



DOCUMENTO TÉCNICO

CÓDIGO	EC-MC-PAVIMENTO-001	REV.	A1
EMISSÃO	AGOSTO DE 2023	FOLHA	1 de 27
EMITENTE	JJ TOPOGRAFIA LTDA.		

\*EMITENTE

JJ TOPOGRAFIA LTDA.

EMPREENDIMENTO

CONTRATO

ESTRADA DO CRISTO

TRECHO

SUB-TRECHO

ESTRADA DO CRISTO

KM 0,000 AO KM 2,235

TÍTULO

MEMÓRIA DE CALCULO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO

ELABORAÇÃO

RESP. TÉCNICO

VERIFICAÇÃO

LIBERAÇÃO DO DER

APROVAÇÃO DER

Anselmo Duarte

Anselmo Duarte

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

DOCUMENTOS RESULTANTES

OBSERVAÇÕES

REVISÃO	DATA	RESP. TÉCNICO	VERIFICAÇÃO	LIBERAÇÃO	APROVAÇÃO

## SUMÁRIO

<b>1 APRESENTAÇÃO</b>	<b>3</b>
<b>2 PARÂMETROS BÁSICOS</b>	<b>4</b>
2.1 CAPACIDADE DE SUPORTE DO SUBLEITO	4
2.2 TRÁFEGO	5
2.3 PARÂMETROS DE TRÁFEGO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS	5
2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS E PARÂMETROS DE TRÁFEGO	6
2.5 CONCLUSÃO	9
<b>3 PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS</b>	<b>10</b>
3.1 PARÂMETROS BÁSICOS	10
<b>4 DIMENSIONAMENTO DA ESTRUTURA DE PAVIMENTO</b>	<b>14</b>
4.1 CÁLCULO DA ESPESSURA DA BASE	14
4.2 CONFERÊNCIA DA ESPESSURA EQUIVALENTE	15
<b>5 VERIFICAÇÃO MECANICISTA DAS ESTRUTURAS</b>	<b>16</b>
5.1 CONCEITOS E PARÂMETROS BÁSICOS	16
5.2 VERIFICAÇÃO MECANICISTA	18
5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS	19
<b>6 ESTRUTURAS</b>	<b>20</b>
6.1 ESTRUTURA PROPOSTA	20
<b>7 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE MATERIAIS E SERVIÇOS</b>	<b>21</b>
<b>8 RESULTADOS DO SISTEMA COMPUTACIONAL</b>	<b>22</b>

## 1 Apresentação

A Prefeitura Municipal de Divinolândia apresenta neste documento os elementos da memória de cálculo alinhamentos verticais e horizontais e curvas para adequação e pavimentação da Estrada do Cristo, com extensão de 2,235 Km.

A figura a seguir ilustra o segmento rodoviário em estudo.

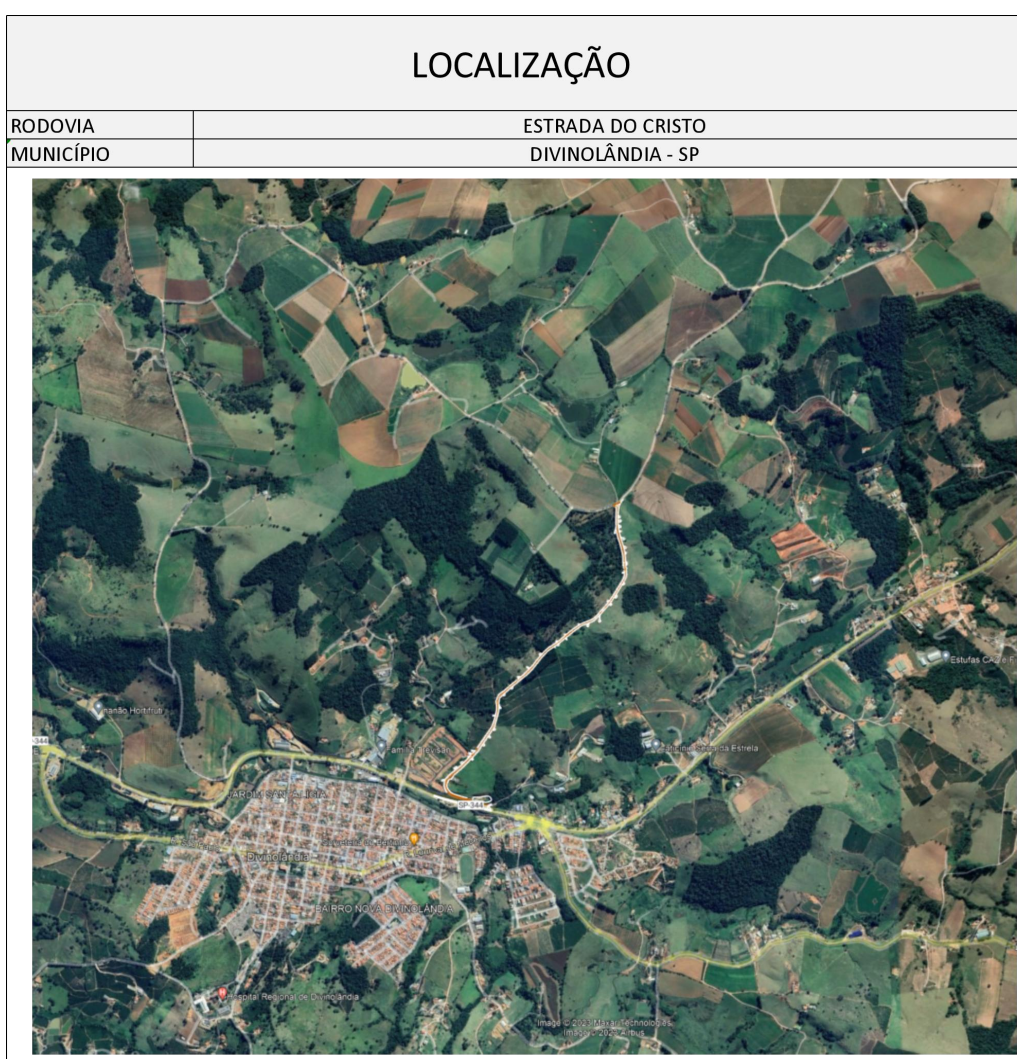


Figura 01 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO

## 2 Parâmetros básicos

### 2.1 CAPACIDADE DE SUPORTE DO SUBLEITO

Foram realizados preliminarmente, ainda na fase de estudo, furos de sondagem a trado de diâmetro externo de 4", com profundidade variando entre 0,0 e 1,50 metros.

Foram coletadas 12 (doze) amostras de solos através das sondagens à trado para posterior execução de ensaios geotécnicos com resistência mecânica ou capacidade de suporte e classificação granulométrica.

Os solos verificados é: argila siltosa clara, com uma camada esbelta de material granular, provavelmente depositado para auxiliar no tráfego local.

A capacidade de suporte das amostras de solos coletadas nas sondagens a trado e nas cavas de inspeção oscila entre 8,3% e 13,5%, com expansão variando entre 0,39% e 0,68%.

A umidade ótima dos solos compactados, coletados nos 12 furos de sondagem a trado varia entre 9,0 % e 11,5 % e a densidade seca aparente máxima oscila entre 1,503 g/cm<sup>3</sup> e 1,924 g/cm<sup>3</sup>.

RESUMO DE CARACTERIZAÇÃO DO SUB LEITO											
AMOSTRA	Hot	Dmax	C.B.R.	Exp.	1"	3/4"	3/8"	4	# 10	#40	#200
1	11,50	1,737	12,5	0,63	100	100,00	100,00	100,00	99,08	91,75	70,35
2	9,71	1,907	8,8	0,44	100	100,00	100,00	100,00	99,07	88,42	71,28
3	10,30	1,786	10,8	0,40	100	100,00	100,00	100,00	99,08	90,33	72,48
4	10,87	1,525	12,2	0,53	100	100,00	100,00	100,00	99,10	91,68	77,96
5	10,67	1,874	8,3	0,41	100	100,00	100,00	100,00	99,07	88,55	79,90
6	10,60	1,911	9,2	0,48	100	100,00	100,00	100,00	99,07	87,60	74,43
7	8,97	1,909	10,2	0,63	100	100,00	100,00	100,00	99,07	91,62	78,67
8	10,50	1,629	8,3	0,39	100	100,00	100,00	100,00	99,09	91,40	74,73
9	9,60	1,544	11,1	0,44	100	100,00	100,00	100,00	99,10	87,69	78,46
10	11,00	1,503	13,5	0,68	100	100,00	100,00	100,00	99,11	89,69	79,57
11	9,20	1,861	9,0	0,46	100	100,00	100,00	100,00	99,07	88,30	77,21
12	10,00	1,924	8,9	0,44	100	100,00	100,00	100,00	99,07	88,02	79,21
<b>MÉDIA</b>	<b>10,24</b>	<b>1,759</b>	<b>10,21</b>	<b>0,494</b>							
<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>0,76</b>	<b>0,17</b>	<b>1,77</b>	<b>0,100</b>							
<b>MÍNIMO</b>	<b>9,0</b>	<b>1,503</b>	<b>8,3</b>	<b>0,39</b>							
<b>MÁXIMO</b>	<b>11,5</b>	<b>1,924</b>	<b>13,5</b>	<b>0,68</b>							

Para o dimensionamento deste projeto a fim de evitar a troca de solo ao longo da via, será adotado como valor de CBRp, o menor valor encontrado ao longo do trecho, portanto para o projeto será adotado o valor de CBRp=8,3%.

## 2.2 TRÁFEGO

O pavimento é dimensionado em função do número de passagens equivalentes do eixo adotado como padrão rodoviário, durante determinado período de projeto. Dessa forma, as características do tráfego que solicitará os pavimentos projetados são de fundamental importância para o seu correto dimensionamento, uma vez que se relacionam intimamente com os esforços internos solicitantes originados na estrutura do pavimento, quando submetidos ao carregamento pela passagem de veículos comerciais.

Para este projeto, será adotado a IP-02 – Classificação de Vias, da Prefeitura Municipal de São Paulo.

## 2.3 PARÂMETROS DE TRÁFEGO PARA CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS

Para o estabelecimento do parâmetro "N" (número de operações do eixo padrão de 80 KN), representativo das características de tráfego, são estudados os seguintes tópicos:

- Estimativa das porcentagens mais prováveis de cada tipo de veículo de carga na composição da frota. Isso é efetuado levando-se em conta a função preponderante de cada classe de via.
- Carregamento provável de acordo com cada classe de via. Constata-se que, em viagens curtas e principalmente nas zonas urbanas, a porcentagem de veículos circulando com carga abaixo do limite e mesmo "vazios" é elevada.

Para o cálculo do fator de equivalência de cada tipo de veículo, necessário à determinação do número "N" (considerando seus carregamentos), são utilizados os estudos realizados para a determinação dos fatores de equivalência, e que constam de:

Estabelecimento de modelos matemáticos, relacionando a carga útil às cargas resultantes nos eixos dos veículos. Foram obtidos a partir dos dados básicos de cada tipo de

veículo (tara, número de eixo, limites máximos de carga por eixo, etc.) e confrontados com modelos obtidos por regressão linear de alguns

levantamentos estatísticos disponíveis. A utilização desses modelos conduz à determinação dos fatores de equivalência correspondentes a:

105% da carga útil máxima 100% da carga útil máxima 75% da carga útil máxima

Estabelecimento de percentuais dos carregamentos para os tipos de veículos comerciais componentes da frota, de acordo com as características de cada classe de via, sendo calculados os fatores de equivalência final e determinados os números "N" indicados no Quadro 2.1.

A reavaliação dos trabalhos deverá ser feita a cada 5 anos, isto é, reavaliação dos percentuais dos carregamentos para os tipos componentes da frota.

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO DAS VIAS E PARÂMETROS DE TRÁFEGO

A classificação do tipo de tráfego da via deverá preceder a aplicação dos métodos de dimensionamento adotados pela PMSP. Essa classificação permite a adequada utilização desses métodos e estimativa de solicitações de veículos a que a via estará submetida em seu período de vida útil.

Na presente classificação foi considerada a carga máxima legal no Brasil, que é de 10 toneladas por eixo simples de rodagem dupla (100kN/ESRD).

O tráfego e as cargas solicitantes na via a ser pavimentada deverão ser caracterizados de forma a instruir a aplicação dos métodos adotados. O parâmetro "N" constitui o valor final representativo dos esforços transmitidos à estrutura, na interface pneu/pavimento. O valor de "N" indica o número de solicitações previstas no período operacional do pavimento, por um eixo traseiro simples, de rodagem dupla, com 80 kN, conforme o Método do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA.

A previsão do valor final de "N" deve tomar como base contagens classificatórias, para utilização dos tipos de tráfego abaixo relacionados. Quando houver disponibilidade de dados de pesagens de eixos, com a respectiva caracterização por tipos, o cálculo do valor final de "N" deverá seguir integralmente as recomendações e instruções do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DNIT-1996.



As vias urbanas a serem pavimentadas serão classificadas, para fins de dimensionamento de pavimento, de acordo com tráfego previsto para as mesmas, nos seguintes tipos:

**Tráfego Leve** - Ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número "N" típico de  $10^5$  solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos.

**Tráfego Médio** - Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões e ônibus em número de 21 a 100 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de  $5 \times 10^5$  solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos.

**Tráfego Meio Pesado** - Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número 101 a 300 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de  $2 \times 10^6$  solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos.

**Tráfego Pesado** - Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 301 a 1000 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número "N" típico de  $2 \times 10^7$  solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de projeto de 10 anos a 12 anos.

**Tráfego Muito Pesado** - Ruas ou avenidas para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em número de 1001 a 2000 por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizada por número "N" típico superior a  $5 \times 10^7$  solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 12 anos.

**Faixa Exclusiva de Ônibus** - Vias para as quais é prevista, quase que exclusivamente, a passagem de ônibus e veículos comerciais (em número reduzido), podendo ser classificadas em:

Faixa Exclusiva de Ônibus com Volume Médio - onde é prevista a passagem de ônibus em número não superior a 500 por dia, na faixa "exclusiva" de tráfego, caracterizado por número "N" típico de  $10^7$  solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 12 anos.

Faixa Exclusiva de Ônibus com Volume Elevado - onde é prevista a passagem de ônibus em número superior a 500 por dia, na faixa "exclusiva", de tráfego, caracterizado por

número "N" típico de  $5 \times 10^7$  solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 12 anos.

O Quadro 2.1 resume os principais parâmetros adotados para a classificação das vias da Prefeitura do Município de São Paulo - PMSP.

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto (anos)	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente Por veículo	N	N característico
			VEÍCULO LEVE	CAMINHÃO / ÔNIBUS			
Via local Residencial	LEVE	10	100 A 400	4 A 20	1,50	$2,70 \times 10^4$ A $1,40 \times 10^5$	$10^5$
Via coletora Secundária	MÉDIO	10	401 A 1500	21 A 100	1,50	$1,40 \times 10^5$ A $6,80 \times 10^5$	$5 \times 10^5$
Via coletora principal	MEIO PESADO	10	1501 A 5000	101 A 300	2,30	$1,4 \times 10^6$ a $3,1 \times 10^6$	$2 \times 10^6$
Via arterial	PESADO	12	5001 A 10000	301 A 1000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	$2 \times 10^7$
Via arterial Principal/ expressa	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 A 2000	5,90	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	$5 \times 10^7$
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		$3 \times 10^{6(1)}$	$10^7$
	VOLUME PESADO	12		> 500		$5 \times 10^7$	$5 \times 10^7$

N = valor obtido com uma taxa de crescimento de 5% ao ano, durante o período de projeto.



## 2.5 CONCLUSÃO

A posição da via em relação ao município de Divinolândia denomina sua função predominante de Via coletora Secundária, pois a mesma tem como seus principais utilizadores, os moradores lindeiros e a população dos bairros adjacentes. Portanto, entende-se para este projeto que o tráfego pode ser classificado como médio, adotando então para o projeto de 10 anos o número característico de  $5,0 \times 10^5$ .

### 3 PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

#### 3.1 PARÂMETROS BÁSICOS

O dimensionamento das estruturas de pavimento a serem implantadas na Estrada do Cristo em Divinolândia, seguirá a Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 do DER/SP.

Após as definições preliminares das estruturas de pavimento pela Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 do DER/SP, serão realizadas verificações das estruturas embasadas em análise mecanicista. Portanto as estruturas obtidas com o emprego da Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 do DER/SP serão verificadas através de procedimentos mecanicistas, utilizando-se para tal o Programa Computacional Elsym-5 e modelos de fadiga recomendados em literatura nacional e internacional.

Para o dimensionamento das estruturas de pavimentos a serem implantadas serão utilizadas as inequações e conceitos descritos na Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 do DER/SP.

A determinação das camadas constituintes do pavimento se faz pelas seguintes equações:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S \geq H_n$$

$$R \times K_R + B \times K_B + h_{20} \times K_S + h_n \times K_{ref} \geq H_m$$

Onde:

R = espessura do revestimento;

B = espessura da base;

H<sub>20</sub> = espessura sobre a sub-base;

h<sub>20</sub> = espessura da sub-base;

H<sub>n</sub> = espessura sobre o reforço do subleito;

h<sub>n</sub> = espessura do reforço do subleito;

H<sub>m</sub> = espessura do pavimento;

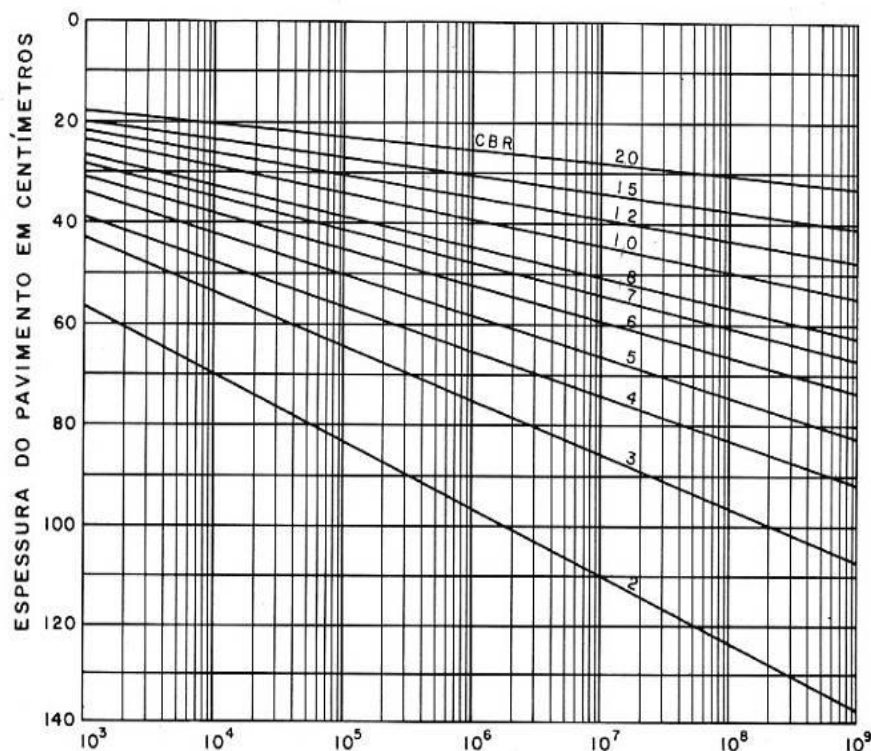
K<sub>R</sub>, K<sub>B</sub>, K<sub>S</sub>, K<sub>ref</sub> = coeficientes de equivalência estrutural.

As espessuras mínimas de revestimento betuminoso são obtidas em função do número N, conforme tabela a seguir:

## ESPESSURAS MÍNIMAS DE REVESTIMENTO

Método DER/SP (2006)	
Número "N"	Tipo e Espessura do Revestimento Asfáltico
$N \leq 1 \times 10^6$	Tratamentos superficiais duplos e triplos
$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura
$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura
$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 15,0 cm de espessura

As espessuras  $H_m$ ,  $H_n$ ,  $H_{20}$  são obtidas pelo gráfico ou através da expressão apresentados a seguir, onde a espessura em termos de material granular é função do número N e do valor de CBRp do subleito, da sub-base ou do reforço do subleito.



Com base no tráfego solicitante e nas condições de suporte, foram dimensionadas as estruturas de pavimento novo considerando os valores apresentados a seguir para os coeficientes de equivalência estrutural dos materiais e CBR previstos.

Para este projeto, o número solicitante é satisfeito com a camada de tratamento. A adoção da camada de rolamento com Concreto Betuminoso Usinado a Quente, visa a maior duração e menor manutenção do trecho, visto que o mesmo se apresenta em área de muita incidência de chuvas e constante umidade. A maior resistência do tipo de revestimento adotado, também proporciona melhor conforto de tráfego ao usuário local. Portanto será adotado a camada mínima de 4,0 cm de Concreto Betuminoso Usinado a Quente.

DOCUMENTO TÉCNICO

EMITENTE  
JJ TOPOGRAFIA LTDA.

## COEFICIENTES ESTRUTURAIS PREVISTOS PARA OS MATERIAIS

<b>Coeficiente de Equivalência Estrutural</b>	
<b>delas, são as seguintes:</b>	
<b>Camada de Pavimento</b>	<b>Estrutural (K)</b>
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,7
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,4
Base ou revestimento betuminoso por penetração	1,2
Base de brita graduada e de macadame hidráulico	1,1
Bases estabilizadas granulometricamente e bases de solo arenoso fino	1
Sub-bases granulares	variável
Reforço do subleito	variável
Base de solo-cimento, com resistência a compressão, aos 7 dias, superior a 45 Km/cm <sup>2</sup>	1,7
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, entre 45 e 28 kg/cm <sup>2</sup>	1,4
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, menor que 28 e maior ou igual a 21 kg/cm <sup>2</sup>	1,2
Idem, com resistência a compressão, aos 7 dias, inferior a 21 kg/cm <sup>2</sup>	1,2
Solo melhorado com cimento, resistência a compressão, aos 7 dias, inferior a 21 kg/cm <sup>2</sup>	1

## 4 Dimensionamento da Estrutura de Pavimento

### Parâmetros Básicos

- Tráfego:  $N = 5,0 \times 10^5$  solicitações do eixo simples padrão de 8,2 ton.;
- Suporte do Subleito: Solo Local + Brita  $CBR_{SL} \geq 8,3\%$  ;
- Camada de Base: Solo Brita - CBR 30% ;  $K=1,0$ ;
- Revestimento: Concreto Betuminoso na espessura (R). Em função das características do tráfego será adotada para a camada de revestimento a espessura de 5,0 cm de CBUQ,  $K_R = 2,0$ ;

$K_{REF} 0,75$  obtido pela Fórmula

$$K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{CBR_{REFORÇO}}{3 \times CBR_{SUBLEITO}}}$$

### 4.1 CÁLCULO DA ESPESSURA DA BASE

Através do Ábaco de Dimensionamento da IP-DE-P00/001 do DER/SP, para  $N = 5,0 \times 10^5$  solicitações e adotando para a camada subjacente à camada de base um valor de suporte  $CBR = 20\%$ , obtém-se o  $H_{20} = 25,0$  cm.

Substituindo na inequação (1), tem-se:

$$R \times K_R + B \times K_B \geq H_{20}$$

$$5,0 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 25,0 \text{ cm}$$

$$10,0 + 1,0 \times B \geq 25,0 \text{ cm}$$

$$B \geq 15 \text{ cm}$$

Será adotada a espessura mínima de 20,0 cm para a camada de base constituída de solo brita.



## 4.2 CONFERÊNCIA DA ESPESSURA EQUIVALENTE

### ESTRUTURA EQUIVALENTE DO PAVIMENTO

A somatória das camadas equivalentes para este projeto (45,0 cm) é maior que a espessura solicitada de  $H_M$  (42,0 cm), portanto, o dimensionamento das espessuras atende as especificações.

Camada	Material	Espessura projeto	Coefficiente estrutural	Espessura equivalente
Revestimento	Concreto Asfalto - CBUQ	5,00	2,00	10,00
Base	Solo Brita 50x50 - CBR 30%	20,00	1,00	20,00
Melhoria do Sub leito	Solo local CBR > 8,3 % ( $M_r = 18 \times I_{SC} 0,64$ )	20,00	0,75	15,00
<b>SOMATÓRIA DAS ESPESSURAS EQUIVALENTE</b>				<b>45,00</b>

## 5 VERIFICAÇÃO MECANICISTA DAS ESTRUTURAS

### OBTIDAS ATRAVÉS DO MÉTODO EMPÍRICO DE DIMENSIONAMENTO

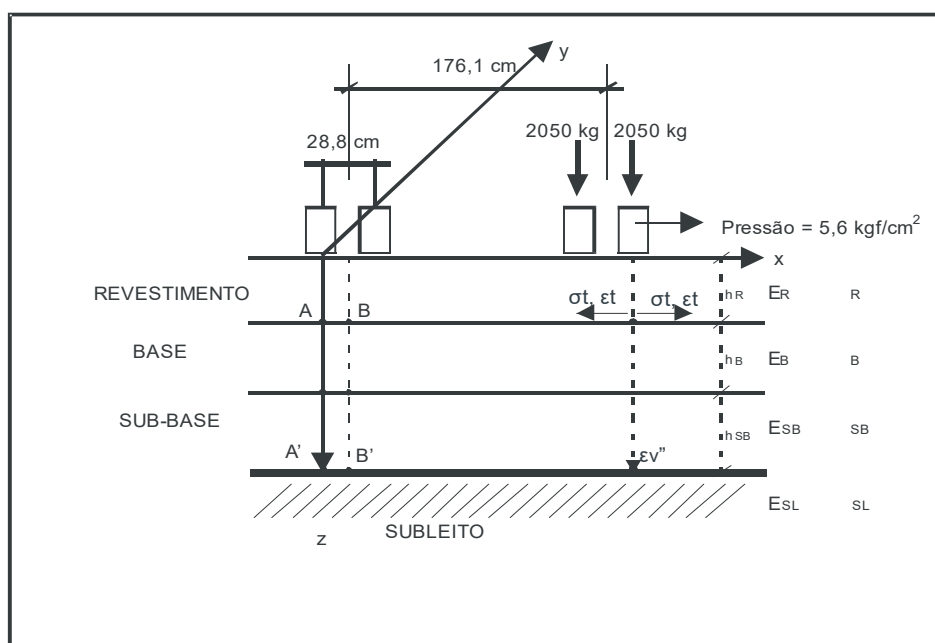
#### 5.1 CONCEITOS E PARÂMETROS BÁSICOS

As estruturas obtidas com o emprego da Instrução de Projeto IP-DE-P00/001 do DER/SP serão verificadas através de Procedimentos Mecanicistas, utilizando-se para tal, o Programa Computacional ELSYM-5 e modelos de fadiga.

O programa ELSYM-5 baseia-se em fundamentos da teoria de elasticidade, utilizando-se métodos indiretos para a solução de equações de equilíbrio e de compatibilidade entre tensões e deformações, geralmente aplicando conceitos de diferenças finitas ou elementos finitos.

O procedimento de cálculo adotado pelo Programa ELSYM-5 idealiza o pavimento como um sistema elástico tridimensional de camadas sobrepostas, semi-infinito no plano horizontal. Os materiais são assumidos como sendo isotrópicos e homogêneos, com comportamento elástico linear.

O modelo para cálculo de tensões, deformações e deflexões adotado é o ilustrado na Figura abaixo



## Modelos para a Análise das diversas camadas da Estrutura Projetada

### Fadiga Quanto às Deformações das Misturas Betuminosas

A principal causa de ruptura por fadiga do revestimento asfáltico são as deformações de tração resultantes dos esforços de tração nas fibras inferiores desta camada.

Para análise da vida de fadiga do revestimento asfáltico utilizou-se o modelo da FHWA (N - AASHTO):

$$N = 1,092 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \frac{1}{\epsilon} \right)^{3,512}$$

onde:

$\epsilon$  = deformação na fibra inferior do revestimento asfáltico referente à solicitação de tração.

### Fadiga Quanto às Deformações de Compressão no Subleito

O solo de fundação é normalmente o material menos resistente da estrutura, portanto é por ele que se inicia a verificação estrutural. Entretanto, uma vez confirmado o seu desempenho, é importante efetuar-se também a análise global para assegurar eventuais problemas devido ao fenômeno da deformação permanente.

A análise é feita comparando-se a máxima deformação específica vertical de compressão ( $\epsilon_v$ ) atuante no topo do subleito, considerando-se um sistema de camadas elásticas, comparando-as com os valores admissíveis correspondentes ao material utilizado.

Nos pavimentos rodoviários onde o tráfego é canalizado, a deformação permanente em geral se manifesta nas chamadas trilhas de roda. Essa deformação devida ao cisalhamento é um dos fatores que precisa ser levado em conta no projeto racional de pavimentos, objetivando-se minimizar as deformações totais dos mesmos.

O modelo utilizado para o cálculo da deformação vertical admissível de compressão no topo da camada de subleito é o apresentado por Dormon:

$$N = 6,067 \times 10^{-10} \times \epsilon_{vadm}^{-4,762}$$

Onde:  $\epsilon_{vadm}$  = deformação vertical admissível de compressão no topo da camada de subleito ( $\times 10^{-4}$  cm/cm)

N = número "N" de solicitações do eixo simples padrão de 8,2 toneladas.

## 5.2 VERIFICAÇÃO MECANICISTA

### Parâmetros Adotados

Os parâmetros adotados na análise mecanicista são os valores convencionalmente utilizados em diversos órgãos rodoviários, constantes em diversas publicações técnicas.

Os materiais utilizados nas diversas camadas da estrutura do pavimento, seus respectivos módulos de elasticidade e coeficientes de Poisson, adotados para a análise mecanicista através do Programa Computacional ELSYM-5, acham-se indicados na Tabela a seguir.

### PONTOS PARA O CÁLCULO DAS TENSÕES E DEFORMAÇÕES / RESULTADOS OBTIDOS (ELSYM-5)

CAMADA	Espessura	MÓDULO DE ELASTICIDADE	COEFICIENTE DE POISSON
	(cm)	(E - kgf / cm <sup>2</sup> )	(u)
Concreto Asfalto - CBUQ	5,0	35.000,00	0,30
Solo Brita 50x50 - CBR 30%	20,0	1.807,93	0,45
Solo local CBR $\geq$ 8,3 % (Mr = 18 x ISC 0,64)	-	615,86	0,45

### 5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na Tabela estão indicadas às posições para o cálculo da tensão de tração na fibra inferior das camadas coesivas (revestimento asfáltico) e base Solo-Brita, bem como para o cálculo da deformação vertical no subleito e da deflexão recuperável do pavimento em relação ao ponto de aplicação da carga, além dos resultados obtidos através do Programa Computacional ELSYM-5.

#### RESULTADOS PARA A CAMADA DE PAVIMENTO

Equação	Autor	K	n	$\sigma_{\text{atuante}}$	N CALCULADO	$\sigma_{\text{admissivel}}$	N SOLICITADO	RESULTADO
1	FHWA (Federal Highway Administration)	1,09E-06	3,512	4,147E-04	8,26E+05	4,94E-04	4,46E+05	ATENDE
4	Pinto & Preussler - CAP - 50/70	2,85E-07	3,69	4,147E-04	8,62E+05	4,96E-04	4,46E+05	ATENDE

#### Deformação Vertical de Compressão no Topo do Subleito ( $\times 10^{-4}$ cm/cm)

Equação	Autor	K	n	N CALCULADO	Ev	N SOLICITADO	RESULTADO
1	Shell ksla (Dormon & Metcalf)	6,07E-10	4,762	9,74E+06	7,37E-04	5,00E+05	ATENDE
2	Shell (claessen, Edwarda, Sommer, Uge)						
	50% de Confiabilidade	6,15E-07	4,000	2,52E+07	1,05E-03	5,00E+05	ATENDE
	85% de Confiabilidade	1,94E-07	4,000	7,95E+06	7,89E-04	5,00E+05	ATENDE
	95% de Confiabilidade	1,05E-07	4,000	4,30E+06	6,77E-04	5,00E+05	ATENDE
3	Asphalt Institute (Santucci)	1,34E-09	4,484	2,43E+06	5,62E-04	5,00E+05	ATENDE

## 6 ESTRUTURAS

A estrutura dimensionada para a pista principal será aplicada também nas áreas de espera (acostamento), por tratarem de curtos trechos sem a necessidade de pavimento específico para os mesmos.

### 6.1 ESTRUTURA PROPOSTA

ESTRADA DO CRISTO	
CAMADA	Espessura
	(cm)
Concreto Asfalto - CBUQ	5,0
PINTURA DE LIGAÇÃO	-
Solo Brita 50x50 - CBR 30%	20,0
PINTURA DE IMPERMEABILIZAÇÃO	-
Solo local CBR > 8,3 % (Mr = 18 x ISC 0,64 )	20,0

#### NOTAS:

A mistura de solo e brita pode ser alterada, contanto que o resultado de 30% de CBR seja obtido. Valores menores que este não devem ser aplicados..

Os drenos de pavimento deverão ser executados conforme PP-DE-H07/125-DER/SP.



## 7 ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE MATERIAIS E SERVIÇOS

A execução dos serviços de pavimentação deverá seguir rigorosamente as instruções de execução e de materiais apresentadas nas especificações técnicas do DER/SP, e na sua inexistência poderão ser utilizadas as especificações do DERSA ou do DNIT (antigo DNER), sem as quais estes dimensionamentos não terão validade.

### ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE MATERIAIS E SERVIÇOS

CÓDIGO	TÍTULO
ET-P00/042	SUB BASE - BASE - PEDRA RACHÃO
ET-DE-P00/001	MELHORIA E PREPARO DO SUBLEITO
ET-DE-P00/002	REFORÇO DO SUBLEITO
ET-DE-P00/006	SUB-BASE OU BASE DE SOLO BRITA
ET-DE-P00/008	SUB-BASE OU BASE DE BRITA GRADUADA
ET-DE-P00/019	IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA IMPERMEABILIZANTE
ET-DE-P00/020	IMPRIMAÇÃO BETUMINOSA LIGANTE
ET-DE-P00/027	CONCRETO ASFÁLTICO
ET-DE-P00/028	CONCRETO ASFÁLTICO POROSO COM LIGANTE MODIFICADO POR POLIMERO - CAMADA POROSA DE ATRITO

## 8 Resultados do sistema computacional

1 ELSYM5 3/72 - 3, SISTEMA ELASTICO DE CAMADAS DE UMA A DEZ CARGAS NORMAIS CIRCULARES UNIFORMES IDENTICAS

----- ADAPTADO EM FEV./88 - SONDOTECNICA - SP - SETOR DE COMPUTACAO

\*\*\* SISTEMA ELASTICO 1 -

	MODULO DE	COEF. DE	
CAMADA	ELASTIC.	POISSON	ESPESSURA
	(KGF/CM2)	(CM)	
1	35000.	.300	5.000
2	1807.	.350	10.000
3	1807.	.450	10.000
4	615.	.450	SEMI-INFINITO

FOUR CARGA(S), CADA CARGA NA SEQUENCIA

VALOR DAS CARGAS..... 2050.00 KGF  
 PRESSAO DE CONTATO..... 5.60 KGF/CM2  
 RAI0 DE CONTATO..... 10.79 CM

DISPOSICAO

CARGA	X(CM)	Y(CM)
1	.000	.000
2	28.800	.000
3	176.100	.000
4	204.900	.000

RESULTADOS REQUISITADOS PARA DISP. DE SISTEMAS

PROF.(S) - (CM)  
 Z= .00 4.99 24.99 42.01  
 PONTO(S) X-Y - (CM)  
 X= .00 14.40 88.05 102.45  
 Y= .00 .00 .00 .00

1 ELSYM5 3/72 - 3, SISTEMA ELASTICO DE CAMADAS DE UMA A DEZ CARGAS NORMAIS CIRCULARES UNIFORMES IDENTICAS

----- ADAPTADO EM FEV./88 - SONDOTECNICA - SP - SETOR DE COMPUTACAO

\*\*\* SISTEMA ELASTICO 1 -

Z= .00 CAMADA NO. 1  
 X= .00 14.40 88.05 102.45  
 Y= .00 .00 .00 .00

TENSOES NORMAIS

SXX -22.25 -2.32 1.48 1.42  
 SYY -26.70 -18.66 -.91 -.78  
 SZZ -5.62 -.09 -.02 .00

TENSOES DE CISALHAMENTO

SXY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00  
 SXZ .1313E-05 .3599E-07 .3656E-07 -.5595E-13  
 SYZ .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

TENSOES PRINCIPAIS

PS 1 -5.62 -.09 1.48 1.42  
 PS 2 -22.25 -2.32 -.02 .00  
 PS 3 -26.70 -18.66 -.91 -.78

TENSAO PRINCIPAL DE CIS.

PSS1 .1054E+02 .9284E+01 .1196E+01 .1096E+01  
 PSS2 .8312E+01 .1117E+01 .7512E+00 .7104E+00  
 PSS3 .2227E+01 .8167E+01 .4444E+00 .3855E+00

DESLOCAMENTOS

UX .2847E-02 .4934E-03 .6964E-03 .1848E-09  
 UY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00  
 UZ .9674E-01 .9765E-01 .4349E-01 .4216E-01

DEF.ESPECIFICAS NORMAIS

EXX -.3585E-03 .9430E-04 .5029E-04 .4715E-04  
 EYY -.5240E-03 -.5124E-03 -.3853E-04 -.3426E-04  
 EZZ .2589E-03 .1773E-03 -.5518E-05 -.5620E-05

DEF.ESP.DE CISALHAMENTO

EXY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00  
 EXZ .9754E-10 .2674E-11 .2716E-11 -.4156E-17  
 EYZ .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

DEF.ESP.PRINCIPAIS

PE 1 .2589E-03 .1773E-03 .5029E-04 .4715E-04  
 PE 2 -.3585E-03 .9430E-04 -.5518E-05 -.5620E-05  
 PE 3 -.5240E-03 -.5124E-03 -.3853E-04 -.3426E-04

DEF.ESP.PRINCIP.DE CIS.

PSE1 .7829E-03 .6897E-03 .8882E-04 .8140E-04  
 PSE2 .6175E-03 .8296E-04 .5581E-04 .5277E-04  
 PSE3 .1655E-03 .6067E-03 .3301E-04 .2864E-04



DOCUMENTO TÉCNICO

CÓDIGO	EC-MC-PAVIMENTO-001	REV.	A1
EMISSÃO	AGOSTO DE 2023	FOLHA	24 de 27
EMITENTE	JJ TOPOGRAFIA LTDA.		

1 ELSYM5 3/72 - 3, SISTEMA ELASTICO DE CAMADAS DE UMA A DEZ CARGAS NORMAIS CIRCULARES UNIFORMES IDENTICAS

----- ADAPTADO EM FEV./88 - SONDOTECNICA - SP - SETOR DE COMPUTACAO

\* \* \* SISTEMA ELASTICO 1 -

Z= 4.99 CAMADA NO. 1

X= .00 14.40 88.05 102.45

Y= .00 .00 .00 .00

TENSOES NORMAIS

SXX 14.58 -3.62 -.75 -.59

SYX 17.93 12.11 -.21 -.22

SZZ -3.19 -1.99 -.01 -.01

TENSOES DE CISALHAMENTO

SXY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

SXZ .2877E+00 -.1341E-02 -.4686E-01 .4060E-08

SYZ .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

TENSOES PRINCIPAIS

PS 1 17.93 12.11 .00 -.01

PS 2 14.59 -1.99 -.21 -.22

PS 3 -3.19 -3.62 -.75 -.59

TENSAO PRINCIPAL DE CIS.

PSS1 .1056E+02 .7868E+01 .3733E+00 .2923E+00

PSS2 .1674E+01 .7054E+01 .1022E+00 .1061E+00

PSS3 .8889E+01 .8145E+00 .2711E+00 .1863E+00

DESLOCAMENTOS

UX -.1032E-02 .2010E-03 .2358E-03 .0000E+00

UY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

UZ .9644E-01 .9779E-01 .4349E-01 .4216E-01

DEF.ESPECIFICAS NORMAIS

EXX .2902E-03 -.1903E-03 -.1950E-04 -.1495E-04

EYY .4147E-03 .3942E-03 .5251E-06 -.1114E-05

EZZ -.3697E-03 -.1297E-03 .8010E-05 .6764E-05

DEF.ESP.DE CISALHAMENTO

EXY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

EXZ .2137E-04 -.9962E-07 -.3481E-05 .3016E-12

EYZ .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

DEF.ESP.PRINCIPAIS

PE 1 .4147E-03 .3942E-03 .8119E-05 .6764E-05

PE 2 .2904E-03 -.1297E-03 .5251E-06 -.1114E-05

PE 3 -.3699E-03 -.1903E-03 -.1961E-04 -.1495E-04

DEF.ESP.PRINCIP.DE CIS.

DOCUMENTO TÉCNICO

PSE1 .7846E-03 .5845E-03 .2773E-04 .2172E-04  
 PSE2 .1243E-03 .5240E-03 .7594E-05 .7878E-05  
 PSE3 .6603E-03 .6050E-04 .2014E-04 .1384E-04

1 ELSYM5 3/72 - 3, SISTEMA ELASTICO DE CAMADAS DE UMA A DEZ CARGAS NORMAIS CIRCULARES UNIFORMES IDENTICAS

----- ADAPTADO EM FEV./88 - SONDOTECNICA - SP - SETOR DE COMPUTACAO

\* \* \* SISTEMA ELASTICO 1 -

Z= 24.99 CAMADA NO. 3

X= .00 14.40 88.05 102.45

Y= .00 .00 .00 .00

TENSOES NORMAIS

SXX .83 .88 -.33 -.32

SYX 1.14 1.23 .05 .03

SZZ -.81 -.87 -.06 -.05

TENSOES DE CISALHAMENTO

SXY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

SXZ .1364E+00 .2560E-02 -.3711E-01 .6286E-08

SYZ .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

TENSOES PRINCIPAIS

PS 1 1.14 1.23 .05 .03

PS 2 .84 .88 -.06 -.05

PS 3 -.82 -.87 -.33 -.32

TENSAO PRINCIPAL DE CIS.

PSS1 .9768E+00 .1049E+01 .1892E+00 .1751E+00

PSS2 .1472E+00 .1756E+00 .5238E-01 .4073E-01

PSS3 .8296E+00 .8731E+00 .1368E+00 .1343E+00

DESLOCAMENTOS

UX -.6686E-02 -.9749E-03 .2497E-02 -.8871E-09

UY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

UZ .7583E-01 .8040E-01 .4384E-01 .4260E-01

DEF.ESPECIFICAS NORMAIS

EXX .3775E-03 .3959E-03 -.1766E-03 -.1717E-03

EYY .6227E-03 .6778E-03 .1230E-03 .1092E-03

EZZ -.9359E-03 -.1005E-02 .3482E-04 .4388E-04

DEF.ESP.DE CISALHAMENTO

EXY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

EXZ .2188E-03 .4109E-05 -.5956E-04 .1009E-10

EYZ .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

DEF.ESP.PRINCIPAIS

PE 1 .6227E-03 .6778E-03 .1230E-03 .1092E-03

DOCUMENTO TÉCNICO

PE 2 .3865E-03 .3959E-03 .3893E-04 .4388E-04  
 PE 3 -.9450E-03 -.1005E-02 -.1807E-03 -.1717E-03  
 DEF.ESP.PRINCIP.DE CIS.  
 PSE1 .1568E-02 .1683E-02 .3037E-03 .2810E-03  
 PSE2 .2362E-03 .2818E-03 .8406E-04 .6536E-04  
 PSE3 .1331E-02 .1401E-02 .2196E-03 .2156E-03  
 1 ELSYM5 3/72 - 3, SISTEMA ELASTICO DE CAMADAS DE UMA A DEZ CARGAS NORMAIS CIRCULARES UNIFORMES IDENTICAS  
 ----- ADAPTADO EM FEV./88 - SONDOTECNICA - SP - SETOR DE COMPUTACAO

\* \* \* SISTEMA ELASTICO 1 -

Z= 42.01 CAMADA NO. 4

X= .00 14.40 88.05 102.45

Y= .00 .00 .00 .00

TENSOES NORMAIS

SXX -.07 -.06 -.13 -.13

SYX -.01 -.02 -.01 -.01

SZZ -.47 -.51 -.09 -.08

TENSOES DE CISALHAMENTO

SXY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

SXZ .8458E-01 .4969E-02 -.3650E-01 .5238E-08

SYZ .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

TENSOES PRINCIPAIS

PS 1 -.01 -.02 -.01 -.01

PS 2 -.05 -.06 -.07 -.08

PS 3 -.49 -.51 -.15 -.13

TENSAO PRINCIPAL DE CIS.

PSS1 .2359E+00 .2491E+00 .7129E-01 .6007E-01

PSS2 .1710E-01 .2264E-01 .2892E-01 .3309E-01

PSS3 .2188E+00 .2265E+00 .4237E-01 .2698E-01

DESLOCAMENTOS

UX -.5672E-02 -.1710E-02 .2107E-02 -.4435E-09

UY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

UZ .6043E-01 .6344E-01 .4365E-01 .4270E-01

DEF.ESPECIFICAS NORMAIS

EXX .2472E-03 .2884E-03 -.1419E-03 -.1484E-03

EYY .3680E-03 .3953E-03 .1451E-03 .1349E-03

EZZ -.7044E-03 -.7794E-03 -.4041E-04 -.2117E-04

DEF.ESP.DE CISALHAMENTO

EXY .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

EXZ .3988E-03 .2343E-04 -.1721E-03 .2470E-10





DOCUMENTO TÉCNICO

CÓDIGO	EC-MC-PAVIMENTO-001	REV.	A1
EMISSÃO	AGOSTO DE 2023	FOLHA	27 de 27
EMITENTE	JJ TOPOGRAFIA LTDA.		

EYZ .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00 .0000E+00

DEF.ESP.PRINCIPAIS

PE 1 .3680E-03 .3953E-03 .1451E-03 .1349E-03

PE 2 .2873E-03 .2885E-03 .8764E-05 -.2117E-04

PE 3 -.7445E-03 -.7795E-03 -.1910E-03 -.1484E-03

DEF.ESP.PRINCIP.DE CIS.

PSE1 .1113E-02 .1175E-02 .3362E-03 .2833E-03

PSE2 .8065E-04 .1068E-03 .1364E-03 .1560E-03

PSE3 .1032E-02 .1068E-02 .1998E-03 .1272E-03