

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Leonardo Miletto Marcuz

**PAVIMENTO INTERTRAVADO: ESTUDO DE CASO EM UM
CONDOMÍNIO HORIZONTAL NA CIDADE DE SANTA MARIA**

Santa Maria, RS
2021

Leonardo Miletto Marcuz

**PAVIMENTO INTERTRAVADO: ESTUDO DE CASO EM UM CONDOMÍNIO
HORIZONTAL NA CIDADE DE SANTA MARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Orientador: Deividi da Silva Pereira

Santa Maria, RS
2021

Leonardo Miletto Marcuz

**PAVIMENTO INTERTRAVADO: ESTUDO DE CASO EM UM CONDOMÍNIO
HORIZONTAL NA CIDADE DE SANTA MARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheiro Civil**.

Aprovado em 04 de Janeiro de 2021:

Deividi da Silva Pereira, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Bruno de Souza Chaves, Mestrando (UFSM)

Lucas Dotto Bueno, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS
2021

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ligia e Ricardo, por tudo! Pela educação e ensinamentos diários, por serem meus maiores exemplos, e por serem os maiores responsáveis pela minha chegada até aqui.

À Natália e ao Leonardo por todo auxílio nesses 5 anos.

À Mariana, minha companheira, por todo carinho e apoio, por objetivar metas e aspirações.

Aos meus colegas e amigos, por tornarem esse caminho mais brando.

Ao professor Deividi Pereira, pelos ensinamentos e pela orientação nesse trabalho.

Aos professores que marcaram positivamente a minha passagem na UFSM, transmitindo muito aprendizado: Talles Araújo, Joaquim Pizzutti, Jaime Freiberg Jr., Magnos Baroni, Raviel Basso, Luciano Specht, Deividi Pereira e Daniel Piccilli.

RESUMO

PAVIMENTO INTERTRAVADO: ESTUDO DE CASO EM UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL NA CIDADE DE SANTA MARIA

AUTOR: Leonardo Miletto Marcuz
ORIENTADOR: Deividi da Silva Pereira

O uso do pavimento intertravado, no Brasil, vem crescendo significativamente nos últimos anos. No entanto, para que esse pavimento não apresente patologias, é necessário que ele seja bem dimensionado. Por isso, esse trabalho tem como objetivo estudar dois diferentes métodos de dimensionamento do pavimento intertravado, através de sua aplicação em uma mesma situação, na implantação do pavimento em um condomínio horizontal na cidade de Santa Maria/RS. A partir do estudo bibliográfico de dois métodos disponíveis para aplicação e do levantamento das premissas para a determinação do número N dentro de um condomínio horizontal (no período de construção das habitações e pós ocupação), foram aplicados os métodos de dimensionamento, da PCA (1984) e da CMAA (2010), que tiveram seus resultados comparados entre si ao final. Notando-se a diferença dos fatores e parâmetros de cada método, foi possível identificar o porquê da discordância nas duas soluções: enquanto o método da PCA apresentou um resultado mais conservador, o método australiano apresentou uma estrutura mais tênue, com custo de execução 25% menor.

Palavras-chave: Pavimento Intertravado. Método CMAA. Método da PCA 1984. Condomínio horizontal. Pavimentos urbanos.

ABSTRACT

INTERLOCKING CONCRETE ROAD PAVEMENTS: CASE STUDY IN A HORIZONTAL CONDOMINIUM IN THE CITY OF SANTA MARIA

AUTHOR: Leonardo Miletto Marcuz

ADVISOR: Deividi da Silva Pereira

The use of interlocking concrete block pavements in Brazil has grown significantly in recent years. However, in order for this floor not to present pathologies, it must be well design. Therefore, this work aims to study two different methods of interlocking pavements design, through its application in the same situation, in the implementation of the internal roads in a horizontal condominium in the city of Santa Maria/RS. Based on the bibliographic study of two methods available for application and the survey of the premises for determining the N number within a horizontal condominium (in the period of construction of the dwellings and after occupation), the design methods of PCA (1984) and CMAA (2010) were applied, which had their results compared to each other at the end. Noting the difference in factors and parameters of each method, it was possible to identify the reason for the disagreement in the two solutions: while the PCA method presented a more conservative result, the Australian method presented a more tenuous structure, with a 25% lower cost of execution.

Keywords: Interlocking concrete road pavements. CMAA method. PCA/1984 method. Horizontal condominium. Urban paving.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Via Ápia, Itália.....	15
Figura 2 – Estrutura do pavimento intertravado.....	16
Figura 3 – Gráfico da faixa granulométrica ideal para a areia de assentamento.	19
Figura 4 – Formatos das peças de concreto.....	21
Figura 5 – Exemplos de arranjos.....	22
Figura 6 – Relação do arranjo com a deformação permanente média.....	23
Figura 7 – Sentido do tráfego.....	24
Figura 8 – Peça de concreto com espaçador.....	26
Figura 9 – Chanfro das peças de concreto.....	27
Figura 10 – Caminhão toco com caçamba.....	30
Figura 11 – Caminhão trucado com trado perfurador.....	31
Figura 12 – Caminhão trucado com <i>munck</i>	31
Figura 13 – Caminhão duplo direcional trucado com betoneira.....	32
Figura 14 – Caminhão duplo direcional trucado com caçamba.....	33
Figura 15 – Determinação do formato das peças.....	38
Figura 16 – Determinação do arranjo das peças.....	39
Figura 17 – Determinação do formato, espessura e arranjo das peças.....	39
Figura 18 – Determinação das espessuras das camadas de base e sub-base de acordo com a quantidade de veículos e CBR, para material granular.....	40
Figura 19 – Localização estadual do terreno em estudo.....	41
Figura 20 – Localização municipal do terreno em estudo.....	42
Figura 21 – Localização do terreno em estudo 1.....	42
Figura 22 – Localização do terreno em estudo 2.....	43
Figura 23 – Disposição dos lotes do terreno em estudo.....	44
Figura 24 – Seção do pavimento dimensionado pelo método PCA/1984.....	54
Figura 25 – Configuração necessária para o funcionamento do <i>Design Pave v1.0</i>	55

Figura 26 – Determinação do método no <i>Design Pave v1.0.</i>	55
Figura 27 – Valores de entrada no <i>Design Pave v1.0.</i>	56
Figura 28 – Seção da estrutura 1 no <i>Design Pave v1.0.</i>	57
Figura 29 – Entrada de dados 1 no <i>Design Pave v1.0.</i>	58
Figura 30 – Determinação da espessura da camada de sub-base 1 no <i>Design Pave v1.0.</i>	58
Figura 31 – Relação ESA X Espessura 1 no <i>Design Pave v1.0.</i>	59
Figura 32 – Seção 1 do pavimento dimensionado pelo método CMAA/2010.....	59
Figura 33 – Seção da estrutura 2 no <i>Design Pave v1.0.</i>	60
Figura 34 – Entrada de dados 2 no <i>Design Pave v1.0.</i>	60
Figura 35 – Determinação da espessura da camada de base 2 no <i>Design Pave v1.0.</i> ...	61
Figura 36 – Relação ESA X Espessura 2 no <i>Design Pave v1.0.</i>	61
Figura 37 – Seção 2 do pavimento dimensionado pelo método CMAA/2010.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Faixa granulométrica recomendada para a camada de assentamento.....	19
Tabela 2 – Quantidade de caminhões utilizados para a construção de uma residência interna ao condomínio em estudo.....	28
Tabela 3 – Estimativa dos caminhões a serem utilizados para a construção de uma residência interna ao condomínio.....	29
Tabela 4 – Fator de equivalência de acordo com o eixo e a carga	35
Tabela 5 – Determinação da espessura das camadas.....	36
Tabela 6 – Carga máxima por eixo.....	44
Tabela 7 – Quantidade total de eixos dos caminhões.....	45
Tabela 8 – Quantidade total de eixos a ser considerada 1.....	45
Tabela 9 – Cálculo do Fator de veículo 1	46
Tabela 10 – Fator de equivalência de acordo com o eixo e a carga	47
Tabela 11 – Quantidade total de eixos a ser considerada 2.....	48
Tabela 12 – Cálculo do Fator de veículo 2.....	49
Tabela 13 – Dados de entrada para o dimensionamento, conforme PCA/1984.....	51
Tabela 14 – Determinação da espessura total das camadas de base e sub-base.....	52
Tabela 15 – Dados para interpolação.	52
Tabela 16 – Espessuras mínimas e máximas das camadas para cada tipo de material ..	53
Tabela 17 – Resumo final.....	54
Tabela 18 – Valores limites dos materiais, por camada.	57
Tabela 19 – Comparação econômica das duas soluções.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CMAA	<i>Concrete Masonry Association of Australia</i>
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ESA	Equivalent Standard Axle
ESRD	Eixo Simples de Roda Dupla
ESRS	Eixo Simples de Roda Simples
ETD	Eixo Tandem Duplo
ETT	Eixo Tandem Triplo
Fd	Fator de Distribuição
FEC	Fator de Equivalência
Ff	Fator de Frota
Fr	Fator Climático Regional
Fs	Fator de Sentido
Fv	Fator de Veículo
P	Período de Projeto
PBT	Peso Bruto Total
PCA	<i>Portland Cement Association</i>
SINAPI	Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil
USACE	<i>United States Army Corps of Engineers</i>
VDM	Volume Diário Médio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA	12
1.2	OBJETIVO GERAL	13
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1	SOLO.....	14
2.2	PAVIMENTO.....	14
2.3	PAVIMENTO INTERTRAVADO.....	14
2.3.1	História do pavimento intertravado	15
2.3.2	A estrutura do pavimento intertravado	16
2.3.2.1	<i>Subleito</i>	17
2.3.2.2	<i>Sub-base</i>	17
2.3.2.3	<i>Base</i>	17
2.3.2.4	<i>Camada de assentamento</i>	18
2.3.2.5	<i>Revestimento</i>	20
2.3.3	Peças de concreto.....	20
2.3.3.1	<i>Formato</i>	20
2.3.3.2	<i>Arranjos</i>	22
2.3.4	Intertravamento.....	23
2.3.4.1	<i>Intertravamento vertical</i>	24
2.3.4.2	<i>Intertravamento horizontal</i>	25
2.3.4.3	<i>Intertravamento rotacional e giratório</i>	27
2.4	O TRANSPORTE DE INSUMOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL	27
2.4.1	Caminhão Toco.....	30
2.4.2	Caminhão trucado	31
2.4.3	Caminhão duplo direcional trucado.....	32
2.5	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO	33
2.5.1	Método PCA/1984	34
2.5.2	Método CMAA.....	37
3	ESTUDO DE CASO	41
3.1	LOCALIZAÇÃO.....	41
3.2	CÁLCULO DO NÚMERO N.....	44
3.2.1	Número N para a construção das unidades habitacionais	45
3.2.2	Número N pós ocupação.....	48
3.2.3	Número N total	50
3.3	DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO PCA/1984	51
3.4	MÉTODO CMAA	54
3.4.1	Primeira estrutura.....	56
3.4.2	Segunda estrutura.....	59
3.5	COMPARAÇÃO ECONÔMICA	62
4	CONCLUSÃO.....	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

A utilização dos blocos de concreto intertravados no Brasil vem crescendo significativamente desde os anos 1990. Acredita-se que esse tipo de pavimentação é oriundo dos chamados “pavimentos revestidos com pedras”, amplamente difundidos na Mesopotâmia em 5000 a.C.

Este tipo de pavimento é largamente utilizado para a construção de calçadas, ciclovias, estacionamentos e ruas. Do mesmo modo, existem, no mercado, diversos tipos e modelos de blocos, de acordo com o tamanho, formato, ou ,até mesmo, a cor. O processo de dimensionamento desse pavimento, para esse uso, é de grande importância, pois é comum de se ver condomínios com a metade de sua ocupação, já com o pavimento em estado crítico.

Esse tipo de pavimento acaba sendo encontrado em lugares que a velocidade deve ser limitada como, por exemplo, em um condomínio horizontal. Conforme Cruz (2003), o pavimento intertravado possui diversas vantagens perante aos outros, tais como: custo reduzido de implantação, agilidade na execução, não requer mão de obra especializada, não exige muita manutenção e redução do consumo de energia elétrica para iluminação.

No Brasil, atualmente, o número de empreendimentos executados pelo Programa Minha Casa Minha Vida vêm crescendo significativamente. Esse programa é regulamentado através da Instrução Normativa nº 12, de 7 de Junho de 2018 (Brasil, 2018), onde consta que as vias de acesso aos empreendimentos deverão apresentar solução de pavimentação definitiva.

1.1 JUSTIFICATIVA

A escolha de um determinado tipo de pavimento para a implantação é feita a partir de estudos prévios sobre aquela localidade e o tipo de tráfego que o mesmo terá. Posto isso, a questão do dimensionamento é o foco deste estudo. Trata-se de definir e caracterizar quais materiais serão utilizados no projeto, juntamente às suas espessuras e/ou tipos. O que vale dizer que o pavimento atenderá às necessidades de tráfego durante o período de tempo estipulado no projeto, sem que haja a necessidade de manutenções (além das já previstas), e ainda garantir que o mesmo continue oferecendo conforto, trafegabilidade e segurança aos usuários.

1.2 OBJETIVO GERAL

Com base nos pressupostos anteriores, este estudo tem como objetivo geral comparar dois diferentes métodos de dimensionamento de pavimento intertravado, por meio de sua aplicação em um mesmo cenário - implantado nas vias internas de um condomínio horizontal na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com o propósito de melhor detalhar o objetivo geral, elencou-se os seguintes objetivos específicos:

- estimar o tipo de solo presente na região estudada;
- adotar parâmetros necessários ao Estudo do Tráfego que utilizará a via após a sua execução;
- definir as camadas e espessuras dos materiais que serão utilizados como base para o projeto do estudo de caso;
- aplicar diferentes metodologias no objeto de estudo do projeto;
- analisar a solução encontrada, identificando os pontos mais relevantes do projeto;
- comparar os custos necessários para cada solução.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLO

A crosta terrestre é formada por rochas que, através de diversos fatores, como a ação do intemperismo, acaba se decompondo ou desagregando, originando o solo, como afirma Santiago (2001). O intemperismo pode ser físico (ação da temperatura e do vento) ou químico (oxidação, carbonatação). A desagregação física gera os pedregulhos e as areias, enquanto a química compõe os siltes e as argilas.

No entendimento da engenharia civil, o solo se trata de um corpo passível de ser escavado, podendo ser utilizado como material de construção e como suporte para construções. Tiscoski (2009) também afirma que o solo é um dos materiais mais antigos utilizados nas construções e está presente na maioria das obras até hoje, ou seja, é fundamental o amplo conhecimento acerca desse material de construção.

2.2 PAVIMENTO

Para o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em seu Manual de Pavimentação de 2006, o pavimento de uma rodovia é a superestrutura formada por uma sequência de camadas de espessuras finitas, sobre uma camada teoricamente infinita, conhecida com subleito ou terreno de fundação.

O pavimento, segundo a NBR 15953 (2011), é a estrutura construída após o término da terraplanagem que tem, como funções, resistir aos esforços horizontais que atuam na estrutura, ou seja, ser capaz de resistir ao trânsito sobre a sua superfície. Além de resistir aos esforços horizontais, deve, também, receber e transmitir de maneira distribuída os esforços verticais ao subleito, sendo estes oriundos das cargas verticais geradas pelos veículos. Contemplando a isso, deve-se oferecer ao usuário um acabamento suficiente às condições de comodidade e segurança.

2.3 PAVIMENTO INTERTRAVADO

Segundo a NBR 15953 (2011), o pavimento intertravado é um tipo de pavimento flexível que é composto pela camada de base (ou base e sub-base), sobreposta por uma

camada de revestimento que, por sua vez, trata-se de peças de concreto dispostas lado a lado, assentadas de maneira que exista um rejunte entre elas a fim de proporcionar o intertravamento dos blocos.

2.3.1 História do pavimento intertravado

De acordo com a ACBP (2010), os pavimentos intertravados tiveram origem na Mesopotâmia, em 5000 a.C.. Naquela época eram conhecidos os pavimentos revestidos com pedra que, mais tarde, em 2000 a.C. foi muito utilizado pelos romanos. Segundo Vellasco (2018), a Via Ápia, localizada na Itália, ficou conhecida como uma das principais estradas da Roma Antiga em 264 a.C., chegando a uma extensão de 600 km. A *Regina Viarum* (do latim, rainha das estradas), foi toda feita utilizando a técnica de pavimentos revestidos com pedra, e continua lá até a data de hoje, servindo como marco histórico e mostrando a qualidade e durabilidade dessa técnica de pavimentação criada há mais de 2000 anos.

Figura 1 – Via Ápia, Itália.



Fonte: Ticketbar (2020).

Esta técnica, mais tarde, passou a ser feita com pedra talhada, conhecida, atualmente, como paralelepípedos. A técnica consistia na mesma utilizada pelos romanos, porém passou-se a trabalhar as pedras, tentando fazer com que elas ficassem com a parte superior com um acabamento reto. Até hoje, encontram-se diversas vias de

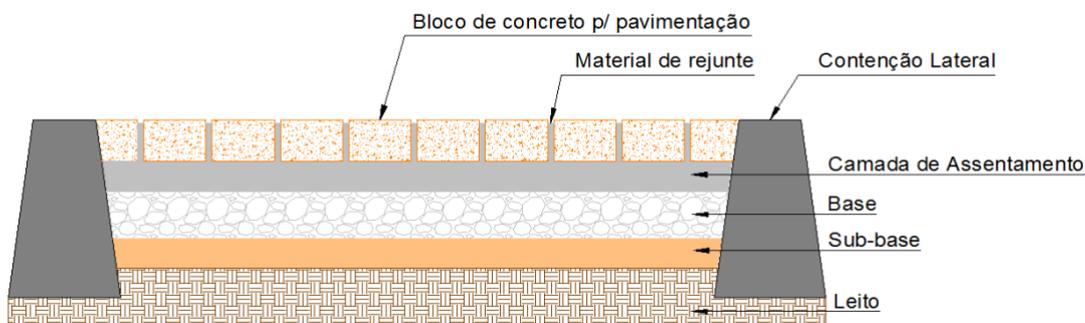
paralelepípedo no Brasil, onde a técnica foi muito difundida, principalmente, em regiões de solo arenoso.

A ABCP (2010) afirma que a dificuldade de produção artesanal das pedras para a composição do paralelepípedo, juntamente com a falta de conforto de rolamento que este pavimento estava proporcionando, acabaram impulsionando o desenvolvimento das peças de concreto pré-fabricadas. Essa técnica ficou muito conhecida na Alemanha e chegou ao Brasil na década de 70.

2.3.2 A estrutura do pavimento intertravado

De acordo com a NBR 15953 (2011), a estrutura de um pavimento intertravado é formada pela combinação das camadas de base e sub-base, com as camadas de assentamento e revestimento. Essa estrutura, como de qualquer tipo de pavimentação, deve suportar o carregamento imposto pelo tráfego e transmitir esses esforços ao terreno de fundação.

Figura 2 – Estrutura do pavimento intertravado.



Fonte: SINAPI (2017).

A Prefeitura de São Paulo (2004) afirma que o comportamento estrutural do pavimento intertravado é bem próximo ao dos pavimentos flexíveis, o que é constatado ao analisar a maioria dos métodos de dimensionamento existentes.

2.3.2.1 *Subleito*

Segundo a NBR 15953 (2011), o subleito de um pavimento é a superfície obtida pela terraplanagem. Na Figura 2, existe só uma camada correspondente ao leito e subleito, que são separadas em uma estrutura mais complexa. Então, nesse caso, o leito também representa o terreno de fundação do pavimento. Segundo DNIT (2006) o subleito trata-se de uma camada, teoricamente, infinita e capaz de suportar uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas.

Para a ABCP (2010), os requisitos de especificação de qualidade e execução dessa camada são praticamente os mesmos em comparação a esta mesma camada em um pavimento asfáltico.

2.3.2.2 *Sub-base*

É a camada corretiva do leito, ou complementar à base, de acordo com a NBR 15953 (2011). A necessidade da existência dessa camada irá depender da magnitude das cargas geradas pelo tráfego e de algumas características dos solos da base e do subleito, como a resistência mecânica e o módulo de elasticidade.

Outra característica que irá implicar na obrigatoriedade dessa camada, de acordo com Cruz (2003), é quando houver muita variação do nível de água daquela região, ou quando houver uma considerável presença de material fino na granulometria do subleito (diâmetro menor que 0,075 mm). Tudo isso é devido à necessidade dessa camada, juntamente a camada de base, apresentarem uma significativa contribuição quanto à drenagem subsuperficial e quanto à capacidade de suporte.

2.3.2.3 *Base*

De acordo com a NBR 15953 (2011), esta camada é responsável por resistir e distribuir os esforços verticais oriundos do tráfego, bem como a camada que irá receber diretamente a camada de revestimento. Isso significa que os esforços provocados pelo tráfego atuarão diretamente no revestimento que, por sua vez, transmitirá essas cargas, de maneira distribuída, à camada subsequente, à camada de base.

Fioriti (2007) afirma que a camada de base também tem a função de proteger as camadas subsequentes, a fim de proteger, principalmente, o subleito das cargas externas, evitando patologias como, por exemplo, a deformação permanente, um dos defeitos mais comuns observados no pavimento intertravado.

Essa camada, de acordo com a ABCP (2010), deverá estar muito bem nivelada, sem a presença de buracos e calombos. Isto é imposto porque a camada seguinte, a camada de assentamento, não poderá corrigir quaisquer imperfeições na camada de base, o que acarretaria em variações na espessura da camada de assentamento. Essa variação não pode existir, porque no próprio momento da compactação das peças de concreto, já estariam evidentes certas ondulações no pavimento.

2.3.2.4 Camada de assentamento

A camada de assentamento é formada, normalmente, por areia, tanto que alguns autores, como Cruz (2003), a chamam de “colchão de areia”. Essa camada consiste em uma espessura delgada de areia onde as peças de concreto serão assentadas.

É função dessa camada de areia tornar uniforme a superfície de assentamento para a colocação das peças de concreto. Essa camada deverá amenizar as variações de espessura das peças de concreto, porque nem sempre as peças de concreto apresentam a mesma espessura. Além disso, segundo a ABCP (2010), a areia de assentamento nunca poderá ser usada para corrigir falhas na camada de base.

Ainda de acordo com a ABCP (2010), esta areia de assentamento será responsável por penetrar, de baixo para cima, nas juntas das peças de concreto logo após a sua colocação e, também, no momento em que estiver ocorrendo a compactação inicial. Essa fase já determinará o início do processo de intertravamento. Ou seja, esse material também servirá como material de rejuntamento.

É determinado que essa camada de areia não ultrapasse os 5 cm, pois uma camada de areia muito espessa poderá apresentar deformações no pavimento com maior facilidade. Por outro lado, essa camada também não poderá ser inferior a 3 cm, devido ao aumento da possibilidade de quebra das peças de concreto.

Segundo Carvalho (1998) a camada de assentamento sempre será composta por areia, podendo conter, no máximo, 5% de silte e argila (em massa) e, no máximo, 10% de material retido na peneira de 4,8 mm de abertura de malha. A faixa granulométrica

recomendada para a camada de assentamento, de acordo com Carvalho (1998), está representada na Tabela 1.

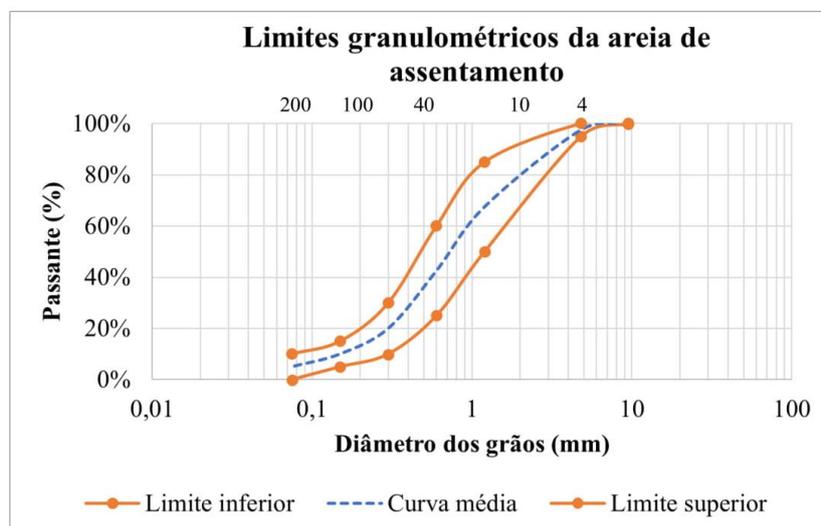
Tabela 1 – Faixa granulométrica recomendada para a camada de assentamento.

Abertura da peneira (mm)	% Passada Camada de assentamento
9,50	100
4,80	95 – 100
1,20	50 – 85
0,60	25 – 60
0,30	10 – 30
0,15	5 – 15
0,075	0 - 10

Fonte: Carvalho (1998).

Com os valores limites, mínimos e máximos, recomendados, segundo Carvalho (1998), foi gerado um gráfico da faixa granulométrica ideal para a areia de assentamento, este explícito na Figura 3.

Figura 3 – Gráfico da faixa granulométrica ideal para a areia de assentamento.



Fonte: Autor (2020).

2.3.2.5 Revestimento

O revestimento, segundo Cruz (2003), deve ser capaz de suportar as cargas e as tensões de contato provocadas pelo tráfego, a fim de proteger o desgaste da camada de base por abrasão. Outra função bastante importante dessa camada é manter a faixa de base com baixo teor de umidade, de modo a propiciar melhor estabilidade do material que a compõe.

A camada de revestimento também pode ser denominada, segundo a NBR 15953 (2011), como uma camada composta por peças de concreto e material de rejuntamento, que irá receber diretamente a ação das cargas.

2.3.3 Peças de concreto

De acordo com a NBR 15953 (2011), as peças de concreto em um pavimento intertravado, tratam-se de componentes pré-moldados de concreto, utilizados como material de revestimento no tipo de pavimento relatado acima.

As peças de concreto para execução do pavimento intertravado, hoje em dia, estão disponíveis, no mercado, nos mais diversos tamanhos e formatos.

2.3.3.1 Formato

O formato das peças de concreto que serão utilizadas como revestimento no pavimento intertravado, influenciará, segundo Fioriti (2007), diretamente no seu tipo de uso e durabilidade. Entretanto, muitas vezes, o formato das peças se dá pela aparência, como na execução de calçadas, por exemplo, onde não existirá uma grande demanda por resistência e o que acaba definindo o formato (e a coloração) das peças é a sua aparência.

Na Figura 4, estão dispostos alguns dos formatos mais comuns presentes no Brasil, sendo o “Prisma” e o “16 faces” os principais deles.

Figura 4 – Formatos das peças de concreto.



Fonte: Fernandes (2013).

O “Prisma”, também conhecido como “intertravado retangular reto”, acaba sendo muito difundido por sua fácil fabricação e simples assentamento. Além de ter um visual bem neutro.

Já o “16 faces”, que é comumente conhecido como “intertravado retangular angular”, é muito utilizado devido as suas propriedades estruturais, devido a sua grande capacidade de suporte à carga. Esse tipo de peça acaba apresentando uma grande área lateral, o que acaba por aumentar o atrito com as peças vizinhas, aumentando o intertravamento do sistema e melhorando a distribuição das cargas para as camadas

inferiores. Devido a isso, acaba sendo utilizado em situações de cargas acentuadas, locais que demandem uma grande capacidade de suporte estrutural, como pátios de máquinas pesadas, terminais de contêineres, portos, entre outros.

2.3.3.2 Arranjos

O tipo de arranjo escolhido para execução do pavimento repercutirá, em primeiro lugar, na aparência desse pavimento, ou seja, a execução de tal arranjo irá conferir um outro resultado visual ao pavimento. Porém, Cruz (2003) afirma que o modelo de arranjo irá influenciar na durabilidade do pavimento.

A Figura 5, a seguir, demonstra alguns tipos de arranjo comuns de serem implantados.

Figura 5 – Exemplos de arranjos.

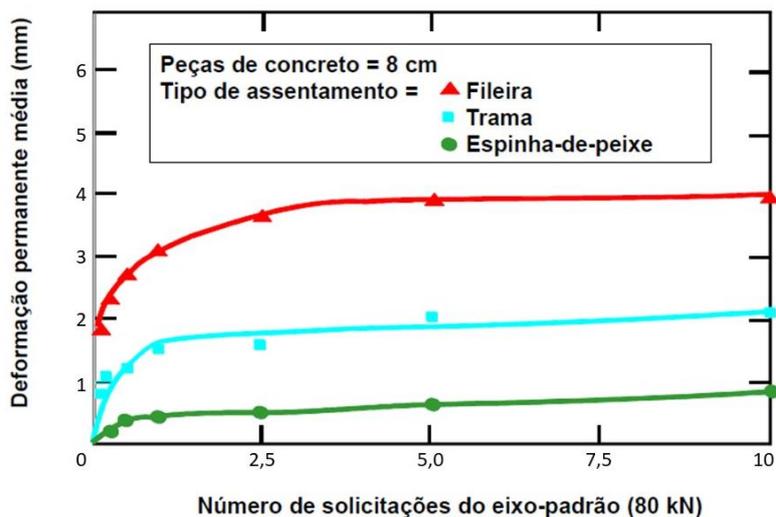


Fonte: ABCP (2010).

Cruz (2003) menciona o boletim técnico 4 do ICPI (2003) ao concluir que se deve adotar o arranjo espinha de peixe em área de tráfego pesado, devido a este tipo de distribuição das peças apresentar um melhor intertravamento, que, por consequência, confere um melhor desempenho estrutural ao pavimento.

Isso pode ser comprovado ao se analisar a Figura 6.

Figura 6 – Relação do arranjo com a deformação permanente média.



Fonte: ABCP (2010).

A Figura 6 compara 3 diferentes tipos de arranjo: fileira, trama e espinha de peixe. Todos os arranjos utilizaram as mesmas peças de concreto, com o mesmo formato e com a mesma espessura. Com o aumento do número de solicitações do eixo-padrão (eixo simples de rodado duplo com carga de 8,2 t e 80 psi de pressão de inflação dos pneus), notou-se um grande aumento de deformação permanente média do arranjo de fileira. Já o arranjo de trama, mostrou-se um pouco mais resistente às atuações das solicitações do eixo-padrão, deformando menos que o arranjo de fileira. Assim, o ensaio revelou que o arranjo de espinha de peixe foi o que menos sofreu deformação permanente média e, por isso, é o arranjo que tem a previsão de conferir um melhor desempenho estrutural ao pavimento.

2.3.4 Intertravamento

O intertravamento das peças de concreto pré-moldadas é a grande questão da funcionabilidade e da durabilidade desse tipo de pavimento, o pavimento intertravado. Segundo a NBR 15953 (2011), o intertravamento é a capacidade que as peças de concreto têm de se manterem estáticas (travadas), devido a sua disposição em relação as peças adjacentes.

De acordo com a NBR 15953 (2011), existem diferentes tipos de intertravamento: vertical, horizontal, rotacional e giratório.

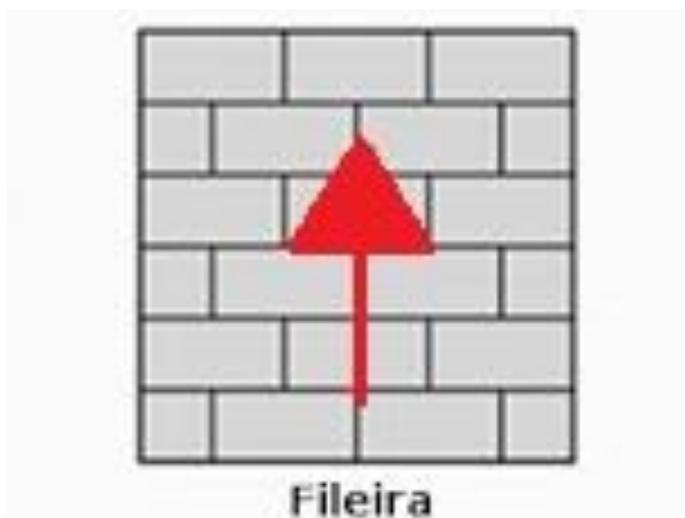
2.3.4.1 Intertravamento vertical

O intertravamento vertical é a capacidade das peças de concreto resistirem ao deslocamento no sentido vertical em relação às peças vizinhas. Cruz (2003) afirma que isso se dá devido aos esforços de cisalhamento absorvidos pela camada de rejuntamento de areia que existe entre as peças, bem como a boa capacidade estrutural das camadas subjacentes ao revestimento.

Outra explicação para este intertravamento vertical, é o contato macho-fêmea que uma peça tem com a outra (isso irá depender do formato de peças adotadas). Esse tipo de travamento só ocorre porque a altura das peças é maior que a distância horizontal entre elas, ou seja, é maior que a espessura do rejuntamento.

É nesse tipo de travamento que é explicado o porquê das peças serem assentadas perpendicularmente, considerando a sua maior dimensão, ao sentido do tráfego. Nesse caso, o intertravamento vertical se dará nos comprimentos das peças, e não nas larguras, o que implicará numa maior eficácia.

Figura 7 – Sentido do tráfego.



Fonte: Adaptado de Salvador premoldados (2020).

2.3.4.2 Intertravamento horizontal

Para Cruz (2003), esse tipo de intertravamento define a incapacidade de uma peça deslocar-se horizontalmente em relação às peças vizinhas. Todo e qualquer tipo de formato das peças ou de arranjo, deverá proporcionar ao pavimento esse tipo de travamento.

Para o intertravamento horizontal, se torna evidente a função da areia de rejuntamento, devendo as juntas entre as peças estarem completamente cheias de areia e de forma bem compactada. A falta de areia nas juntas poderá comprometer esse tipo de intertravamento, bem como o consequente desarranjo das peças e a diminuição da qualidade e durabilidade desse tipo de pavimento.

Fica claro, também, a função da contenção lateral para esse tipo de pavimento. Como para esse tipo de intertravamento são necessárias as peças vizinhas, significa dizer que o travamento irá ocorrer devido à contenção lateral, gerada peça à peça ou peça à contenção lateral. Esta contenção deve ser muito bem fixada para evitar qualquer tipo de movimentação das peças, o que geraria o efeito dominó, onde as peças teriam um espaço para se deslocar, prejudicando o bom funcionamento do pavimento.

Esse tipo de intertravamento, como a NBR 15953 (2011) define, é responsável por dar ao pavimento a capacidade de resistir aos esforços de cisalhamento horizontal causados pelo tráfego, principalmente as cargas geradas pela aceleração e frenagem dos veículos.

A Figura 8, a seguir, mostra como é assegurada a distância correta e igualitária das juntas entre as peças de concreto.

Figura 8 – Peça de concreto com espaçador.



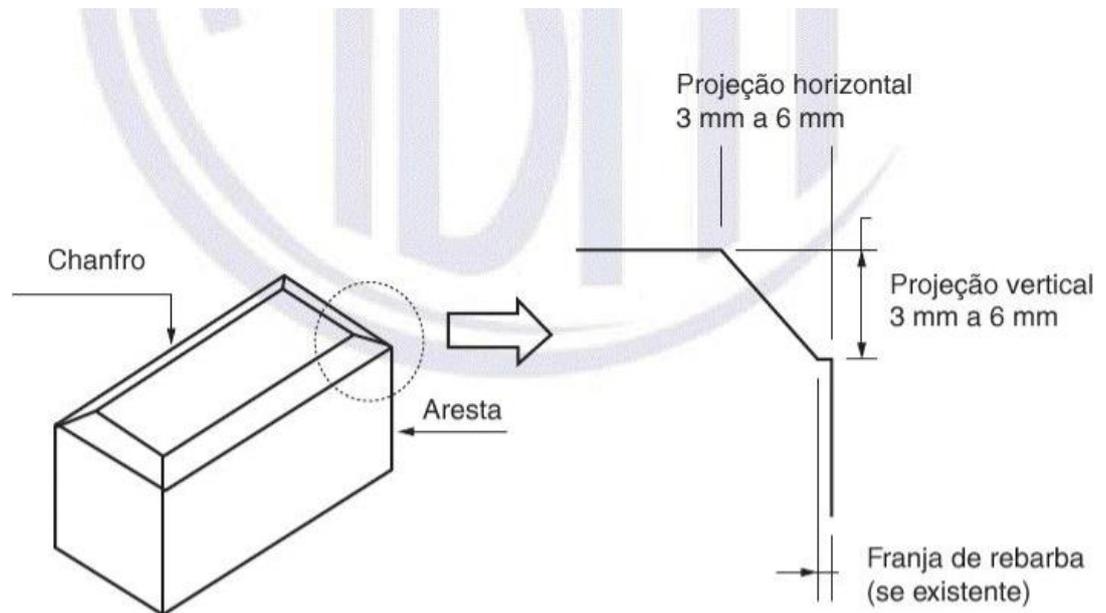
Fonte: Rhino Pisos (2012). Acesso em 30/06/2020.

Essas saliências em todas as periferias das peças faz com que as peças tenham, obrigatoriamente, um espaçamento entre si. É esse espaçamento que deverá ser completamente preenchido por areia.

Outra característica desse tipo de intertravamento é que as laterais das peças não são verticais em toda a sua totalidade, o que ocorre devido ao chamado “chanfro”. A NBR 9781 (2013) determina que esse chanfro tenha de 3 a 6 mm, tanto da projeção horizontal como na projeção vertical. Esse chanfro irá depender tanto de aspectos construtivos, devido à capacidade estrutural das peças, quanto de aspectos de conforto da via a ser pavimentada, devido a eles proporcionarem um melhor acabamento para a rolagem dos pneus.

A Figura 9 determina como deve ser o chanfro das peças de concreto.

Figura 9 – Chanfro das peças de concreto.



Fonte: NBR 9781 (2013). Acesso em 30/06/2020.

2.3.4.3 Intertravamento rotacional e giratório

A NBR 15953 (2011) define esses tipos de intertravamento como a capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços perpendiculares no eixo da peça, ou excêntrico ao eixo.

Esse travamento se torna possível devido à espessura das juntas entre as peças e à restrição dos movimentos proporcionados pelo confinamento lateral e pela capacidade de resistência das camadas subjacentes ao revestimento.

2.4 O TRANSPORTE DE INSUMOS PARA A CONSTRUÇÃO CIVIL

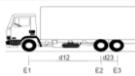
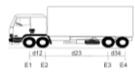
O transporte de materiais de construção civil representa, hoje, uma etapa onerosa e que requer muita atenção durante o processo construtivo. Para a construção de qualquer elemento construtivo, é necessário que os materiais de construção sejam transportados da sua origem até o local da construção.

No caso em estudo, serão estimados os veículos que trafegarão sobre o pavimento em questão. Vale ressaltar que os dados de tráfego mais importantes serão os veículos de

carga, que transportarão os materiais necessários para as construções das unidades habitacionais. O trabalho analisará a quantidade, e a configuração, desses veículos.

De acordo com os estudos realizados pelo autor, os caminhões necessários para a construção de uma residência de, aproximadamente, 250 m² são os representados na Tabela 2 e na Tabela 3.

Tabela 2 – Quantidade de caminhões utilizados para a construção de uma residência interna ao condomínio em estudo.

		TOTAL	Configuração	PBT (ton)
	Caminhão toco	41	1 ESRS + 1 ESRD	16
	Caminhão trucado	42	1 ESRS + 1 ETD	23
	Caminhão duplo direcional trucado	12	2 ESRS + 1 ETD	29

Fonte: Autor (2020).

Tabela 3 – Estimativa dos caminhões a serem utilizados para a construção de uma residência interna ao condomínio.

Etapas	Tipo	Utilidade	Configuração	Quantidade
Limpeza do terreno	Caminhão toco	Remover ou carregar terra	1 ESRS + 1 ESRD	30
	Caminhão trucado	Responsável pela furação	1 ESRS + 1 ETD	2
Fundações	Caminhão duplo direcional trucado	Concreto para as fundações	2 ESRS + 1 ETD	4
	Caminhão toco	Madeira	1 ESRS + 1 ESRD	3
	Caminhão toco	Areia	1 ESRS + 1 ESRD	4
	Caminhão toco	Brita	1 ESRS + 1 ESRD	4
	Caminhão trucado	Alvenaria	1 ESRS + 1 ETD	4
	Caminhão trucado	Argamassa	1 ESRS + 1 ETD	15
Andamento	Caminhão trucado	Aço	1 ESRS + 1 ETD	3
	Caminhão trucado	Pré-laje	1 ESRS + 1 ETD	2
	Caminhão duplo direcional trucado	Concreto para as lajes	2 ESRS + 1 ETD	8
	Caminhão trucado	Bomba/Lança para o concreto	1 ESRS + 1 ETD	2
	Caminhão trucado	Entulho	1 ESRS + 1 ETD	4
Finalização	Caminhão trucado	Acabamentos	1 ESRS + 1 ETD	10

Fonte: Autor (2020).

Inicialmente foram feitas pesquisas que buscassem esses dados, porém, sem êxito. Dadas as restrições vividas durante o ano de 2020, a pesquisa sofreu limitações tanto no trabalho de campo como nos ensaios de laboratório. Desse modo, optou-se por buscar tais dados com pessoas que pudessem ser a fonte mais verídica e confiável possível: engenheiros e construtores atuantes há mais de 30 anos na própria cidade de Santa Maria.

Os dados da Tabela 2 e da Tabela 3 foram estimados por meio de questionamentos feitos a esses engenheiros civis e construtores; por meio do diário de obra de algumas residências de área similar; por meio de registro de entrada e saída da portaria de um condomínio horizontal da própria cidade de Santa Maria/RS.

2.4.1 Caminhão toco

O caminhão, como é denominado pelo DNIT, enquadra-se na classe 2C, também chamado de caminhão toco, é provido de 1 Eixo Simples de Roda Simples (ESRS) e 1 Eixo Simples de Roda Dupla (ESRD) e pode ter diversas configurações de carrocerias e transporta uma grande gama de materiais.

De acordo com a Resolução 12 de 1998 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), possui capacidade máxima em seu ESRS de 6,0 toneladas (t), enquanto no ESRD a capacidade máxima permitida é de 10,0 t. Portanto o seu Peso Bruto Total (PBT) é de 16 t.

O caminhão da Figura 10, é um Mercedes-Benz 1718, ano 2008, configurado com uma caçamba de 5m³. É utilizado, normalmente, para o transporte de solo, areia e brita.

Figura 10 - Caminhão toco com caçamba.



Fonte: Autor (2020).

2.4.2 Caminhão trucado

O caminhão trucado se encontra na classe 3C do DNIT, possuindo 1 ESRS e 1 Eixo Tandem Duplo (ETD). A capacidade máxima permitida em seu ESRS é de 6,0 t, enquanto a capacidade máxima do ETD é inferida pelo CONTRAN em 17,0 t. Logo o seu PBT é de 23 t.

O caminhão da Figura 11, é um Ford Cargo 2422, ano 1997. Está configurado com um trado perfurador, que é utilizado para a execução das estacas, elementos de fundação. Já na Figura 12, está um caminhão com *munck*, normalmente utilizado para transportar paletes de tijolos, blocos, pisos, entre outros.

Figura 11 - Caminhão trucado com trado perfurador.



Fonte: Autor (2020).

Figura 12 - Caminhão trucado com *munck*.



Fonte: AECweb (2019). Acesso em 26/10/2020.

2.4.3 Caminhão duplo direcional trucado

Esta configuração encontra-se na classe 4CD do DNIT, configurado com dois eixos direcionais, cada um com 1 ESRS de peso máximo admitido por eixo de 6,0 t. Por sua vez, a parte traseira é formada por 1 ETD, que pode transportar 17,0 t sobre seu eixo. Portanto, seu PBT permitido pelo CONTRAN é de 29,0 t.

Normalmente o caminhão com esta configuração é usado, , com a betoneira, sendo uma outra alternativa frente ao caminhão trucado. O caminhão da Figura 13, está configurado com uma betoneira, utilizado para o transporte de concreto e argamassa usinados.

Figura 13 - Caminhão duplo direcional trucado com betoneira.



Fonte: Engemix (2020). Acesso em 26/10/2020.

Porém, outra configuração para esse tipo de eixos, que vem sendo apresentada com frequência é a versão com caçamba, que permite o transporte de mais carga, se comparada com os outros tipos mostrados anteriormente. Na Figura 14, está o caminhão configurado com a caçamba, na ocasião da foto, carregado de macadame seco.

Figura 14 - Caminhão duplo direcional trucado com caçamba.



Fonte: Autor (2020).

2.5 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO INTERTRAVADO

O dimensionamento dos pavimentos intertravados vem se desenvolvendo há cerca de 40 anos, desde sua utilização para a calçada de pedestres, até a sua utilização para terminais portuários.

O processo de dimensionamento dos pavimentos intertravados pode ser feito de acordo com diversos métodos. Segundo a Prefeitura de São Paulo (2004), os diferentes métodos consideram o funcionamento estrutural semelhante ao de pavimentos flexíveis. Além disso, o desempenho final do pavimento irá depender diretamente da metodologia e da execução do pavimento.

Na próxima seção serão abordados os diferentes métodos de dimensionamento que competem a este trabalho.

2.5.1 Método PCA/1984

Hallack (1998 apud CRUZ, 2003) afirma que o método de dimensionamento de pavimentos intertravados criados pela *Portland Cement Association* (PCA), de 1984, é uma versão adaptada do método de dimensionamento para pavimentos flexíveis, desenvolvido pelo *United States Army Corps of Engineers* (USACE).

Conforme Oliveira (2000), enquanto o método PCA de 1966 utiliza a teoria de Westergaard para a determinação das tensões, o método PCA de 1984 utiliza um modelo de análise estrutural por elementos finitos, levando em consideração alguns detalhes que não eram considerados anteriormente.

Os principais parâmetros desse método de dimensionamento são o tráfego imposto no local e a capacidade de suporte do subleito. Por isso o valor de *California Bearing Ratio* (CBR) torna-se indispensável para a realização do dimensionamento.

Sob a camada de rolamento e assentamento irão as camadas de base e sub-base, necessárias para aumentar a resistência estrutural do pavimento em geral. Para a determinação das espessuras destas camadas, é utilizada uma tabela para a definição da espessura de uma camada única e equivalente.

Posterior a isso, são estabelecidas as espessuras e materiais de cada camada (base e sub-base), de acordo com os coeficientes estruturais.

O dimensionamento é dividido em dois grupos de tipos de carregamentos, sendo o grupo 1 o que se enquadrará nesse estudo. Dentro desse grupo estão os caminhões, veículos que foram quantificados para a realização do dimensionamento.

Deve-se determinar o número de solicitações de cada tipo de carga por eixo e multiplicá-lo pelo seu respectivo fator de equivalência (FEC) em relação ao eixo padrão. Vale ressaltar que para esse método o valor do FEC já é determinado, conforme o que se apresenta na Tabela 4.

Tabela 4 - Fator de equivalência de acordo com o eixo e a carga.

Carga por eixo (tf)	Fator de equivalência	
	Eixos Simples	Eixos Tandem Duplos
4	0,020	0,010
6	0,270	0,080
8	1,000	0,210
10	3,200	0,490
14	22,000	1,900
17		5,600
21		14,000

Fonte: ABCP (2010).

O somatório dos valores dessas multiplicações (para cada tipo de carga), resultará no fator de veículo (FV), dado pela Equação 1.

$$FV = \frac{\sum_{i=1}^n (pi(\%) * FEC_{i,p})}{100} \quad (1)$$

Onde:

Fv - Fator de veículo;

pi - Porcentagem da classe em relação aos veículos amostrados;

FEC - Fator de equivalência.

Após isso, é possível calcular o valor de “N”, que representa o número de repetições de carga de um eixo padrão, ao qual o pavimento estará sujeito ao longo do período de projeto. O valor de N é calculado de acordo com a Equação 2 para o caso de não ocorrência do aumento de tráfego no período de projeto. Já na Equação 3, para caso de aumento de tráfego durante o período de projeto.

$$N = 365 * VDM * P * Fv * Ff * Fs * Fd * Fr \quad (2)$$

Onde:

N - Número de repetições de carga do eixo padrão;

VDM - Volume Diário Médio;

P - Período de Projeto;

Fv - Fator de veículo;

Ff - Fator de frota;

Fs - Fator de sentido;

Fd - Fator de distribuição;

Fr - Fator climático regional.

$$N = 365 * VDM * \left[\frac{(1 + P * t)^2 - 1}{2t} \right] * Fv * Ff * Fs * Fd * Fr \quad (3)$$

Onde:

N - Número de repetições de carga do eixo padrão;

VDM - Volume Diário Médio;

P - Período de Projeto;

t - Crescimento linear do tráfego;

Fv - Fator de veículo;

Ff - Fator de frota;

Fs - Fator de sentido;

Fd - Fator de distribuição;

Fr - Fator climático regional.

Com os valores de *N* e CBR, entra-se na Tabela 5 a fim de determinar a espessura total da camada de base e sub-base, lembrando de respeitar as espessuras mínimas e máximas de cada camada de acordo com o seu material.

Tabela 5 - Determinação da espessura das camadas.

Número de solicitações do eixo-padrão	Espessura total das camadas de base e sub-base (cm)											
	CBR do subleito (%)											
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20	
1.000	26	21	17									
2.000	29	24	20	17								
4.000	33	27	23	19	17							
8.000	36	30	25	22	19							
10.000	37	31	26	23	20	15						
20.000	41	34	29	25	22	17						
40.000	44	37	32	28	24	19	15					
80.000	48	40	35	30	27	21	17					
100.000	49	41	36	31	27	22	17					
200.000	52	44	38	34	30	24	19					
400.000	56	47	41	36	32	26	21					
800.000	59	51	44	39	34	28	23	15				
1.000.000	60	52	45	39	35	28	23	16				
2.000.000	64	55	47	42	38	30	25	17				
4.000.000	68	58	50	45	40	33	27	19				
8.000.000	71	61	53	47	42	35	29	20				
10.000.000	72	62	54	48	43	35	29	21				

mínimo 15 cm

Fonte: ABCP (2010).

Já a espessura dos blocos é determinada através de uma tabela de recomendação da própria PCA/1984. Por fim, se determina o formato e o tipo de assentamento dos blocos de concreto de acordo com a necessidade e/ou disponibilidade de cada tipo.

2.5.2 Método CMAA

O método de dimensionamento de pavimentos intertravados criado pela *Concrete Masonry Association of Australia* (CMAA) começou a ser utilizado na Austrália há mais de 30 anos. Ele surgiu com o intuito apenas estético, mas, hoje, sabe-se que são pavimentos com bom desempenho a serem empregados em diversos usos, principalmente para vias mais residenciais.

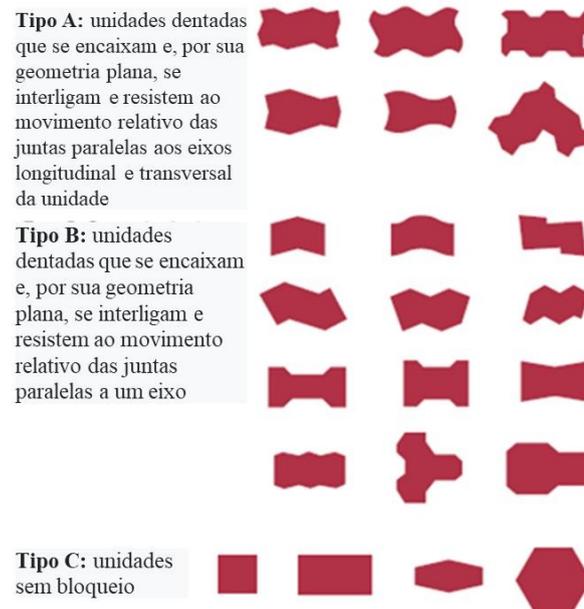
De acordo com CMAA (2010), esse tipo de pavimento apresenta vantagens frente aos demais nos usos em vias residenciais, devido a ele utilizar ao máximo o solo da região, restringir a velocidade e, ainda, proporciona belos visuais.

O dimensionamento é feito a partir do *software Design Pave v1.0*, baseado no método. Inicialmente, é necessário estimar o tráfego que irá carregar o pavimento, e fazer uma investigação do CBR da porção do solo que será utilizada como subleito.

Este método considera que a espessura da camada de areia de assentamento deve ser de, aproximadamente, 2,5 cm. Não é recomendado que essa camada seja mais espessa que 3,0 cm, pois, caso contrário, ela poderá ficar disposta de maneira não uniforme, além de um custo desnecessário.

Para a determinação do formato das peças que será utilizado, é necessário compreender que este fator influenciará muito no uso do pavimento. A Figura 15 apresenta os diversos formatos existentes divididos em três tipos, cada um com suas características. O tipo “A” contém peças que estarão intertravadas em ambos os sentidos, tanto no sentido transversal, quanto no longitudinal. Já as peças do tipo “B” apresentam intertravamento em apenas uma direção. Enquanto as peças do tipo “C” não apresentam intertravamento.

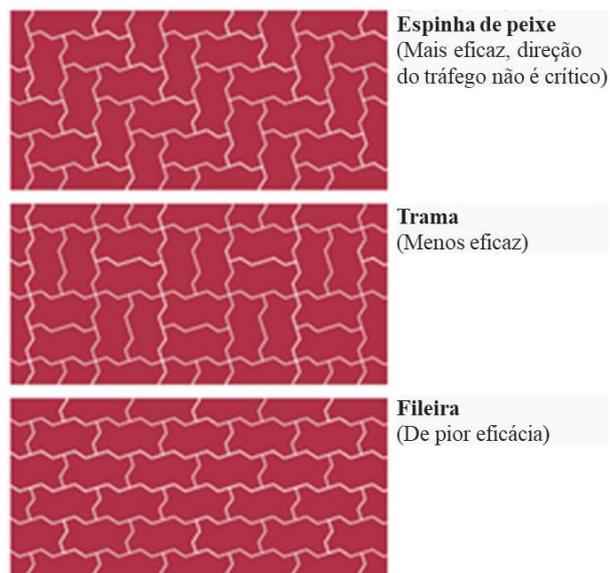
Figura 15 - Determinação do formato das peças.



Fonte: Traduzido de CMAA (2010).

Por outro lado, para a escolha do arranjo a ser utilizado, utiliza-se a Figura 16. Na Figura 16, pode-se observar que o primeiro arranjo é considerado o mais efetivo, o arranjo espinha de peixe. E, como o menos eficaz, foi considerado o arranjo do tipo fileira. Para a determinação geral, tanto do formato, arranjo e espessura da peça, são usados os parâmetros apresentados pela Figura 17.

Figura 16 - Determinação do arranjo das peças.



Fonte: CMAA (2010).

Figura 17 - Determinação do formato, espessura e arranjo das peças.

Tráfego estimado (Veículos comerciais excedendo 3t bruta)	Camada de superfície recomendada		
	Formato	Espessura (mm)	Arranjo
Up to 10 ³	A, B or C	60	H, B or S
10 ³ to 10 ⁴	A	60	H only
	A, B or C	80	H, B or S
Over 10 ⁴	A only	80	H only

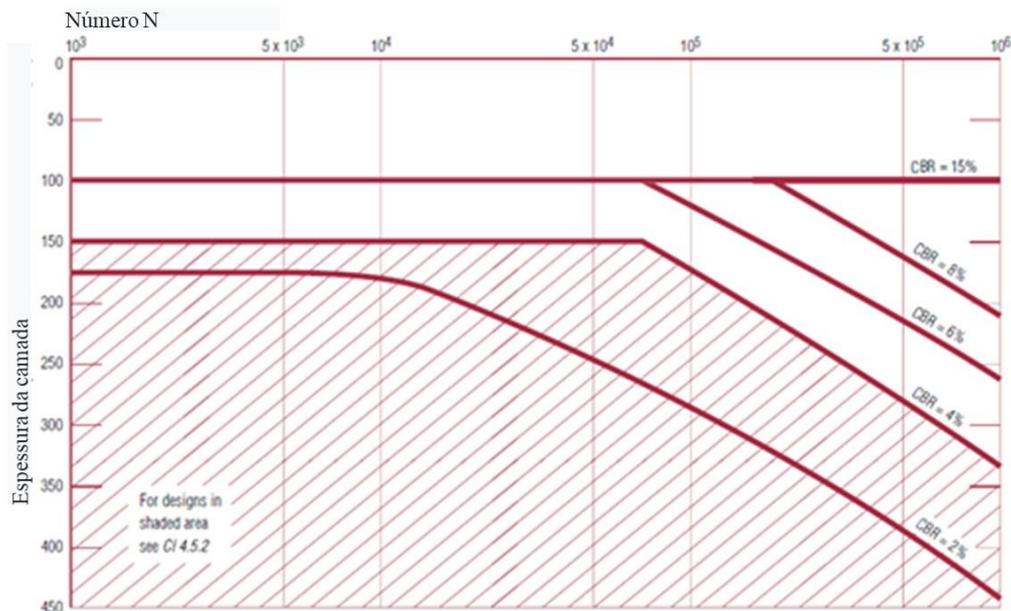
Incluindo tráfego de construção
H=Espinha de peixe, B= Trama, S=Fileira

Fonte: CMAA (2010).

Nota-se que, para o pior caso (de maior solicitação do pavimento), é determinado que se use apenas as peças do tipo “A”, arranjadas em espinha de peixe, com uma espessura da peça de 8,0 cm.

A Figura 18 apresenta a espessura de camada de base necessária de material granular (brita), de acordo com o CBR do subleito e o número de veículos comerciais que irá utilizar o pavimento.

Figura 18 - Determinação da espessura das camadas de base e sub-base de acordo com a quantidade de veículos e CBR, para material granular.

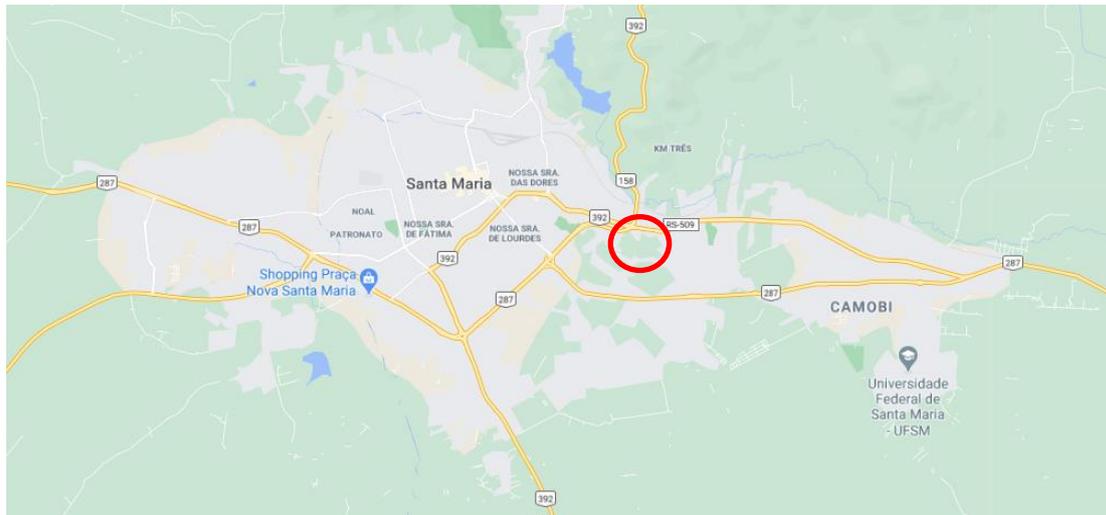


Fonte: CMAA (2010).

O método ainda determina que, para subleitos com CBR menor que 4%, deve-se executar um reforço do subleito, para evitar possíveis futuros problemas. Recomenda-se a estabilização do subleito com uma camada de, no mínimo, 10,0 cm. A camada de estabilização pode ser feita com adição de cal, cinzas volantes, escória granulada, cimento, entres outros, podendo, também, representar uma mistura de adição desses materiais.

O terreno em que será implantado o condomínio está situado na região centro leste da cidade, próximo ao entroncamento das BR-158, BR-392 e RS-509, de acordo com a Figura 20.

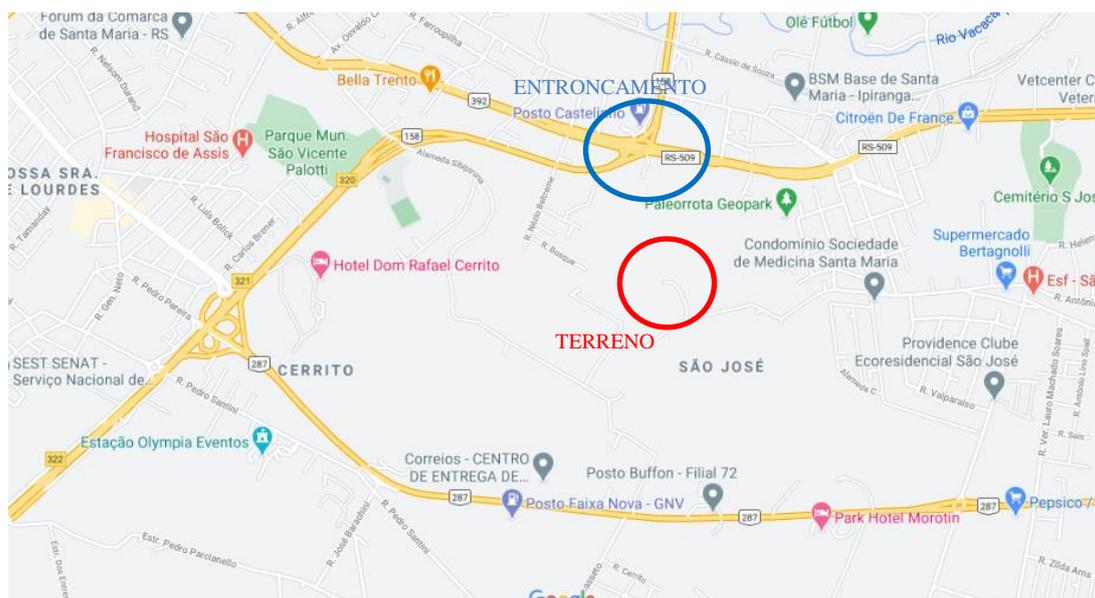
Figura 20 - Localização municipal do terreno em estudo.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2020).

A Figura 21, destaca o entroncamento, relatado anteriormente, em azul, enquanto o terreno do condomínio em estudo está destacado em vermelho.

Figura 21 - Localização do terreno em estudo 1.



Fonte: Adaptado de Google Maps (2020).

Por fim, na Figura 22, destaca-se em amarelo a localização exata do terreno em estudo.

Figura 22 - Localização do terreno em estudo 2.



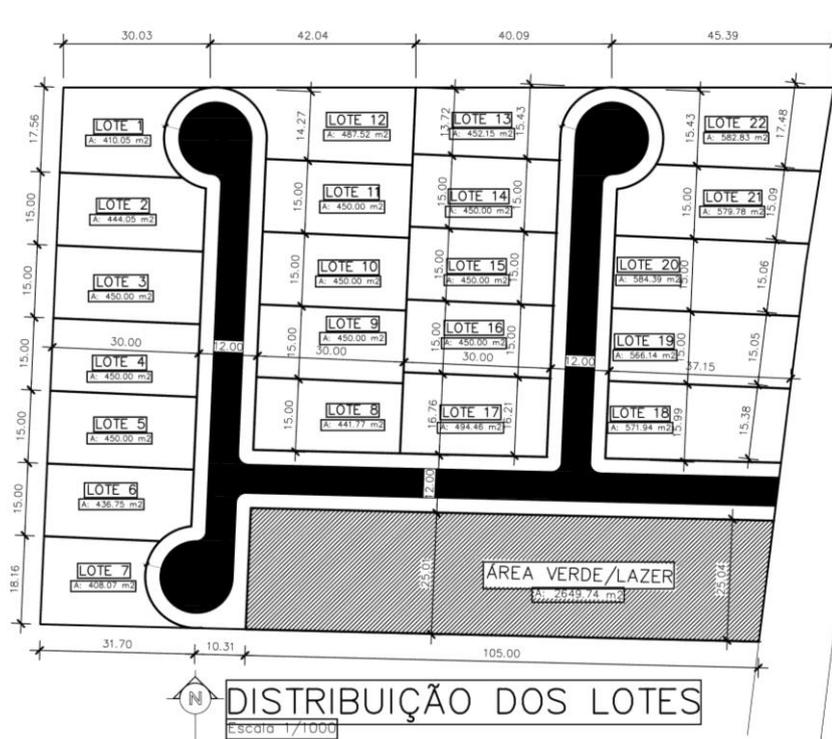
Fonte: Adaptado de Google Maps (2020).

A área de implantação do condomínio é a demarcada em amarelo, com uma área de, aproximadamente, 1,9 hectares. Já a linha em vermelho representa o acesso ao condomínio, que se dará pela Estrada Vicinal Padre Gabriel Bolzan. No topo da Figura 22, está identificada a RS-509, que é a principal rota tanto para o centro da cidade, quanto para o acesso à UFSM e sua região.

O empreendimento em estudo, apresentará 22 lotes, dispostos conforme a Figura 23. Ele contará com 3 vias, dispostas de tal maneira que a saída dos veículos sempre terá o mesmo trajeto que a entrada. Os lotes têm dimensões semelhantes, a maioria deles possuindo 15 m de largura e uma área de 450,00 m².

No total, o condomínio terá 2.057,17 m² de vias a serem pavimentadas. Toda essa área será pavimentada por blocos de concreto arranjados de maneira intertravada.

Figura 23 - Disposição dos lotes do terreno em estudo.



Fonte: Autor (2020).

3.2 CÁLCULO DO NÚMERO N

Para a realização do dimensionamento do pavimento intertravado, seguindo o método da PCA de 1984 e o método da CMAA de 2010, foram assumidos alguns valores essenciais para os cálculos.

A quantidade de veículos que utilizará o pavimento para a construção de uma residência está descrita na Tabela 2. Os eixos desses veículos serão considerados carregados com a sua carga máxima legal de acordo com o que indica o CONTRAN, (2009), conforme a Tabela 6, abaixo:

Tabela 6 – Carga máxima por eixo.

Eixo	Carga Máxima (t)
ESRS	6
ESRD	10
ETD	17

Fonte: CONTRAN (2009).

A partir daqui, o cálculo do número N será dividido em dois períodos. O primeiro período, será o período de construção das habitações residenciais. Já o segundo, será o período de utilização da via do condomínio para seu funcionamento. Será calculado o valor de N para cada um dos períodos, que serão somados ao final.

3.2.1 Número N para a construção das unidades habitacionais

No primeiro, momento será calculada a quantidade de cada tipo de eixo que utilizará o pavimento, para a construção de uma residência, vide Tabela 7.

Tabela 7 – Quantidade total de eixos dos caminhões.

	Quantidade	ESRS	ESRD	ETD
Toco	41	41	41	0
Trucado	42	42	0	42
DD				
Trucado	12	24	0	12
TOTAL	95	107	41	54

Fonte: Autor (2020).

Na Tabela 6, está descrita a quantidade total de eixos que solicitarão o pavimento para a construção de uma residência. Porém, como a entrada e saída do condomínio poderá se dar pela mesma via, esse número irá ser considerado dobrado, pois os veículos trafegarão duas vezes sobre a mesma via, conforme demonstra a Tabela 8.

Tabela 8 – Quantidade total de eixos a ser considerada 1.

	Quantidade	ESRS	ESRD	ETD
Toco	82	82	82	0
Trucado	84	84	0	84
DD				
Trucado	24	48	0	24
TOTAL	190	214	82	108

Fonte: Autor (2020).

Com a quantidade total de eixos a ser considerada para o dimensionamento, dar-se-á o cálculo do F_v , de acordo com a Equação 1, e conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Cálculo do Fator de veículo 1.

Quantidade de Veículos Comerciais Amostrados: 190						
Eixos	Cargas (tf)	Quant.	Pi(%)	FEC	Pi(%) x FEC	
ESRS	6	214	112,63	0,27	30,41	
ESRD	10	82	43,16	3,20	138,11	
ETD	17	108	56,84	5,60	318,32	
ETT	0	0	0,00	0,00	0,00	
Σ					486,83	4,87

Fonte: Autor (2020).

A coluna denominada “Pi(%)” é dada pelo percentual da divisão da quantidade de eixos pela quantidade de veículos comerciais amostrados, ou seja, o valor de 112,63 é dado pela Equação 4.

$$Pi(\%) = \frac{214}{190} = 1,12 = 112,63\% \quad (4)$$

Já os valores de FEC são tabelados, e estão de acordo com a Tabela 10. Enquanto a última coluna, denominada “Pi(%) x FEC”, é dada pela multiplicação das duas colunas anteriores, pela multiplicação de “Pi(%)” e “FEC”, ou seja, o valor de 30,41 é dado pela equação 5.

$$Pi(\%) * FEC = 112,63 * 0,27 = 30,41\% \quad (5)$$

Tabela 10 - Fator de equivalência de acordo com o eixo e a carga.

Carga por eixo (tf)	Fator de equivalência	
	Eixos Simples	Eixos Tandem Duplos
4	0,020	0,010
6	0,270	0,080
8	1,000	0,210
10	3,200	0,490
14	22,000	1,900
17		5,600
21		14,000

Fonte: ABCP (2010).

Por fim, o valor de F_v se dará pelo somatório da última coluna da tabela, ou seja, o valor de F_v é calculado conforme a Equação 6.

$$F_v = \frac{30,41 + 138,11 + 318,32 + 0,00}{100} = 4,87 \quad (6)$$

Feito isso, para o cálculo do N , será utilizada a Equação 2, pois, nesse caso, não existe aumento de tráfego com o passar do tempo. Como, neste caso, a quantidade de veículos não se repetirá diariamente, será feita uma alteração nos cálculos, vide Equações 7 e 8.

$$N_1 = n_{lotes} * Q_v * F_v * F_f * F_s * F_d * F_r \quad (7)$$

Onde:

N_1 - Número de repetições de carga do eixo padrão, no período 1;

n_{lotes} - Número de lotes no condomínio;

Q_v - Quantidade de veículos comerciais amostrados;

F_v - Fator de veículo;

F_f - Fator de frota;

F_s - Fator de sentido;

F_d - Fator de distribuição;

F_r - Fator climático regional.

$$N_1 = 22 * 190 * 4,87 * 1 * 1 * 1 * 1 \quad (8)$$

Onde:

N_1 - Número de repetições de carga do eixo padrão, no período 1;

$n_{lotes} = 22$ - Número de lotes no condomínio;

$Q_v = 190$ - Duas vezes o número de veículos necessários para a construção de uma residência;

$F_v = 4,87$ - Calculado na Tabela 9;

$F_f = 1$ - Porque 100% dos veículos amostrados são comerciais;

$F_s = 1$ - Tráfego unidirecional;

$F_d = 1$ - Ruas estreitas, ou seja, os veículos trafegarão sempre sobre o mesmo lugar, no centro da via;

$F_r = 1$ - Adotado, para a melhor caracterização dos materiais.

Então, de acordo com a Equação 8, tem-se que o N do primeiro período é de 20.350.

3.2.2 Número N pós ocupação

Para o segundo período, será considerada uma estimativa de tráfego que utilizará as vias do condomínio em questão. Para isso, presumiu-se que o pavimento estará sujeito ao trânsito de 2 caminhões toco por dia. Logo, para esse trânsito deverá ser considerado 4 ESRS e 4 ESRD por dia, como mostra a Tabela 11. Lembrando que a quantidade de veículos e, conseqüentemente, de eixos, será considerada dobrada devido aos veículos entrarem e saírem pelo mesmo caminho.

Tabela 11 – Quantidade total de eixos a ser considerada 2.

	Quantidade	ESRS	ESRD	ETD
Toco	4	4	4	0
TOTAL	4	4	4	0

Fonte: Autor (2020).

Em seguida, é necessário determinar o fator de veículo para esse período, da mesma forma que foi calculado no item 3.2.1.

Tabela 12 – Cálculo do Fator de veículo 2.

Quantidade de Veículos Comerciais Amostrados: 4

Eixos	Cargas (tf)	Quant.	Pi(%)	FEC	Pi(%) x FEC	
ESRS	6	4	100,00	0,27	27,00	
ESRD	10	4	100,00	3,20	320,00	
ETD	0	0	0,00	0,00	0,00	
ETT	0	0	0,00	0,00	0,00	
Σ					347,00	3,47

Fonte: Autor (2020).

Os valores de FEC são os mesmos utilizados na Tabela 9, ambos são tabelados conforme a Tabela 10.

Agora, para o cálculo do N, será utilizada a Equação 2, pois nesse caso, também não há um aumento de tráfego conforme o passar do tempo. Para este período o cálculo será feito normalmente, sem nenhuma alteração, conforme Equação 9 e Equação 10.

$$N = 365 * VDM * P * Fv * Ff * Fs * Fd * Fr \quad (9)$$

Onde:

N - Número de repetições de carga do eixo padrão;

VDM - Volume Diário Médio;

P - Período de Projeto;

Fv - Fator de veículo;

Ff - Fator de frota;

Fs - Fator de sentido;

Fd - Fator de distribuição;

Fr - Fator climático regional.

$$N_2 = 365 * 4 * 20 * 3,47 * 1 * 1 * 1 * 1 \quad (10)$$

Onde:

N_2 - Número de repetições de carga do eixo padrão, no período 2;

$VDM = 4$ - Número de veículos comerciais que solicitam o pavimento diariamente;

$P = 20$ - Período de projeto determinado de 20 anos;

$Fv = 3,47$ - Calculado na Tabela 12;

$Ff = 1$ - Porque 100% dos veículos amostrados são comerciais;

$Fs = 1$ - Tráfego unidirecional;

$Fd = 1$ - Ruas estreitas, ou seja, os veículos trafegarão sempre sobre o mesmo lugar, no centro da via;

$Fr = 1$ - Adotado, para a melhor caracterização dos materiais.

Portanto, de acordo com a Equação 10, tem-se que o N do segundo período é de 101.324.

3.2.3 Número N total

Calculados os valores de N para cada um dos períodos, basta somá-los para obter o valor final de N que será utilizado para o dimensionamento. A soma está nas Equações 11, 12 e 13.

$$N = N_1 + N_2 \quad (11)$$

Onde:

N - Número de repetições de carga do eixo padrão, durante o período de projeto do pavimento;

N_1 - Número de repetições de carga do eixo padrão, no período 1;

N_2 - Número de repetições de carga do eixo padrão, no período 2.

$$N = 20.350 + 101.324 \quad (12)$$

$$N = 121.674 = 1,21 * 10^5 \quad (13)$$

3.3 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO PCA/1984

Primeiramente, por não existir nenhuma sondagem no terreno, foi contatado um geólogo com mais de 30 anos de atuação em projetos de fundação na cidade. Esta pessoa, com expertise na área, já realizou obras em regiões próximas ao terreno, por este motivo inferiu que o CBR do terreno em análise, que será utilizado como subleito, pode ser considerado, seguramente, de 4%.

Logo, os dados iniciais para o dimensionamento do pavimento, segundo o método da PCA de 1984, estão na Tabela 13.

Tabela 13 – Dados de entrada para o dimensionamento, conforme PCA/1984.

Dados de entrada	
CBR _{SUBLEITO} =	4%
P =	20 anos
t1=	-
t2=	0% a.a.

Fonte: Autor (2020).

O período de projeto será considerado de 20 anos. Considerando-se a média desse tipo de projeto ser de 15 anos, escolheu-se estender um pouco esse tempo. A taxa de crescimento do tráfego tem dois tempos distintos: no primeiro período não existe essa taxa, e no segundo período ela é considerada 0 pois não há aumento de tráfego.

Agora, com o valor de CBR, descrito na Tabela 13, e com o valor de N, determinado na Equação 13, é possível a entrada na Tabela 14, para obter a espessura total da camada de base e sub-base.

Tabela 14 - Determinação da espessura total das camadas de base e sub-base.

Número de solicitações do eixo-padrão	Espessura total das camadas de base e sub-base (cm)										
	CBR do subleito (%)										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
1.000	26	21	17								
2.000	29	24	20	17							
4.000	33	27	23	19	17						
8.000	36	30	25	22	19						
10.000	37	31	26	23	20	15					
20.000	41	34	29	25	22	17					
40.000	44	37	32	28	24	19	15				
80.000	48	40	35	30	27	21	17				
100.000	49	41	36	31	27	22	17				
200.000	52	44	38	34	30	24	19				
400.000	56	47	41	36	32	26	21				
800.000	59	51	44	39	34	28	23	15			
1.000.000	60	52	45	39	35	28	23	16			
2.000.000	64	55	47	42	38	30	25	17			
4.000.000	68	58	50	45	40	33	27	19			
8.000.000	71	61	53	47	42	35	29	20			
10.000.000	72	62	54	48	43	35	29	21			

mínimo 15 cm

Fonte: Adaptado de ABCP (2010).

Como o valor de N não está na tabela, deverá ser feita uma interpolação dos valores antecessores e sucessores. Neste caso, o valor da espessura total das camadas de base e sub-base deverá estar entre 27 e 30 centímetros. Os dados para a realização da interpolação estão na Tabela 15.

Tabela 15 - Dados para interpolação.

N	H _{SB+B}
100.000	27
121.674	H_{SB+B} ??
200.000	30

Fonte: Autor (2020).

A interpolação segue conforme a Equação 14 e a Equação 15, na sequência.

$$H_{SB+B} = 27 + \frac{121.674 - 100.000}{200.000 - 100.000} * (30 - 27) \quad (14)$$

$$H_{SB+B} = 27,65 \quad (15)$$

Logo, o valor da soma das camadas de base e sub-base deverá ser de, aproximadamente, 28 cm. Para a camada de base foi escolhida a Brita Graduada Simples (BGS) e para a camada de sub-base foi escolhido o material Macadame Seco (MS). Para a determinação da espessura de cada camada, é preciso atentar-se à Tabela 16.

Tabela 16 - Espessuras mínimas e máximas das camadas para cada tipo de material.

Material	Espessura Mínima	Espessura Máxima
BGS	12 cm	20 cm
MS	16 cm	21 cm
SOLOS	15 cm	20 cm
BGTC, SC, CCR	10 cm	20 cm
CA	2,5 cm	7,5 cm

Fonte: DNIT (2006).

Observando a Tabela 16, optou-se por adotar, na camada de base, a espessura mínima de BGS de 12 cm, juntamente com a espessura mínima de MS de 16 cm para sub-base.

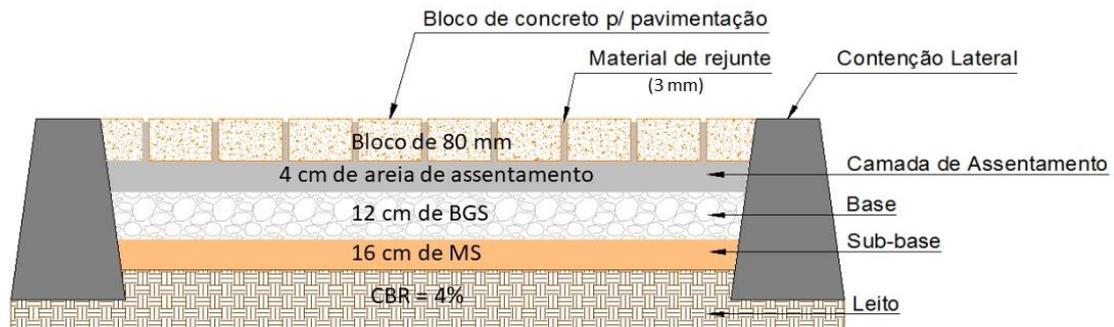
Após isso, faz-se necessária a determinação da espessura das peças de concreto. De acordo com relatório técnico da ABCP (2010) e Carvalho (1998), a espessura das peças pré-moldadas de concreto devem ser definidas em função da solicitação proveniente do tráfego, podendo variar entre 6,0 cm e 10,0 cm. Assim, optou-se por adotar o bloco de 8,0 cm, o que corresponde a um bloco intermediário. O formato do bloco e o tipo de assentamento foram escolhidos de acordo com conhecimentos prévios do assunto, tais como o item 2.2.3.1 e o item 2.2.3.2.

De acordo com o item 2.2.3.1, o formato do bloco escolhido foi o retangular angular, também conhecido como “16 faces”, devido a este apresentar maior capacidade de suporte à carga e proporcionar maior intertravamento. A Figura 4 traz, em uma de suas partes, um exemplo desse tipo de formato de bloco.

Já o arranjo escolhido, também teve como crivo a questão de resistência e desempenho estrutural, por isso, conforme o item 2.2.3.2, foi escolhido o arranjo inclinado, também conhecido como espinha de peixe, conforme Figura 5.

Logo, o pavimento necessário para atender ao tráfego do condomínio em questão, de acordo com a PCA/1984, deverá ter a sua estrutura conforme a Figura 24, e conter as premissas presentes na Tabela 17.

Figura 24 - Seção do pavimento dimensionado pelo método PCA/1984.



Fonte: Adaptado de SINAPI (2017).

Tabela 17 – Resumo final.

$h_{\text{bloco}} =$	8,0 cm
Resist. Bloco	35MPa
Formato Bloco	Retangular Angular
Tipo de Assentamento	Espinha de Peixe à 45°
Juntas entre Blocos	3mm
Espessura da Areia de Assentamento	4,0cm ± 1,0cm

Fonte: Autor (2020).

3.4 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO CMAA

Para o dimensionamento do pavimento intertravado a ser executado no condomínio em questão no trabalho, será utilizado o programa *Design Pave v1.0*, desenvolvido pela própria CMAA.

Ao tentar realizar o dimensionamento, no primeiro momento, o programa retornou valores absurdos. Porém, depois de diversas tentativas, encontrou-se uma solução bastante simples. Nas configurações do próprio computador, foi necessário alterar o item “Formato de região” para “Inglês (Austrália)”, exatamente como mostra a Figura 25. Somente dessa maneira o programa funcionou corretamente.

Figura 25 - Configuração necessária para o funcionamento do *Design Pave v1.0*.

Região

Brasil

O Windows e os apps podem usar o seu país ou região para oferecer conteúdo local.

Formato de região

Formato atual: Inglês (Austrália)

Inglês (Austrália)

O Windows formata datas e horas com base nas suas preferências regionais e de idioma.

Dados de formato de região

Selecione Alterar formatos de dados para alternar entre os formatos de calendário, data e hora com suporte da região.

Calendário:	Gregorian Calendar
Primeiro dia da semana:	Monday
Data curta:	4/11/2020
Data longa:	Wednesday, 4 November 2020
Hora curta:	1:30 PM
Hora longa:	1:30:18 PM

[Alterar formatos de dados](#)

Fonte: Autor (2020).

Com o programa em pleno funcionamento, e depois de preencher os dados de contato, o *software* questiona qual o tipo de pavimento que será calculado, onde, inicialmente, é escolhido o pavimento para uso rodoviário. Após isso, como mostra a Figura 26, foi escolhido o método de dimensionamento *Equivalent Standard Axle* (ESA), que leva em conta o carregamento repetido de um eixo padrão, muito similar ao método PCA/1984.

Figura 26 - Determinação do método no *Design Pave v1.0*.

DesignPave v1.0

File Navigation Help

ROAD DESIGN OPTIONS

CMAA
CONCRETE MAINTENANCE
INSTITUTION OF AUSTRALIA

D. method >> Road/Indus >> ESA/AADT >> Subgrade >> Layers >> Design >> Cost >> Report

This page allows you to estimate design traffic for the pavement using either ESA or AADT methods.
To learn more about ESA or AADT, visit the help file.

ESA

Please click "ESA" to design a pavement thickness using the Equivalent Standard Axle (ESA) load as a calculation of design traffic.

AADT

Please click "AADT" to design a pavement thickness using the Annual Average Daily Traffic (AADT) calculations gathered from carrying out a traffic survey.

NOTE:
AADT is a more accurate method for calculating traffic loads when designing concrete block pavements.

< Previous

Fonte: CMAA (2020).

Posteriormente, faz-se necessária a entrada de alguns valores no programa: o número de repetições de ESA e o CBR do subleito. O número de repetições será o mesmo do método anterior, devido aos dois métodos utilizarem o mesmo valor de carga para o seu eixo padrão, que é de 8,2 t. O CBR do solo que será utilizado como subleito permanece o mesmo, de 4%, isso porque o solo em questão será o mesmo.

A Figura 27 retrata a entrada dos dados mencionados acima, e o próprio programa realiza o cálculo do módulo de resiliência do solo do subleito.

Figura 27 - Valores de entrada no *Design Pave v1.0*.

The screenshot shows the 'DesignPave v1.0' application window. The title bar includes 'File', 'Navigation', and 'Help'. The main header reads 'SUBGRADE MATERIAL PROPERTIES AND EQUIVALENT STANDARD AXLE (ESA) LOAD' with the CMAA logo. A breadcrumb trail indicates the current path: 'D. method >> Road/Indus >> ESA/MAAT >> Subgrade >> Layers >> Design >> Cost >> Report'. Below this, a text box explains the page's purpose: 'This page allows you to input an estimated design traffic figure using ESA and calculate the strength of the subgrade using the California Bearing Ratio (CBR)'. The interface features several input fields and buttons:

- 'Estimated ESA repetitions = 121674' (text input)
- 'Estimated subgrade CBR' (radio button, selected)
- 'Subgrade CBR (%) = 4' (text input)
- 'Or' (text)
- 'Sample CBRs' (radio button, unselected)
- 'Sample subgrade CBR (%) = 4' (text input)
- 'Remove' and 'Add' buttons (for sample CBRs)
- 'Calculate' button
- 'Equivalent subgrade modulus = 40 MPa' (output field)
- 'Equivalent subgrade CBR (%) = ' (output field)
- '< Previous', 'Save', and 'Next >' buttons (navigation)

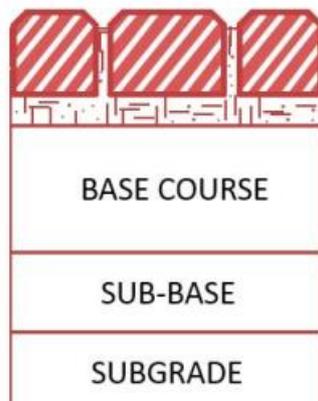
Fonte: CMAA (2020).

O próximo passo é escolher como será configurada a seção desse pavimento. Para fins de estudo, optou-se por dimensionar o pavimento para duas estruturas distintas.

3.4.1 Primeira estrutura

A primeira estrutura a ser dimensionada é idêntica à do método anterior, possuindo uma camada de base de BGS, uma camada de sub-base de MS e o subleito, idem Figura 28.

Figura 28 - Seção da estrutura 1 no *Design Pave v1.0*.



Fonte: CMAA (2020).

Para o dimensionamento em si, serão inseridos no programa as espessuras desejadas das camadas superiores à sub-base, respeitando os limites impostos pela CMAA, juntamente ao módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson do material. Esses valores estão explícitos na Tabela 18 e estão de acordo com Balbo (2016).

Tabela 18 - Valores limites dos materiais, por camada.

	Espessura (mm)		Módulo de resiliência (MPa)		Coeficiente de Poisson	
	Limites	Adotado	Limites	Adotado	Limites	Adotado
Peças de concreto	60 - 120	80	500 - 7500	3200	0 - 0,5	0,3
Areia de assentamento	20 - 40	40	100 - 400	200	0 - 0,5	0,35
Base BGS	≥ 100	120	200 - 800	300	0 - 0,5	0,35
Sub-base MS	≥ 100	x	150 - 450	250	0 - 0,5	0,35
Subleito Solo local	x	x	x	x	0 - 0,5	x

Fonte: Autor (2020).

É necessário entrar com todos esses valores no programa e, feito isso, o próprio programa irá determinar a espessura da camada de sub-base que deverá ser utilizada no projeto. A Figura 29 e a Figura 30, mostram como se dá essa etapa do dimensionamento.

Figura 29 - Entrada de dados 1 no *Design Pave v1.0*.

DesignPave v1.0

File Navigation Help

DESIGN

CMAA
CONCRETE MANAGER
ASSOCIATION OF AUSTRALIA

D method >> Road/Indus >> ESA/AADT >> Subgrade >> Layers >> Design >> Cost >> Report

Use this page to calculate the appropriate design thickness for the pavement.

Hover over boxes for reference values

Please click "Design/Redesign" to calculate the required base course thickness. For a redesign, please edit the surface layer thickness, modulus and Poisson ratio and then click "Design/Redesign" button.

Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's ratio
80	3200	0.30
40	200	0.35
120	300	0.35
Design thickness	?	250
	40	0.40

BASE COURSE

SUB-BASE

SUBGRADE

< Previous Save Next >

Design/Redesign

Fonte: CMAA (2020).

Figura 30 - Determinação da espessura da camada de sub-base 1 no *Design Pave v1.0*.

DesignPave v1.0

File Navigation Help

DESIGN

CMAA
CONCRETE MANAGER
ASSOCIATION OF AUSTRALIA

D method >> Road/Indus >> ESA/AADT >> Subgrade >> Layers >> Design >> Cost >> Report

Use this page to calculate the appropriate design thickness for the pavement.

Hover over boxes for reference values

Please click "Design/Redesign" to calculate the required base course thickness. For a redesign, please edit the surface layer thickness, modulus and Poisson ratio and then click "Design/Redesign" button.

Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's ratio
80	3200	0.30
40	200	0.35
120	300	0.35
Design thickness	100	250
	40	0.40

BASE COURSE

SUB-BASE

SUBGRADE

< Previous Save Next >

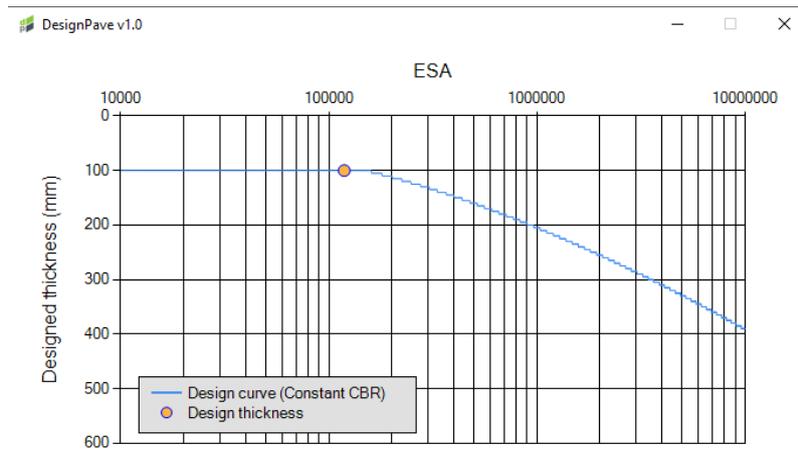
Design/Redesign

1414 of 1414 simulations

Fonte: CMAA (2020).

O programa gera, também, um gráfico que mostra a relação entre o número de carregamentos do eixo padrão, o ESA, e a espessura necessária de sub-base, respeitando as condições impostas pela CMAA, e considerando o valor de CBR igual ao inserido. O gráfico, esse, está abaixo, ilustrado na Figura 31.

Figura 31 - Relação ESA X Espessura 1 no *Design Pave v1.0*.

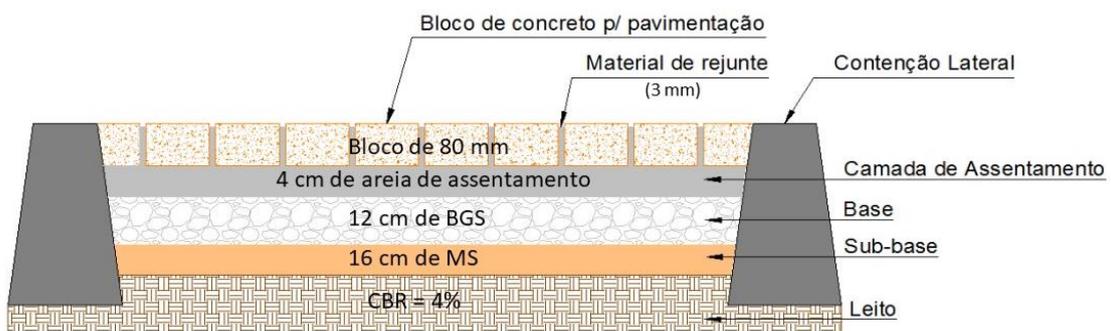


Fonte: CMAA (2020).

Porém, a espessura mínima necessária para execução da camada de sub-base em MS, de acordo com o DNIT (2006), deverá ser de 16,0 cm. Logo, a espessura da camada de sub-base assumida será de 16 cm.

Portanto, a seção determinada pelo *Design Pave v1.0*, segundo a CMAA, deverá ser conforme a Figura 32.

Figura 32 - Seção 1 do pavimento dimensionado pelo método CMAA/2010.



Fonte: Adaptado de SINAPI (2017).

3.4.2 Segunda estrutura

A segunda estrutura a ser dimensionada, não possui uma camada de sub-base. Restando, então, apenas uma camada de base, em BGS, assente sobre o subleito, conforme ilustra a Figura 33.

Figura 33 - Seção da estrutura 2 no *Design Pave v1.0*.



Fonte: CMAA (2020).

O processo é semelhante ao anterior, porém, nesse caso, será a camada de base que terá sua espessura calculada pelo programa. Os valores utilizados no dimensionamento serão os mesmos da Tabela 12, que estão dispostos, também, na Figura 34. Enquanto na Figura 35, já se tem a espessura calculada pelo programa.

Figura 34 - Entrada de dados 2 no *Design Pave v1.0*.

A captura de tela mostra a interface do software DesignPave v1.0. O menu de navegação indica: DESIGN >> D method >> Road/Indus >> ESA/AADT >> Subgrade >> Layers >> Design >> Cost >> Report. O texto principal diz: "Use this page to calculate the appropriate design thickness for the pavement".

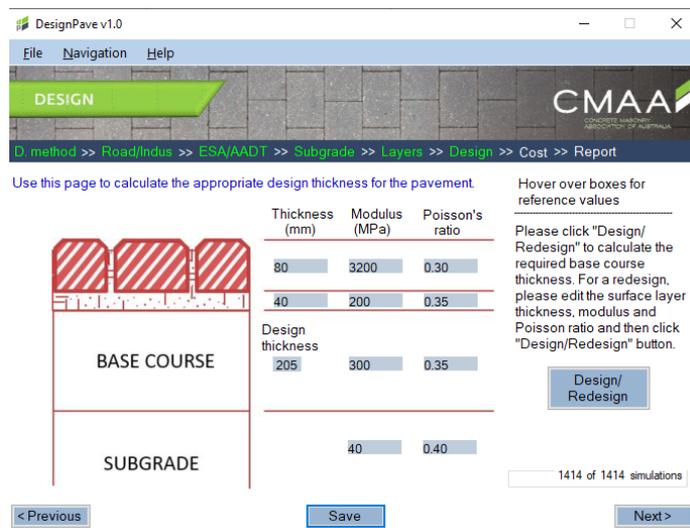
À esquerda, há um diagrama de seção transversal com as camadas 'BASE COURSE' e 'SUBGRADE'. À direita, há uma tabela de dados:

Thickness (mm)	Modulus (MPa)	Poisson's ratio
80	3200	0.30
40	200	0.35
Design thickness	300	0.35
	40	0.40

Abaixo da tabela, há um botão "Design/Redesign". No rodapé, há botões "< Previous", "Save" e "Next >".

Fonte: CMAA (2020).

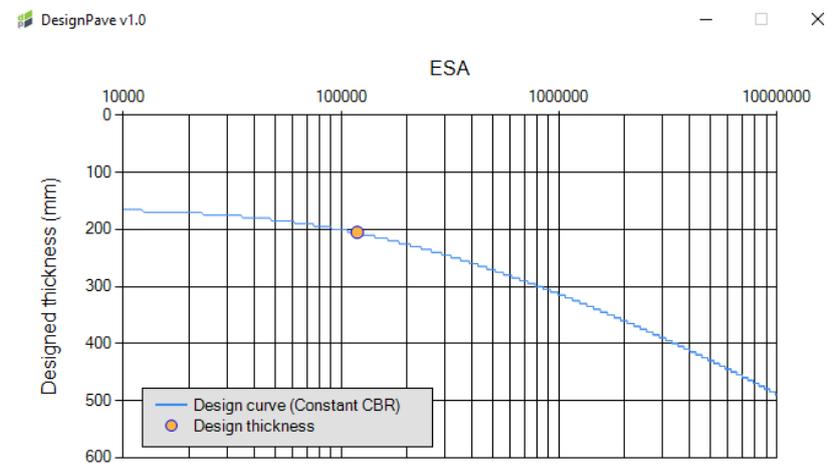
Figura 35 - Determinação da espessura da camada de base 2 no *Design Pave v1.0*.



Fonte: CMAA (2020).

Por conseguinte, o gráfico que relaciona o número de repetições do eixo padrão, ESA, com a espessura necessária da camada de base, é o exposto na Figura 36.

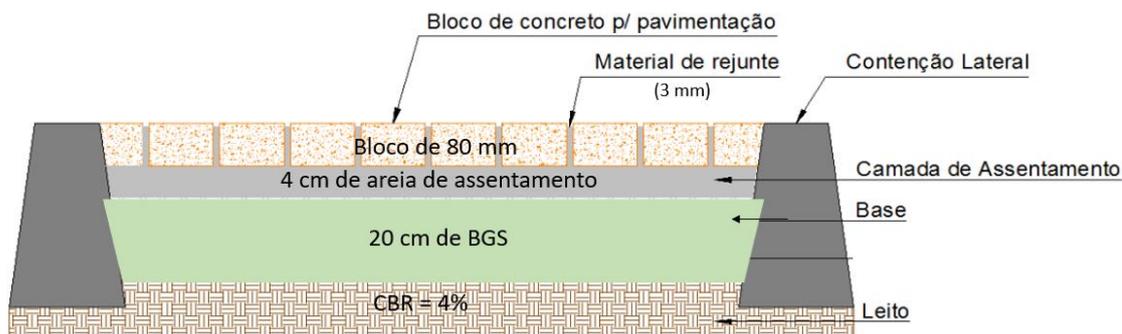
Figura 36 - Relação ESA X Espessura 2 no *Design Pave v1.0*.



Fonte: CMAA (2020).

Assim sendo, o pavimento dimensionado para esse caso, de acordo com o método da CMAA/2010, será o de acordo com a Figura 37.

Figura 37 - Seção 2 do pavimento dimensionado pelo método CMAA/2010.



Fonte: Adaptado de SINAPI (2017).

3.5 COMPARAÇÃO ECONÔMICA

Por fim, as duas soluções distintas serão comparadas economicamente, com a finalidade de entender qual dos dois métodos terá o menor custo. Para isso, será levada em conta apenas a parte da estrutura em que elas se diferem. Os valores em questão serão retirados das composições do Sistema Nacional de Preços e Índices para a Construção Civil (SINAPI) de Setembro de 2020.

De acordo com a composição 96396 do SINAPI (2020), o serviço de “Execução e compactação de base e ou sub-base para pavimentação de brita graduada simples – exclusive carga e transporte” tem preço unitário de R\$ 91,36 / m³. Enquanto o serviço de “Execução e compactação de base e ou sub-base para pavimentação de macadame seco – exclusive carga e transporte” está precificado em R\$ 85,11 / m³, de acordo com a composição 96400 do SINAPI (2020).

Além dessas camadas, deve-se levar em conta as camadas superiores, onde é utilizada a composição 92394 do SINAPI (2020), que trata do serviço de “Execução de pavimento em piso intertravado, com bloco sextavado de 25 X 25 cm, espessura 8 cm”. No valor dessa composição está inclusa a areia de assentamento, e o valor estabelecido é R\$ 47,33 / m².

Outra composição necessária para a realização do orçamento, é a composição 94275 do SINAPI (2020), que precifica o serviço de “Assentamento de guia (meio-fio) em trecho reto, confeccionada em concreto pré-fabricado, dimensões 100x15x13x20 cm (comprimento X base inferior X base superior X altura), para urbanização interna de empreendimentos”. A composição compreende todo esse processo de assentamento,

levando em consideração os materiais e mão de obra necessária. O valor estabelecido é de R\$ 36,90 / m.

De acordo com o projeto, a área a ser pavimentada, é de 2.057,17 m², portanto o comparativo utilizará essa dimensão, conforme segue na Tabela 19. O valor “TOTAL 1” refere-se à estrutura da Figura 24, que foi dimensionada através do método da PCA (1984). Já o “TOTAL 2” refere-se à estrutura da Figura 37 que, por sua vez, foi dimensionada através do método australiano, da CMAA (2010).

Tabela 19 - Comparação econômica das duas soluções.

		Comprim. (m)	Área (m ²)	Espes. (m)	Volume (m ³)	Custo (R\$/m)	Custo (R\$/m ²)	Custo (R\$/m ³)	Total
PCA 1984	MS	-	2057,17	0,16	329,15	-	-	R\$ 85,11	R\$ 28.013,72
	BGS	-	2057,17	0,12	246,86	-	-	R\$ 91,36	R\$ 22.553,17
	AREIA + PAV	-	2057,17	0,04+0,08	-	-	R\$ 47,33	-	R\$ 97.365,86
	MEIO FIO	610	-	-	-	R\$ 36,90	-	-	R\$ 22.509,00
TOTAL 1								R\$ 170.441,74	
CMAA 2010	BGS	-	2057,17	0,2	411,43	-	-	R\$ 91,36	R\$ 37.588,61
	AREIA + PAV	-	2057,17	0,04+0,08	-	-	R\$ 47,33	-	R\$ 97.365,86
	MEIO FIO	610	-	-	-	R\$ 36,90	-	-	R\$ 22.509,00
	TOTAL 2								R\$ 157.463,47

Fonte: Autor (2020)

Logo, é possível notar uma boa diferença de valores entre as duas soluções. O método australiano gerou uma solução de pavimento R\$ 12.978,27 mais barata. Em percentuais, só em relação ao custo total da execução do pavimento, a solução proposta pelo dimensionamento utilizando o método da PCA/1984 mostrou-se, aproximadamente, 10% mais cara que a solução gerada pelo dimensionamento de acordo com o método australiano.

4 CONCLUSÃO

Considerando-se o proposto pelo delinear metodológico deste trabalho, pode-se afirmar que os objetivos iniciais foram atingidos e, a título de conclusão, alguns pontos importantes devem ser destacados:

- por meio da colaboração de profissional qualificado e experiente (geólogo), pode-se inferir o CBR do solo que será utilizado como subleito;

- a estimativa do tráfego foi realizada durante o desenvolvimento do trabalho, juntamente com a determinação das camadas estruturais do pavimento;

- foi necessário estudo para se estimar o tráfego que irá utilizar o pavimento e obteve-se o número N, utilizado para o dimensionamento. Esta estimativa necessária para a realização do trabalho, como não encontrada em quaisquer fontes bibliográficas, necessitou pesquisa, e aprofundamento no tema, pelo próprio autor, inclusive com consulta à pessoas com conhecimento técnico (o motivo dessas consultas estão explicitados nas páginas 30 e 31);

- o que se pôde observar foi que, apesar do método da PCA de 1984 ser recomendado pela ABCP, e tendo conhecimento de que ele é um método que foi aproximado para essa utilização, percebe-se que o mesmo aparenta ser um pouco mais conservador do que o método australiano, devido sua necessidade de camadas mais espessas sendo, conseqüentemente, mais oneroso. Por outro lado, o método da CMAA de 2010, desenvolvido especificamente para esse tipo de pavimento, mostrou-se mais econômico em sua segunda solução;

- por fim, por meio deste trabalho, evidenciou-se que o método australiano, no caso específico aqui utilizado, gerou uma economia de R\$ 12.978,27 no valor da execução do pavimento, o que representa uma economia de, aproximadamente, 4% no valor total do empreendimento, devido às previsões de investimento de R\$ 350.000,00 para toda a infraestrutura;

- os métodos da CMAA e o australiano apresentam divergências em alguns parâmetros, o que levou a soluções de dimensionamentos distintas, podendo um ser mais econômico que o outro, ficando sempre à escolha do projetista sobre qual método de dimensionamento utilizar.

REFERÊNCIAS

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

Associação Brasileira de Normas Técnicas(ABNT). **NBR 9781:2013**. Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. **NBR 15953:2011**. Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

BALBO, T. JOSÉ. **Pavimentação Asfáltica**. 3ª ed. Oficina de Textos, 2016.

CARVALHO, Marcos D. **Associação Brasileira de Cimento Portland – Estudo Técnico – Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. São Paulo, junho de 1998.

CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA - CMAA. **PA01: Concrete Segmental Pavements – Detailing Guide**. Sidney, 2010.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN.. Resolução n. 318, de 05 de junho de 2009. Estabelece limites de pesos e dimensões para circulação de veículos de transporte de carga e de transporte coletivo de passageiros em viagem internacional pelo território nacional. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <
<http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm> >. Acesso em: 09 nov. 2020.

CRUZ, Luiz M. **Pavimento intertravado de concreto: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento**. 2003, 281 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de pavimentos rígidos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Manual de pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006.

ENGEMIX. **Engemix**, c2020. Página inicial . Disponível em
<<https://www.engemix.com.br/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

FERNANDES, I. D. **Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade**. 4. Ed. Ribeirão Preto: Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais Ltda, 2013. 200 p.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (Brasil). Diário Oficial da União. Instrução Normativa nº 12, de 7 de Junho de 2018. Regulamenta o Programa Minha Casa, Minha Vida -

Entidades - PMCMV - E. **Diário Oficial da União**, Brasil, ano 2018, e. 109, s. 1, p. 158, 7 jun. 2018.

LINHA HOLANDESES. SALVADOR PRÉ-MOLDADOS. Disponível em <<http://salvadorpremoldados.com.br/produtos/linha-holandes/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

OLIVEIRA, Patrícia Lizi de. **Projeto estrutural de pavimentos rodoviários e de pisos industriais de concreto**. 2000, 218 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

SÃO PAULO. Prefeitura Municipal. Secretaria de Infraestrutura Urbana do Município de São Paulo. **Dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto – IP-06/2004**. São Paulo, 2004.

SANTIAGO, Cybèle Celestino. **O solo como material de construção**. 2001, 2 ed., rev. Salvador: EDUFBA, 2001.

SINAPI – **Índices da Construção Civil**. Disponível em: < <http://goo.gl/ttgltv> > . Acesso em 30 out.2020.

TISCOSKI, Douglas. **Análise da resistência à compressão simples da Mistura solo cimento e Perma-zyme® para fins Rodoviários**. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2009.

TOUR DE BICICLETA VIA APPIA. TICKETBAR. Disponível em <<https://rome.ticketbar.eu/pt/tours-pela-cidade/via-appia-bike-tour-/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.

VELLASCO, Bruno Quilici. **Análise crítica do controle construtivo de pavimentos com a viga de Benkelman: aplicação ao caso de ampliação do Aeroporto Internacional Tom Jobim no Rio de Janeiro**. 2018. 213 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.