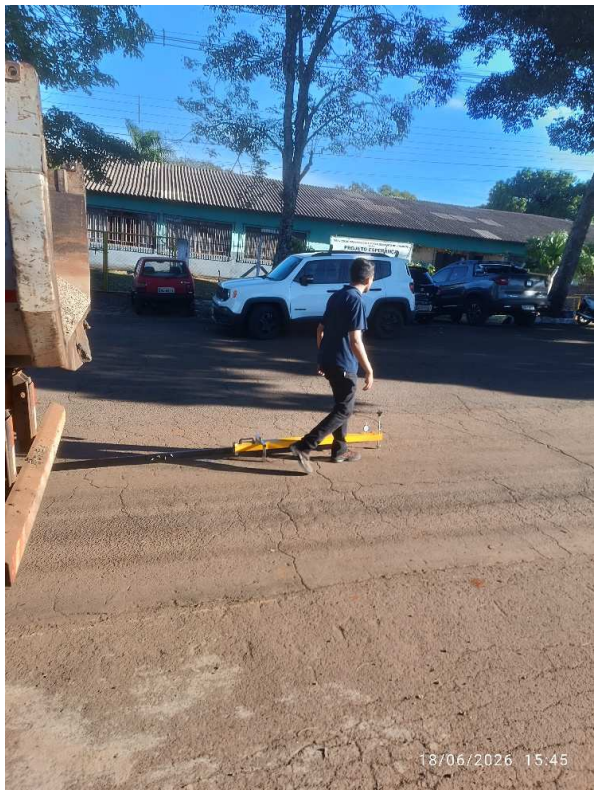


Foto 60 - Avenida Cesário Castilho

6.2 Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

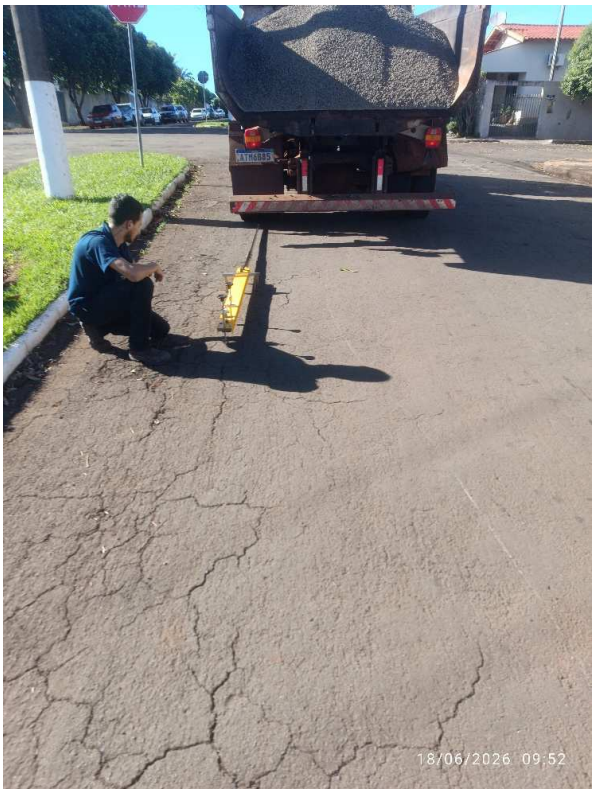


Foto 01 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

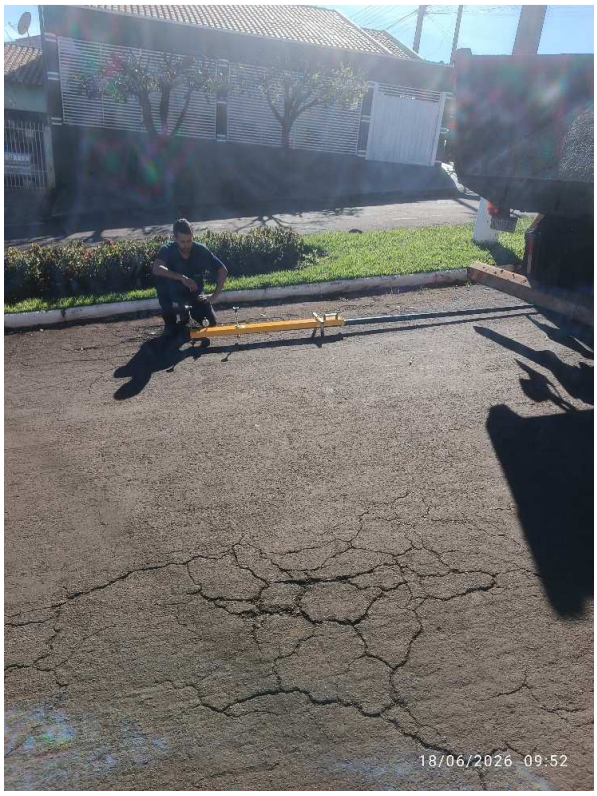


Foto 02 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

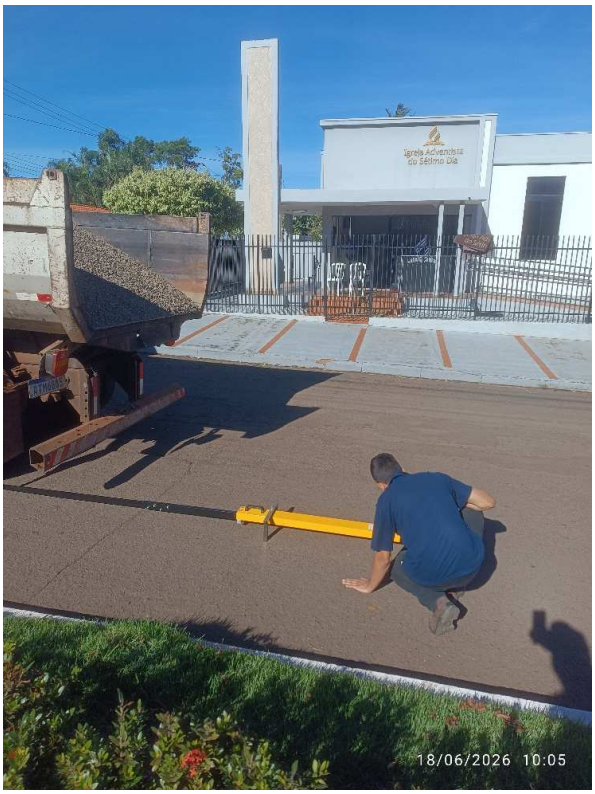


Foto 03 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

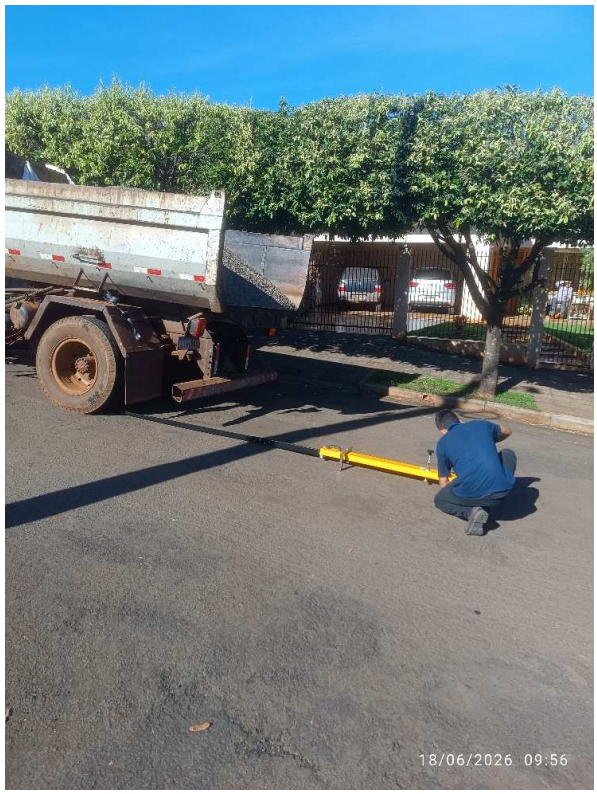


Foto 04 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

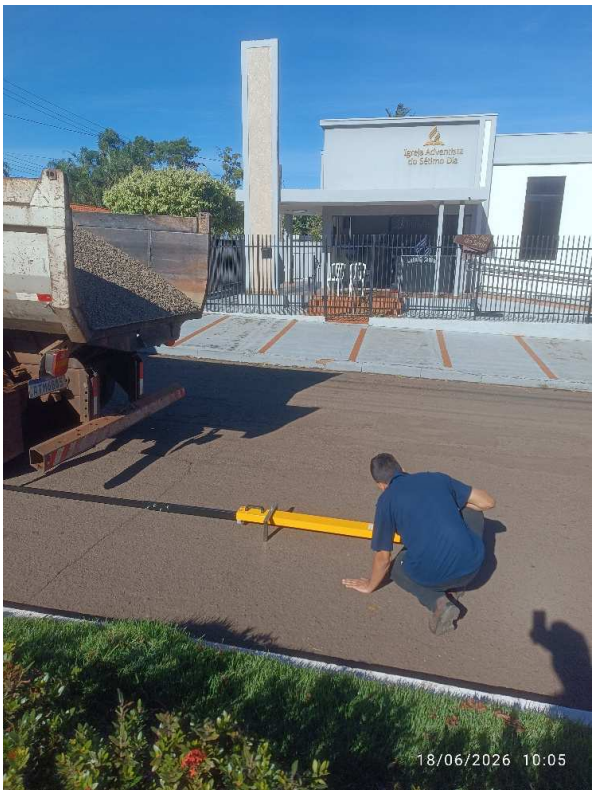


Foto 05 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

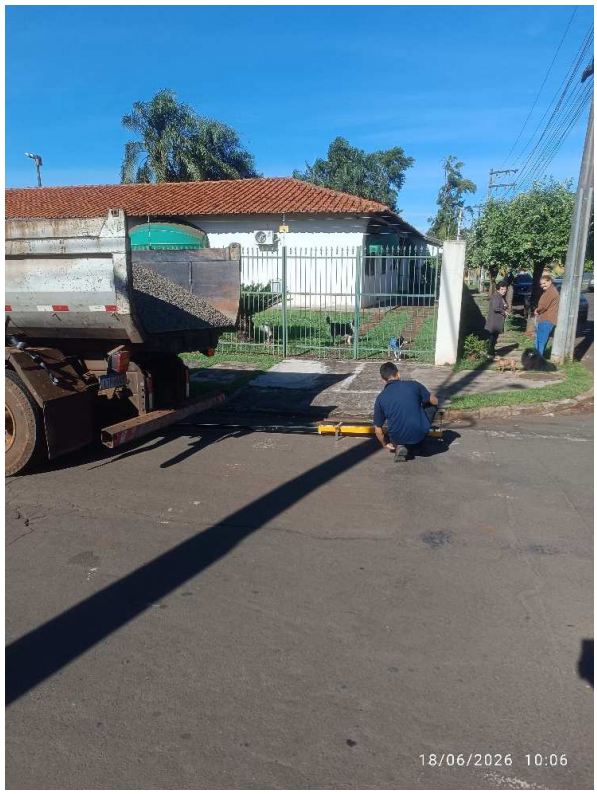


Foto 06 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 07 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

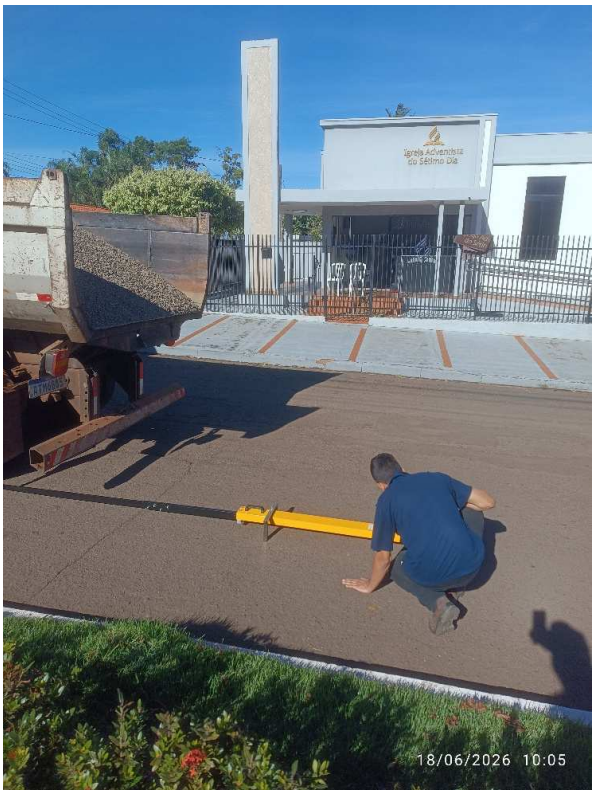


Foto 08 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 09 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 10 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 11 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 12 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 13 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

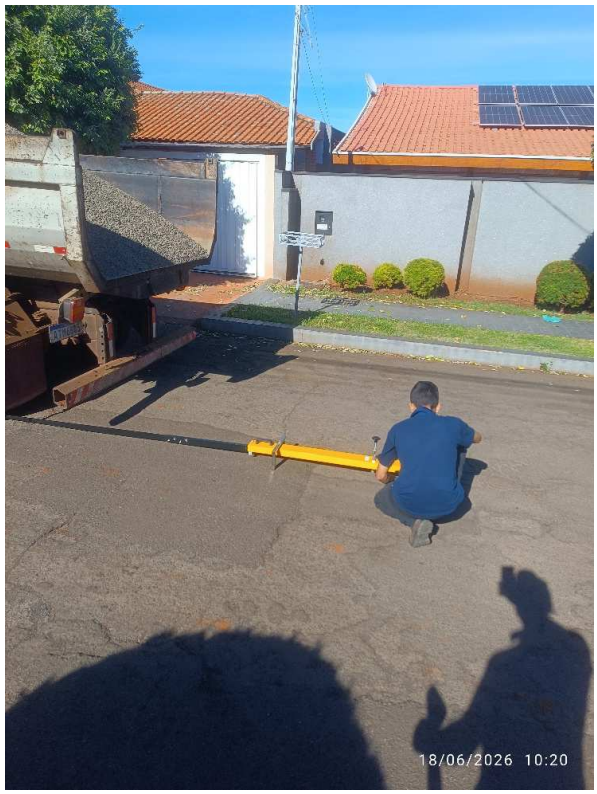


Foto 14 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 15 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

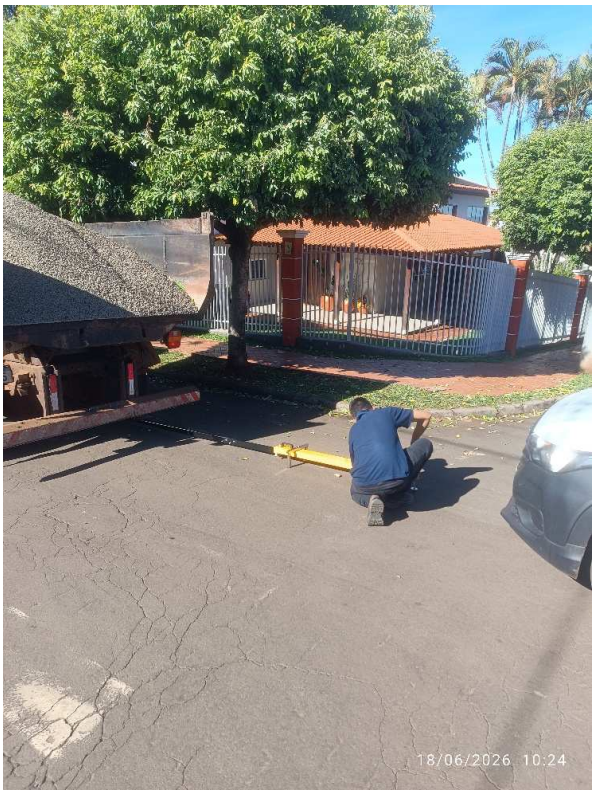


Foto 16 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 17 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 18 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 19 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 20 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 21 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 22 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

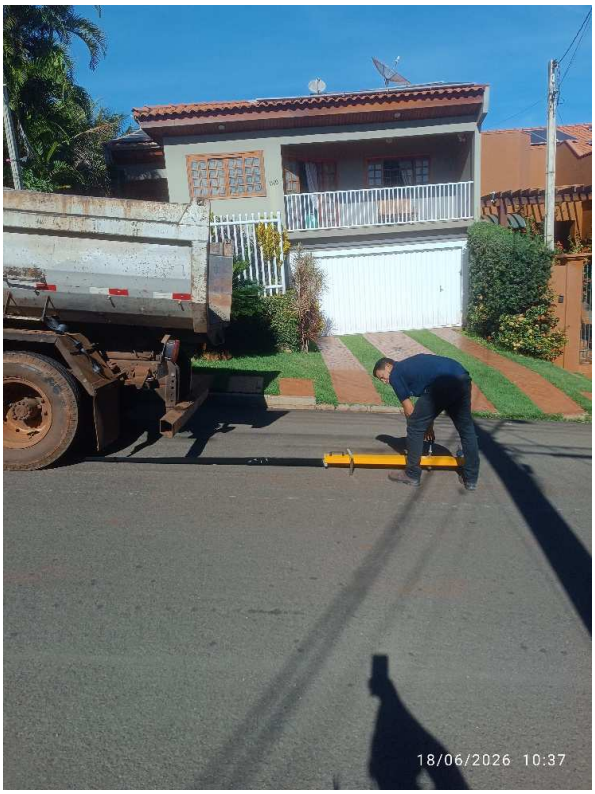


Foto 23 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 24 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 25 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

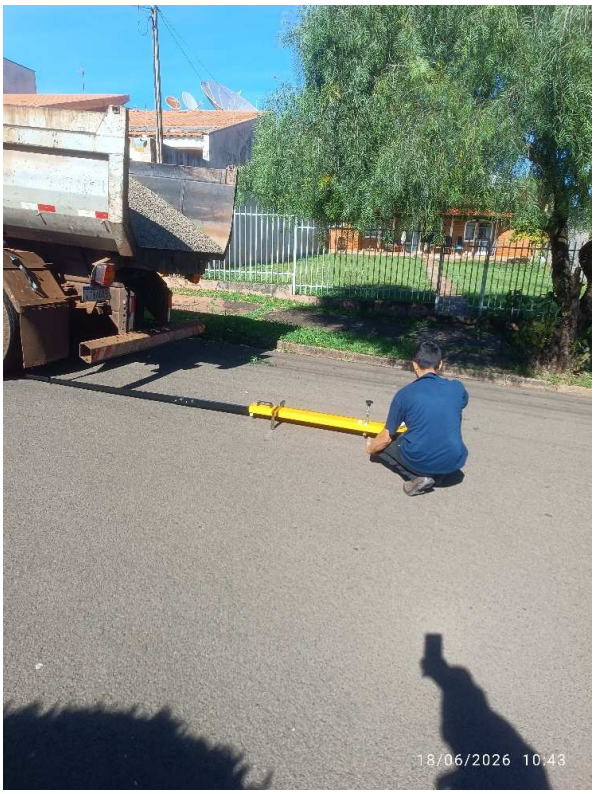


Foto 26 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 27 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 28 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

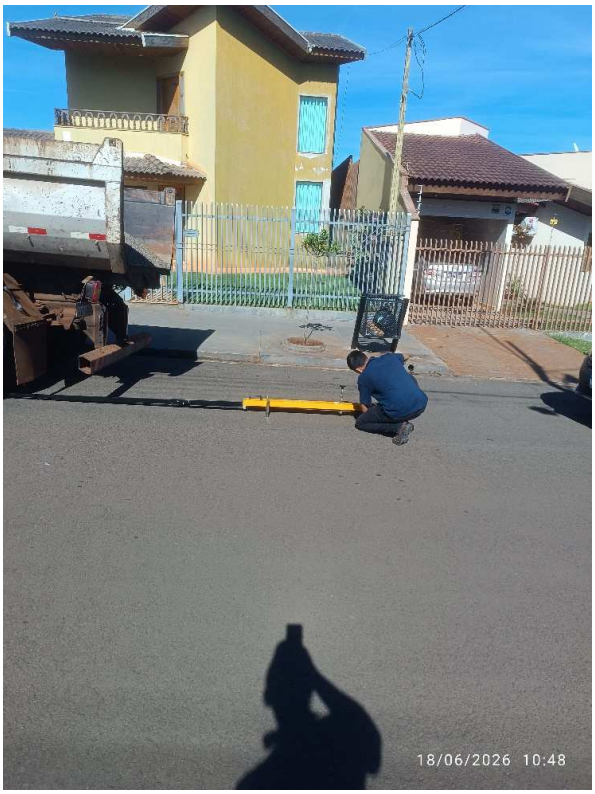


Foto 29 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 30 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 31 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

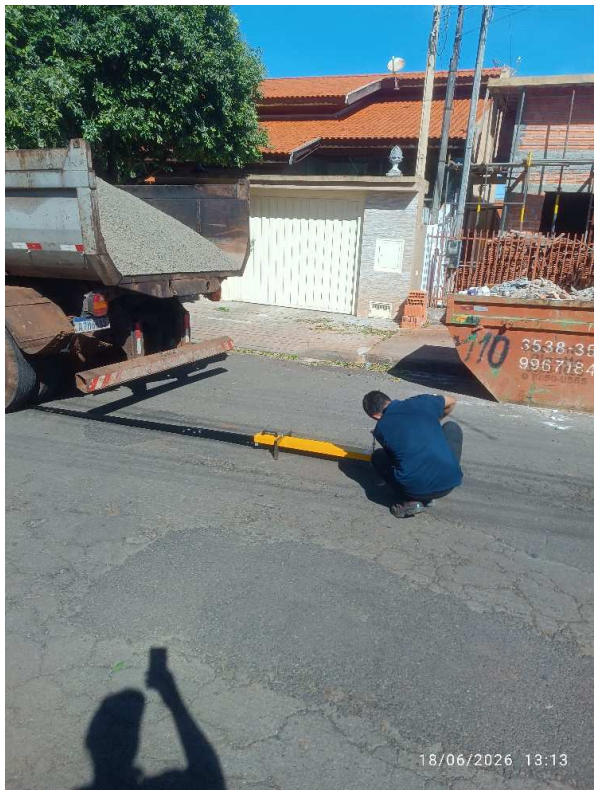


Foto 32 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 33 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 34 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

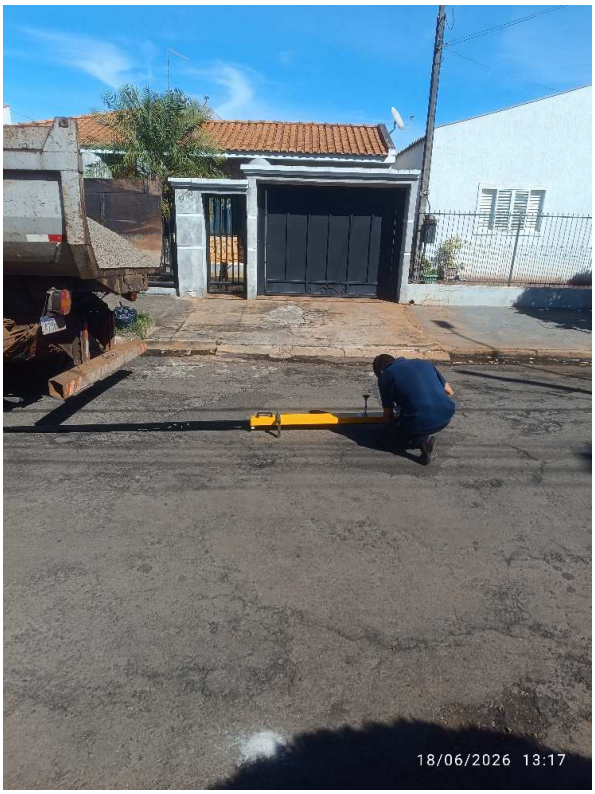


Foto 35 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

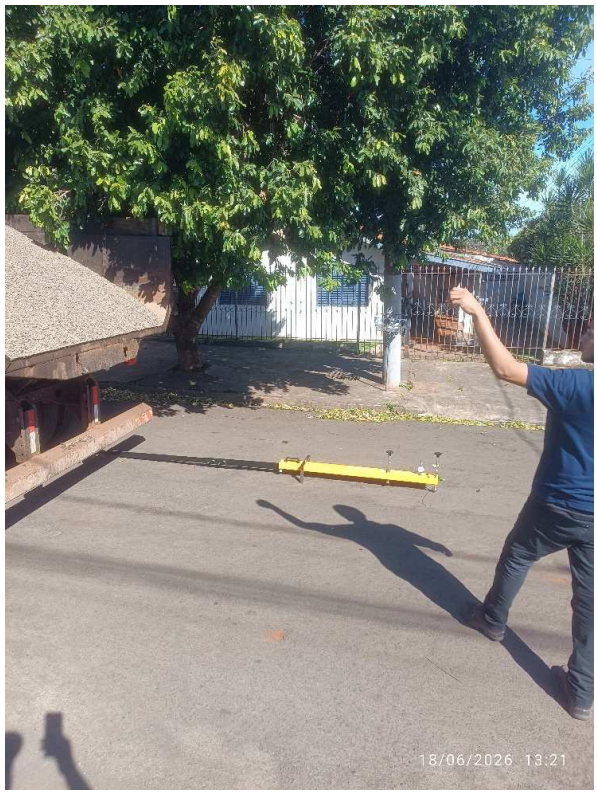


Foto 36 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

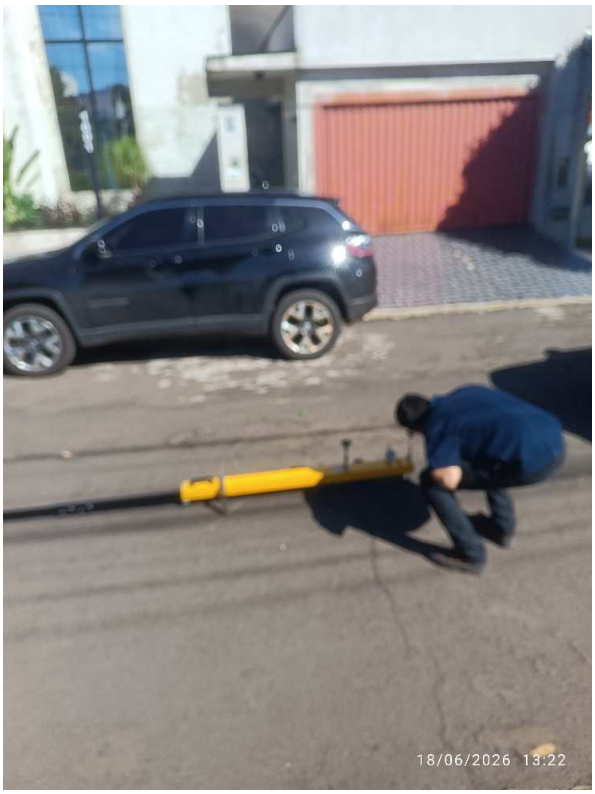


Foto 37 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

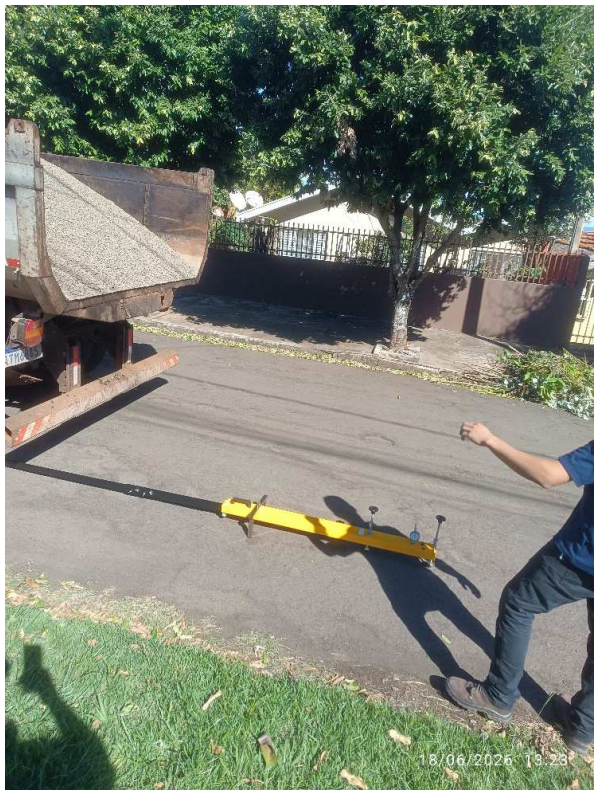


Foto 38 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 39 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

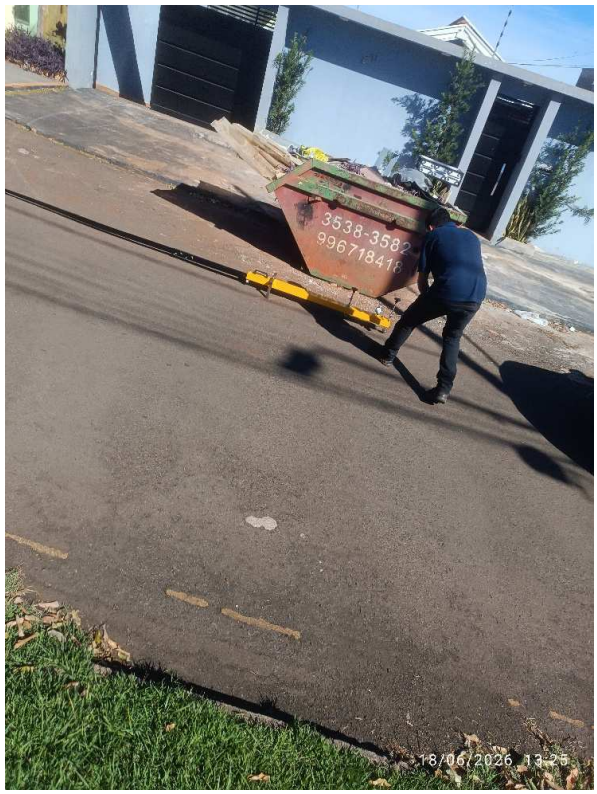


Foto 40 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 41 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

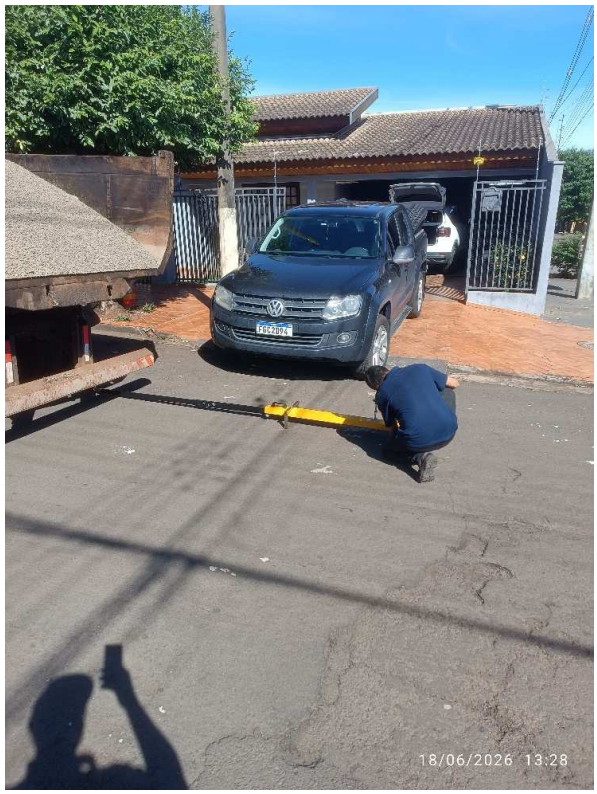


Foto 42 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior



Foto 43 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior

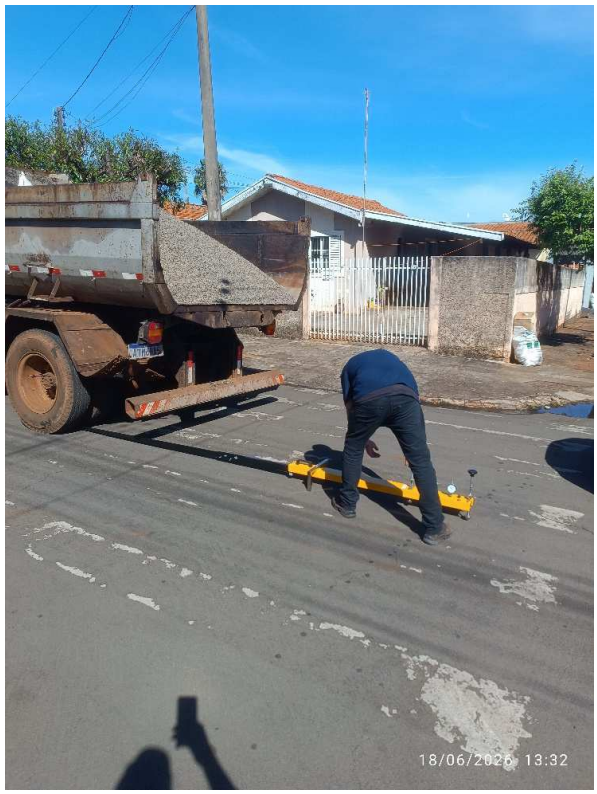


Foto 44 - Avenida Major Barbosa Ferraz Junior