U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

CONCEÇÃO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

JOSÉ LUÍS AZEVEDO RODRIGUES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professor Doutor Jaime Manuel Queirós Ribeiro

SETEMBRO DE 2011

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2010/2011

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 20010/2011 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e Irmã

"A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento."

Platão

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã, por todo o apoio e incentivo ao longo de todo o meu percurso académico.

Ao professor Jaime Queirós Ribeiro, por toda a orientação, disponibilidade e compreensão fundamentais para a realização deste projeto.

À Dona Guilhermina, da secção de Vias de Comunicação, por todo o apoio logístico e colaboração sempre que necessário.

RESUMO

O presente trabalho tem como primeiro objetivo o estudo da conceção de pavimentos rígidos. Para esse efeito, são inicialmente introduzidas algumas noções básicas sobre pavimentos, e em particular pavimentos rígidos. Tais noções foram essencialmente baseadas nos conteúdos das cadeiras de Pavimentos, Obras Rodoviárias, Vias de Comunicação I e Vias de Comunicação II. Alguns conceitos teóricos não lecionados nas cadeiras são também incluídos, já que vão essencialmente servir de fundamento para o dimensionamento. É também apresentado um caso prático para melhor compreensão dos leitores do projeto em causa.

Para uma melhor definição e compreensão do caso em estudo, tabelas e figuras serão apresentadas com o maior rigor possível.

Palavras – Chave: Cimento, Juntas, Dimensionamento.

ABSTRACT

The project now presented has as first goal the study of conception of concrete pavements. For that, some basic notions about pavements are initially introduced, with particular focus on concrete roads. Those notions are essentially based on content units of Pavimentos, Obras Rodoviárias, Vias de Comunicação I and Vias de Comunicação II. Some theoretical concepts that were not taught in the subjects are also included, to be used as base for the design. It´s also presented a practical case for a better understanding for the readers.

For a better definition and comprehension of the case study, tables and figures will be presented with the most accuracy possible.

Key Words: Pavement, Concrete, Jewels, Design.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1

2. ESTADO DE ARTE 3
2.1. CONTEXTO HISTÓRICO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS 3
2.1.1. CASO FRANCÊS 3
2.1.2. CASO NORTE-AMERICANO 6
2.1.3. CASO BRASILEIRO 7
2.1.4. CASO PORTUGUÊS 9

3. GENERALIDADES E CONCEITOS TEÓRICOS PARA DIMENSIONAMENTO 11
3.1. PAVIMENTOS: DEFINIÇÕES DE PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS 11
3.1.1. PAVIMENTOS FLEXÍVEIS 11
3.1.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS 12
3.1.2.1. Betão Simples 12
3.1.2.2. Betão Simples com barras de transferência 13
3.1.2.3. Betão com Armadura Distribuída Descontinua 13
3.1.2.4. Betão com Armadura Distribuída Contínua 14
3.1.2.5. Betão Pré-Esforçado 14
3.1.3. COMPARAÇÃO ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS E PAVIMENTOS FLEXÍVEIS 15
3.2. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS 15
3.2.1. TRÁFEGO 16
3.2.2. FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO 17
3.2.3. CATÁLOGO DE ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS 17
3.2.4. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS E LEIS DE FADIGA 18
3.3. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PELO PCA 19
3.3.1. MODELOS TEÓRICOS 19

3.3.2. PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO 19
3.3.3. ENSAIO CBR E MÓDULO DE REAÇÃO 19
3.3.4. LEI DA FADIGA 21
3.3.5. LEI DA EROSÃO 23

4. CASO DE ESTUDO 25
4.1. PREÂMBULO 25
4.2. CONCEÇÃO GERAL 26
4.2.1. DEFINIÇÃO DO PAVIMENTO EM ESTUDO 27
4.3. DIMENSIONAMENTO PCA/84 28
4.4. DIMENSIONAMENTO ALIZE 30
4.4.1. UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ALIZE 30
4.4.2. RESULTADO DO PROGRAMA ALIZE 33
4.5. COMPARAÇÃO DOS DOIS MODELOS DE DIMENSIONAMENTO 34
4.5.1. COMPARAÇÃO DO ESTUDO DE JEUFFROY E SAUTEREY COM O ESTUDO EM CAUSA 37

5. EXECUÇÃO E ANOMALIAS 39
5.1. MATERIAIS 39
5.1.1. ARMADURA 39
5.1.2. BETÃO 40
5.2. JUNTAS 41
5.2.1. JUNTAS DE ARTICULAÇÃO 41
5.2.2. JUNTAS DE CONTRAÇÃO 42
5.2.3. JUNTAS DE DILATAÇÃO 43
5.3. ESTUDO DE VÁRIAS ANOMALIAS EM PAVIMENTOS RÍGIDOS 44
5.3.1. PATOLOGIA DOS PAVIMENTOS RÍGIDOS 44
5.3.2. TIPO DE FENDILHAMENTO DAS LAJES 45
5.4. TIPO DE DEFEITOS DA SUPERFÍCIE MAIS COMUNS 47

6. CONCLUSÃO 49

BIBLIOGRAFIA 51

ANEXOS .....

A.1. RESULTADOS MÉTODO PCA .....

A.2. RESULTADOS PROGRAMA ALIZÈ .....

A.3. ANÁLISE EXCEL DOS DADOS .....

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Betoneiras de dosagem volumétrica e carrinho de mão, 1925....4
Fig.2 – Pista do aeroporto Roissy....5
Fig.3 – Estrada de Bellefontaine, em betão....6
Fig.4 – Estrada Caminho do Mar, São Paulo....7
Fig.5 – Autoestrada Rio de Janeiro-São Paulo....8
Fig.6 – Estrada Nacional Nº7....9
Fig.7 – Pavimento flexível, camadas estruturais....11
Fig.8 – Perfil de um pavimento de betão simples....13
Fig.9 – Perfil de um pavimento de betão simples com barras de transferência....13
Fig.10 – Perfil de um pavimento com armadura distribuída contínua....14
Fig.11 – Comparação da distribuição de cargas....15
Fig.12 – Correlação entre os valores de CBR e K....20
Fig.13 – Curva de Fadiga....21
Fig.14 – Determinação do número admissível de repetições de carga pela Fadiga....22
Fig.15 – Determinação do número admissível de repetições de carga pela Erosão....24
Fig.16 – Equações analíticas de Westergaard....25
Fig.17 – Esquema do pavimento em estudo....27
Fig.18 – Dados da ficha PCA respetiva a h=0,22 metros e E=60 MPa....28
Fig.19 – Estimativa do valor de repetições permitidas para h=0,22 metros e E=60 MPa....29
Fig.20 – Dados iniciais do Programa ALIZE....31
Fig.21 – Dados intermédios do Programa ALIZE....32
Fig.22 – Dados finais do programa ALIZE....33
Fig.23 – Resultados programa ALIZE....33
Fig.24 – Tabela dos valores da relação de Jeuffroy e Sauterey....38
Fig.25 – Juntas de articulação....42
Fig.26 – Juntas de contração....42
Fig.27 – Juntas de dilatação....43
Fig.28 – Fenómeno de bombagem de finos....44
Fig.29 – Escalonamento das lajes....45
Fig.30 – Fendilhamento em blocos....45
Fig.31 – Fendas longitudinais....46

Fig. 32 – Fendas transversais em pavimentos rígidos 46
Fig. 33 – Fendas de canto 47
Fig. 34 – Defeito das selagens 47
Fig. 35 – Desagregação superficial 48
Fig. 36 – Defeitos das juntas 48

ÍNDICE DE QUADROS (OU TABELAS)

Quadro 1 – Classificação das classes de tráfego pelo Manual de Conceção de Pavimentos 17
Quadro 2 – Definição das classes de fundação 17
Quadro 3 – Catálogo de pavimentos rígidos (betão simples), em cm 18
Quadro 4 – Valores do coeficiente de segurança 27
Quadro 5 – Valor da tensão de tração na placa (bars) para h=0,22 m e E=60 GPa 30
Quadro 6 – Resultados ALIZE da tensão de tração para eixos simples para h=0,22 m e E=60 GPa . 34
Quadro 7 – Valores da relação entre PCA e ALIZE para E=60 MPa e h=0,22 35
Quadro 8 – Valores da relação de tensões entre PCA e ALIZE para E=60 MPa 35
Quadro 9 – Valores da relação de tensões entre PCA e ALIZE para E=75 MPa 36
Quadro 10 – Valores da relação de tensões entre PCA e ALIZE para E=150 MPa 36
Quadro 11 – Valores da relação de tensões entre PCA e ALIZE 37
Quadro 12 – Dimensões das barras de transferência em pavimentos rígidos 39

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

k - coeficiente de recalque [MPa/m]

E - módulo de elasticidade [MPa]

σt – tensão de tração [bars]

CBR – California Bearing Ratio

PCA – Portland Cement Association

LSF – Load Safety Fator

EP – Estradas de Portugal

1
INTRODUÇÃO

O tema proposto para a dissertação do ramo de Vias de Comunicação, "Conceção de Pavimentos Rígidos", apresentou-se como um grande desafio no que se refere ao enquadramento, estudo e dimensionamento de pavimentos de betão.

Como ponto inicial, faremos uma sinopse do elemento básico do estudo, o pavimento.

O pavimento, propriamente dito, pode ser considerado como toda a estrutura laminada e estratificada que se encontra apoiada sobre uma camada final de terraplenagem ou outra infraestrutura e destina-se, essencialmente, a suportar todo o tráfego previsto para um determinado período e a fornecer aos seus usuários conforto, segurança e economia durante esse período. Essa mesma estrutura pode ser constituída por várias camadas e por vários materiais com características diferentes de resistência e deformabilidade. Toda essa variedade de materiais com possibilidade de utilização origina uma grande complexidade no que se refere à análise de tensões e extensões.

No caso em estudo, daremos especial atenção aos pavimentos rígidos. Convém, contudo, fazer uma pequena referência às características dos pavimentos flexíveis e tentar perceber de que forma estes diferem no seu comportamento em relação ao dos pavimentos rígidos.

O trabalho de seguida desenvolvido é composto por uma sucessão de temas e capítulos organizados de maneira a que os objetivos e respetivas conclusões sejam facilmente assimiladas pelos leitores:

- No segundo capítulo haverá uma introdução ao contexto histórico dos pavimentos rígidos e a sua evolução em diferentes países ao longo do tempo;
- O terceiro capítulo dará destaque a alguns conceitos teóricos, relacionados com as variáveis que fazem parte do dimensionamento de um pavimento rígido, essenciais para compreensão dos fenómenos físicos do caso de estudo em concreto;
- Já no quarto capítulo é realizado um pequeno estudo de um caso prático através do dimensionamento de um pavimento rígido visando dois processos distintos;
- No quinto capítulo serão referidas quais os materiais a serem utilizados e algumas anomalias mais comuns nos pavimentos rígidos;
- No sexto e último capítulo pretende-se explanar de que forma o projeto se desenvolveu, quais as maiores dificuldades encontradas e retirar as devidas conclusões do estudo.

2
ESTADO DA ARTE

2.1. CONTEXTO HISTÓRICO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

A utilização de ligantes hidráulicos em estruturas de pavimentos já era conhecida pelos romanos desde o primeiro século antes de Cristo uma vez que a mistura "2 partes de pozolana natural + 1 parte de cal" era usada para ligar as pedras de estradas romanas.

É admitido que essas estradas de Roma serviam para facilitar o rolamento de tanques, evitar rodas presas na lama nos meses de inverno e evitar o levantamento de nuvens de poeira no período seco.

2.1.1. CASO FRANCÊS

Em França, no início do século XX, algumas secções curtas de pavimentos de betão foram realizadas em estradas secundárias na região de Grenoble, ligando fábricas de cimento e pedreiras. Cerca de 1924, Daniel Boutet, então engenheiro-chefe de pontes e estradas em Pas-de-Calais, lançou um grande programa de reabilitação de betão velho e calçadas antigas, especialmente na Estrada Nacional n º 43 entre Lillers e Chocques. De seguida avançou para a zona norte do país e para cerca de cinquenta troços de estradas nacionais e estradas municipais que foram cobertos pela reabilitação numa extensão total superior a 100 km.

Nesta altura a areia foi usada na pavimentação das estradas velhas, sendo então aplicado um betão muito seco e utilizado um cilindro (considera-se este o ancestral do betão compactado). Estes pavimentos incluíram uma camada inferior com teor de cimento relativamente baixo (250 kg/m^3) com materiais britados, cobertos com uma camada mais fina e com teor de cimento mais elevado (400 kg/m^3) com base em agregado britado. Estas duas camadas eram executadas uma após a outra sem demora, ficando assim interligadas.

As juntas transversais eram de um tipo único, distantes de 10 a 20 metros e eram executadas na mesma altura que o betão por uma placa de madeira compressível (amieiro, choupo), colocada no próprio betão. O fabrico do betão era executado numa ou duas betoneiras de 50-750 L. A mistura era controlada pelo número total de sacos de 50 kg de cimento que entrava na sua composição. As britas, gravilhas e areia eram medidas a carrinho de mão.

Fig.1 – Betoneiras de dosagem volumétrica e carrinho de mão, 1925. (Chaussées en béton de ciment, 1989)

É a partir de 1958, com a construção da autoestrada do "sol" (A6), que a técnica de pavimentos de betão se desenvolveu amplamente em França, fortemente inspirada na experiência utilizada na Califórnia. Esta experiência foi obtida na construção de aeroportos da NATO (1951 - 1955), em várias missões de técnicos franceses nos EUA e a posterior aquisição de equipamentos excedentes.

A principal inovação foi a utilização de uma base solo-cimento. O facto de a betonagem ter uma única passagem de 7,50 metros com uma pavimentadora de betão e o primeiro uso do medidor de registo métrico foram outras inovações da altura. Até 1970 foram várias as novidades: a implementação de máquinas de cimento numa única passagem de 9,5 metros e 11 metros de betão (A1) de largura, utilizando-se máquinas Gunter et Zimmerman e a utilização de classificação para bases e sub-bases do pavimento.

Entre 1971 e 1977, a evolução da tecnologia permitiu que novas técnicas fossem aplicadas na construção de estradas com pavimentos rígidos: alargamento da autoestrada do “sol” (A6) com utilização de ancoragens, primeiro reforço de estradas em betão, testes de rastreio de fendilhação, execução de um pavimento experimental em Egletons com betão de fibra, execução de fendas transversais em betão fresco e testes de aplicação de betão por compactação.

No período de 1978 a 1982 algumas novidades devem ser destacadas: a realização de uma secção de pavimento rígido na autoestrada entre a fronteira alemã e Borgonha (A36) com uma base de fundação composta com materiais drenantes, a construção de uma pista de aeroporto em Roissy com lajes de betão com uma base de fundação de 10 centímetros de betão poroso e a colocação de armadura em juntas na reconstrução de vias de autoestradas destinadas a tráfego de pesados.

Fig.2 – Pista do aeroporto Roissy – Charles de Gaulle (flickr.com, 2010)

A introdução de armadura contínua nas lajes de betão ocorre entre 1983 e 1985 para reforço das autoestradas em betão. Nesse período a implantação de armaduras longitudinais é feita sem suporte transversal. É também introduzida uma combinação de duas técnicas belgas no tratamento da superfície: o "jet grouting" e a decapagem química.

De 1986 até aos nossos dias houve uma evolução substancial: a utilização de um molde de betão deslizante, a realização de uma camada composta por dois tipos de betão com uma máquina espalhadora ou a utilização de pavimentos semirrígidos com betão leve.

Esta lista mostra que, em França, os promotores, empreiteiros e empresários, têm trabalhado para desenvolver e evoluir uma técnica que já melhorou muito, mas certamente ainda não é perfeita.

Essas possíveis melhorias incluem:

- Investigação no campo dos ligantes hidráulicos, das bases de fundação e do betão leve de forma a que o custo da construção seja mais baixa, nomeadamente para casos de tráfego mais intenso;
- Drenagem – bermas de betão poroso e drenagem da fundação;
- Geometria das lajes – perfis trapezoidais;
- Rugosidade da superfície – longitudinal e transversal com classificação dessa mesma rugosidade;
- Composição do betão – a natureza e a granulometria dos agregados, tipo de ligante, adição de cinzas;
- Execução das juntas – juntas serradas, moldadas, etc.

2.1.2. CASO NORTE-AMERICANO

Nos Estados Unidos da América, os pavimentos rígidos são predominantes nas infraestruturas rodoviárias há mais de 50 anos. A primeira estrada em betão do país foi construída em Bellefontaine, Ohio, em 1891 e ainda hoje é utilizada. Além disso, a longa duração destes pavimentos não está confinada a uma região da América do Norte nem a nenhum tipo de ambiente ou clima pois o betão tem vindo a resistir aos invernos gelados de Michigan e aos verãos escaldantes do sudoeste.

Fig.3 – Estrada de Bellefontaine, em betão (acpa.org, 2011)

Os pavimentos rígidos são mais conhecidos como estruturas para autoestradas; contudo, o betão é também uma solução durável, económica e sustentável para estradas rurais, ruas na cidade, acessos residenciais, cruzamentos, parques de estacionamento e muito mais.

Independentemente do tipo de estradas ou das exigências do pavimento, há sempre uma solução para o betão. O betão pode ser usado para novos pavimentos, reconstrução, repavimentação, restauro e reabilitação. Além disso, pavimentos em betão conferem geralmente uma vida mais longa, com menos manutenção e ciclo de vida mais barato em comparação com as outras alternativas. Além disso, devido aos atuais altos preços do barril do petróleo o betão tornou-se a opção mais barata para ser a primeira opção.

Em 1930, a Pennsylvania Turnpike, construída sobre uma linha-férrea de passagem, foi a primeira grande autoestrada concluída nos EUA e totalmente construída em betão.

Avanços significativos das técnicas de construção na década de 1930 e 40 de pavimentação de betão permitiram que este fosse mais rápido de produzir, mais barato, e com maior durabilidade. Os departamentos de estradas começaram a utilizar solo misturado com cimento como sub-base de estradas. Por esta altura, os construtores também mudaram o método de criação de juntas de pavimento. Ao invés de formar as juntas quando o betão estava totalmente plástico, os empreiteiros começaram a serrar o betão, quando parcialmente endurecido pois funcionava melhor em conjunto.

Muitos consideram que a construção do sistema de estradas interestaduais, nos anos de 1960 e 70, foram o auge do betão para pavimentação e da construção de estradas em geral. Mas, mesmo com os milhares de quilómetros de estradas de betão já concluídos, a pesquisa e o desenvolvimento contínuo dos métodos de colocação e manutenção do betão colocam novos desafios à comunidade científica.

2.1.3. CASO BRASILEIRO

As estradas e autoestradas são responsáveis pela modalidade de transporte rodoviária, que é a mais utilizada no Brasil, uma vez que por elas são feitas a movimentação de 95% das pessoas e de 60% das cargas transportadas.

A paixão dos brasileiros pelos veículos automotores vem desde o início do século passado, com a chegada dos primeiros automóveis ao Brasil, em 1916. Em 1918, o país já possuía 5.000 veículos que circulavam por péssimas estradas. Em 1919, a Ford instala a sua primeira fábrica de automóveis no Brasil.

O início da execução de estradas em betão no Brasil leva-nos ao ano de 1925 e à cidade de Pelotas (Rio Grande do Sul) e em 1926 à Estrada do Caminho do mar em São Paulo.

Fig.4 – Estrada Caminho do Mar, São Paulo (Comunidade da construção, 2005)

Nos anos seguintes, o pavimento de betão de cimento *portland*, ou simplesmente pavimento de betão, ganhou espaço nas estradas brasileiras e, em 1936, foi fundada a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), tendo como objetivo principal o desenvolvimento e aplicação dessa tecnologia de pavimentação. Em 1937, o trecho da estrada BR 040, conhecido como da Serra de Petrópolis, no Rio de Janeiro, foi pavimentada com betão; também a principal estrada do país que é, até hoje, a autoestrada Rio de Janeiro-São Paulo foi pavimentada com betão.

Fig.5 – Autoestrada Rio de Janeiro-São Paulo (rodoviasevias.com.br, 2010)

Em 1947, logo após a Segunda Guerra Mundial, e com uma economia fortalecida, o país em amplos passos em direção à industrialização. No Estado de São Paulo, o mais importante do País, a estrada Anchieta, pavimentada igualmente com betão foi inaugurada para substituir o já saturado Caminho do Mar. Tal facto permitia o crescimento acelerado da região do ABC, berço de uma nova classe operária e do crescimento da indústria do país. Nessa mesma época, a estrada Anhanguera, também pavimentada com betão foi construída para transportar as riquezas do interior do Estado de São Paulo. Todas essas estradas foram marcos do desenvolvimento rodoviário brasileiro, que auxiliaram a construção e progresso do país e ampliaram o uso do betão na pavimentação de estradas.

Diversos pavimentos de betão foram construídos nessa década, particularmente no Estado de Pernambuco, como por exemplo, a estrada que liga Recife a Jaboatão dos Guararapes. É tão marcante a presença de betão nas estradas pernambucanas e nas vias urbanas de Recife, que essa capital é chamada da "Capital do pavimento de betão".

Na mesma época e como em todo o mundo, a maioria das pistas dos aeroportos brasileiros era de terra. Um facto relevante para que houvesse uma alteração foi a entrada em operação, no fim da 2ª guerra mundial, dos aviões DC3, versão civil do C47 militar. Isso fez com que as primeiras pistas militares e civis dos principais aeroportos brasileiros fossem construídas em betão. De todos os aeroportos que tiveram as suas pistas pavimentadas, apenas o Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim (Galeão), na cidade do Rio de Janeiro, mantem a sua a pista original de betão, a qual se encontra em operação há mais de 30 anos, sem qualquer incidente registado.

Igualmente importantes são os pavimentos urbanos executados com betão, nas principais cidades brasileiras, alguns em uso há mais de 50 anos, praticamente sem qualquer manutenção.

Até meados da década de 70 diversos pavimentos de betão foram construídos, quando essa tecnologia, por diversas razões, praticamente desapareceu do mercado brasileiro, sendo retomada na década de 90.

2.1.4. Caso Português

Em Portugal o aparecimento de pavimentos rígidos nas estradas e autoestradas leva-nos ao ano de 1944 e ao troço Lisboa - Estádio Nacional da atual A5, inaugurado por Oliveira Salazar. Foi a primeira autoestrada portuguesa e uma das primeiras a nível mundial. Essa via foi, na altura, denominada oficialmente como Estrada Nacional Nº 7 (EN 7), tendo recebido a atual denominação quando as autoestradas passaram a ter uma numeração separada. Tinha um total de 8 Km e era um sinal de modernidade num país então muito atrasado e muito pobre.

Fig.6 – Estrada Nacional Nº7 (anossaterrinha.blogspot.com, 2010)

O antigo circuito de Monsanto incluía um trecho dessa autoestrada. E em 1959, disputou-se aí o 2.º Grande Prémio de Portugal de Fórmula 1.

Depois da conclusão do primeiro troço, teriam que passar quase três décadas até ao arranque do prolongamento da autoestrada. Em 1972, ano de nascimento da Brisa, o contrato de concessão encarregava a concessionária, entre outras tarefas, a construção do troço da Nacional 7 até Cascais. As obras iniciaram-se no ano seguinte. No entanto, o 25 de Abril de 1974 trouxe uma nova orientação nas obras públicas e foi dada primazia à construção da A2 até ao Fogueteiro, tendo as obras ficado suspensas durante anos a fio, entre relatórios que não a consideraram prioritária. Só no final da década de 1980 o Governo encabeçado por Aníbal Cavaco Silva decidiu dar luz verde à conclusão da A5, tendo as obras ficado concluídas em 1991.

Contudo e voltando um pouco atrás no tempo é preciso referir que até ao fim da ditadura (1974) seriam ainda construídos pequenos troços de autoestrada em betão que hoje estão integrados na A28 (Porto – Caminha), na A3 (Porto – Valença) e na A2 (Lisboa – Algarve).

Nos anos 70 e princípios dos anos 80, quando o mundo atravessou duas grandes crises petrolíferas, que afetaram gravemente o nosso país, poucos quilómetros de autoestrada se construíram.

A febre das autoestradas iniciou-se com a chegada de Cavaco Silva ao poder (final de 1985), que coincidiu com o início da entrada em Portugal dos fundos monetários da União Europeia e com a baixa do preço do petróleo para níveis históricos, o que levou a que a escolha por pavimentos flexíveis para autoestradas fosse preferida relativamente aos pavimentos em betão.

3

GENERALIDADES E CONCEITOS TEÓRICOS PARA DIMENSIONAMENTO

3.1. PAVIMENTOS: DEFINIÇÕES DE PAVIMENTOS RÍGIDOS E FLEXÍVEIS

3.1.1. PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

A estrutura de um pavimento flexível pode ser descrita como um revestimento betuminoso apoiado sobre uma base granular ou de solo estabilizado mecanicamente (MEDINA, 1997).

Os pavimentos flexíveis são aqueles em que a capacidade de suporte é função das características da distribuição de cargas por um sistema de camadas sobrepostas, em que as camadas mais próximas da carga aplicada são as que possuem melhor qualidade. É a camada superior aquela que resiste diretamente às ações e consequentes forças do tráfego e as transmite de uma forma mais ténue às camadas inferiores.

De um modo geral, os pavimentos são compostos por:

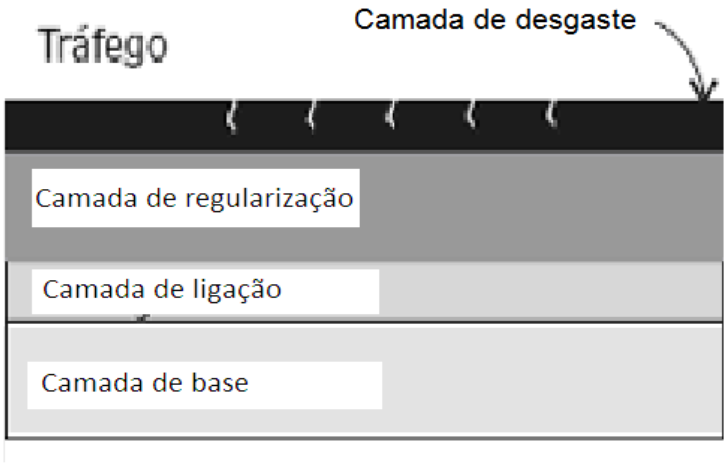

Fig.7 – Pavimento flexível, camadas estruturais

- Camada de desgaste: É a camada superior do pavimento, e como tal, está em contacto direto com o tráfego;

- Camada de regularização: É um estrato de espessura variável aplicada numa só camada sobre uma superfície existente para obtenção do perfil necessário à colocação da camada de desgaste de espessura constante;
- Camada de ligação: É a camada do pavimento que se localiza entre a camada de desgaste e a camada base;
- Camada de base: Pode ser considerada o principal elemento estrutural do pavimento. É sobre ela que os esforços verticais vão ser transmitidos e distribuídos às camadas subjacentes.

3.1.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS

O pavimento rígido é constituído geralmente por uma única camada superior (laje) de betão de cimento, geralmente cimento *portland*, que funciona simultaneamente como camada de desgaste e de base. A elevada resistência à flexão do betão de cimento faz com que o pavimento não sofra deformações acentuadas, mesmo quando sujeito a tráfego pesado e intenso e em solos que possua fraca capacidade de carga.

É muito importante que esta camada garanta a impermeabilidade do pavimento, não só através da laje como das juntas que devem estar seladas com material adequado.

Como a laje de betão absorve as cargas impostas ao pavimento e as degrada numa grande área, a tensão vertical máxima que atinge a fundação corresponde a uma pequena fração da pressão de contacto pneu-pavimento. Este facto leva a que a fundação não desempenhe um papel tão importante na capacidade resistente do pavimento, como no caso de um pavimento flexível.

A camada de sub-base é constituída por material granular normalmente estabilizado com ligante hidráulico (betão pobre, solo-cimento) de forma a oferecer uma boa resistência a solicitações de tráfego pesado e intenso. Também visa garantir uma superfície estável e uniforme à camada sobrejacente, com capacidade para resistir à erosão, tanto no decorrer da obra como ao longo da vida útil do pavimento.

A fundação deve ser constituída por material homogéneo, não sensível à água. Se apresentar heterogeneidade nas suas características físicas e mecânicas bem como reduzida capacidade de carga, deve incorporar um leito de pavimento com solo melhorado.

É necessário referir que devido à sua grande durabilidade, comparativamente aos pavimentos flexíveis, o uso de pavimentos de betão é uma excelente alternativa de pavimentação, seja para estradas, vias marginais, grandes avenidas, aeroportos, etc.

3.1.2.1. Betão Simples

Nas lajes de betão simples não há barras de transferência nem qualquer tipo de armadura incluída, pelo que a transferência de carga resultará do entrosamento dos agregados.

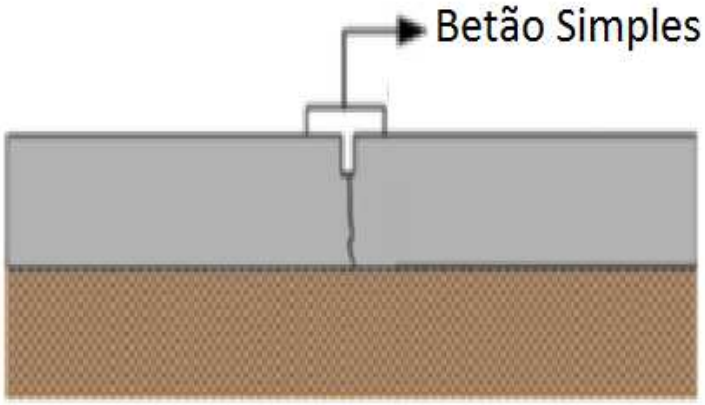

Fig.8 – Perfil de um pavimento de betão simples

3.1.2.2. Betão simples com barras de transferência

Neste pavimento, são usadas barras curtas de aço liso que ficam posicionadas na meia secção de cada junta transversal de retração.

Estas lajes são mais longas, podendo ir dos 5 aos 9 metros. Segundo OLIVEIRA (2000), estas placas oferecem a possibilidade de uma diminuição da espessura das mesmas. O uso destas barras distribui os esforços entre as placas adjacentes diminuindo a possibilidade de bombeamento de material de fundação perto das juntas.

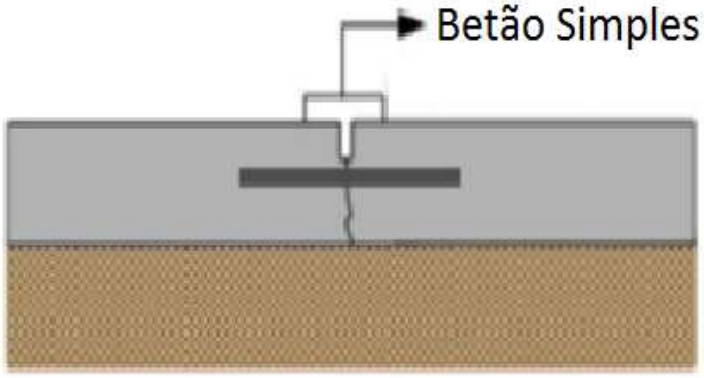

Fig.9 – Perfil de um pavimento de betão simples com barras de transferência

3.1.2.3. Betão com armadura distribuída descontínua

As placas de betão contêm armadura até às juntas transversais onde por sua vez existem barras de transferência. Existe também armadura na placa cujo objetivo é evitar fissuras próximas à junta. Contudo, esta armadura não tem uma função estrutural.

3.1.2.4. Betão com armadura distribuída contínua

Neste caso não há juntas transversais de retração, mas sim armadura para inibir essas fissuras de retração. O comprimento das suas placas vai ser igual ao da produção diária na construção.

Esta armadura contínua, longitudinal, redonda de aço dentada tem uma secção que corresponde sensivelmente a um valor entre 0,67 % e 0,40 % da secção do betão.

Concebida nos Estados Unidos, bastante utilizada na Bélgica, esta técnica foi introduzida em França em 1983, na reconstrução/reforço do pavimento da autoestrada A6 e na construção da nova A71. Esta técnica foi novamente utilizada em 1994 no alargamento da A6 (em Val-de-Marne) e em 1995 na construção da variante de Moullins (RN7).

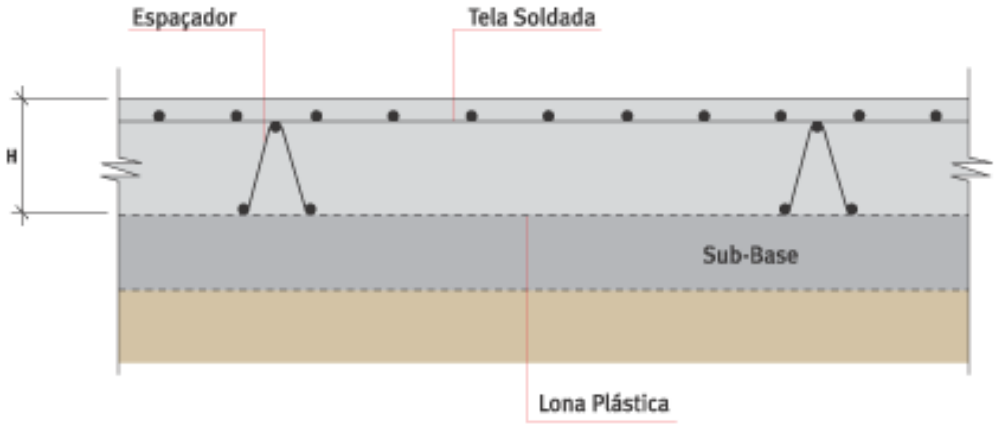

Fig.10 – Perfil de um pavimento com armadura distribuída contínua (augepisos.com.br, 2009)

Os pavimentos com betão armado contínuo são adequados ao trânsito intenso (para o qual as restrições operacionais são importantes). Além disso, no estado atual do conhecimento sobre o funcionamento deste tipo de piso, a espessura da laje contínua de betão armado varia de 16 a 22 cm e a espessura da fundação pode variar de 14 a 22 cm.

3.1.2.5. Betão pré-esforçado

Este tipo de pavimentos é constituído por vigotas de betão pré-esforçado e blocos de cofragem, recebendo em obra uma camada de betão armado complementar, com função resistente e de solidarização do conjunto. O seu funcionamento estrutural é comparável ao de uma laje com armadura resistente unidirecional.

A sua aplicação permite a construção de pavimentos e pontes com vãos mais extensos do que aqueles obtidos com o uso do betão armado, possibilitando ainda o desenho de elementos estruturais com secções transversais de menor dimensão.

Ao pré-esforçar o aço dos varões cria-se uma carga de aperto que faz com que se crie uma força de compressão que compensa a tensão que o betão exibiria face à carga.

3.1.3. COMPARAÇÃO ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS E PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O principal ponto de interesse na comparação dos dois casos é que a distribuição de carga pela fundação é bastante diferente para os dois casos.

A imagem seguinte ilustra os dois casos com a aplicação das cargas:

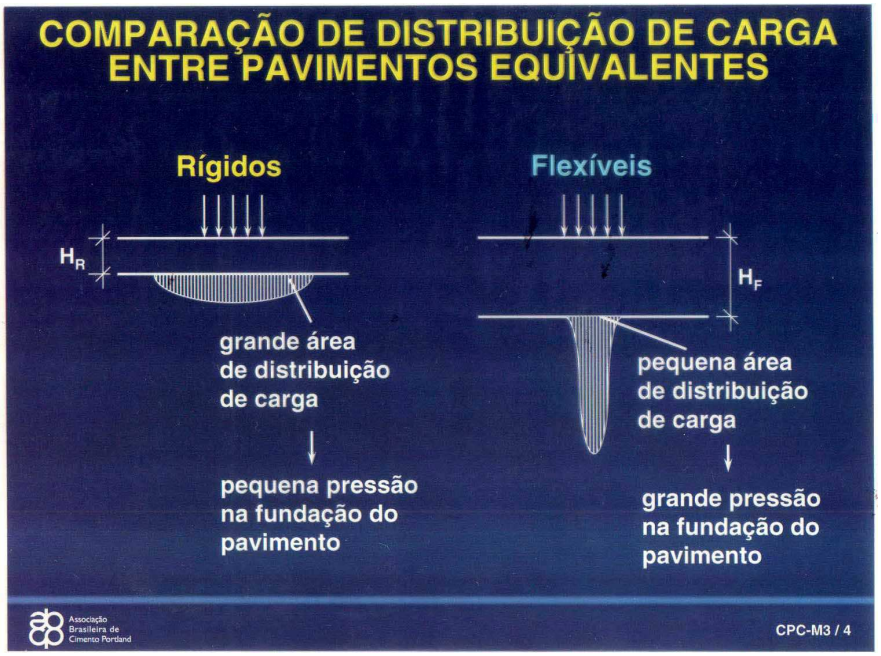

Fig.11 – Comparação da distribuição de cargas. (ABCP, 2011)

Apesar do uso corrente de pavimentos flexíveis nas estradas portuguesas, sobretudo devido a um maior conforto oferecido, a opção por pavimentos rígidos pode tornar-se uma alternativa bastante mais económica e atrativa se considerarmos que uma das matérias-primas do betume (material constituinte dos pavimentos flexíveis) é o petróleo.

Com o aumento da procura e consequente escalada do preço do barril do petróleo nos mercados internacionais a opção por pavimentos rígidos surge com uma alternativa mais viável no aspeto económico.

3.2. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

Os materiais e as espessuras das camadas do pavimento de uma estrada a utilizar devem ser estimados em função do tráfego que essa mesma estrada deverá suportar e também das características do solo de fundação que lhe servirá de suporte. Além disso, é preciso considerar-se as condições climáticas da área em que se insere a estrada e as características dos materiais a empregar na sua construção.

Podemos assumir portanto que as variáveis do projeto são:

- Tráfego: esta variável de projeto deve compreender o volume de trafego, a sua composição, o seu crescimento e o período de vida do projeto;
- Condições de fundação: trata-se de avaliar qual a capacidade de suporte da fundação sobre a qual assenta o pavimento. Depende da natureza e das propriedades dos solos empregues na construção da plataforma e das condições de drenagem;

- Materiais: é necessário analisar os materiais e processos construtivos que podem ser empregues na construção do pavimento, devendo ter-se em conta os materiais disponíveis nas proximidades da obra;
- Condições climáticas: a precipitação e a temperatura têm uma grande influência no comportamento do pavimento e na sua durabilidade.

Sendo assim podemos afirmar que os métodos de dimensionamento de pavimentos destinam-se a fixar os materiais a utilizar e as espessuras das camadas dos pavimentos tomando em conta as variáveis de projeto atrás indicadas.

Estes métodos podem ser classificados em dois grupos, consoante a forma como foram estabelecidos: os métodos empíricos, baseados exclusivamente na observação do comportamento de pavimentos de troços experimentais, e os métodos analíticos, que têm como base a modelação do comportamento dos pavimentos, relacionando os estados de tensão e de extensão induzidos pelo tráfego e pelas ações climáticas com o desenvolvimento de degradações estruturais e anomalias.

Assim e a partir da aplicação de métodos analíticos, as administrações rodoviárias (no caso português, a Estradas de Portugal – EP) têm vindo a estabelecer procedimentos mais simplificados para a conceção dos pavimentos, recorrendo à elaboração de catálogos de secções de pavimentos.

No caso de Portugal foi elaborado em 1995 um Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (JAE, 1995), que inclui um catálogo de secções de pavimentos. Esse catálogo não deve, no entanto, ser uma restrição à liberdade do projetista para propor soluções não contempladas no respetivo catálogo.

3.2.1. TRÁFEGO

Para efeitos de verificação do dimensionamento de pavimentos rodoviários vão-se considerar apenas as ações induzidas pelos veículos pesados, uma vez que são estas as condicionantes do fendilhamento e da deformação das camadas do pavimento.

O dano causado por cada veículo pesado vai depender da carga por eixo e da sua respetiva configuração. A consideração de veículos pesados é verificada para veículos com peso bruto superior ou igual a 30 KN, incluindo camiões com ou sem reboque e autocarros. É comum exprimir os efeitos do tráfego pesado acumulado ao longo do período de dimensionamento em termos de número equivalente de eixos padrão, para o caso de pavimentos flexíveis.

No Manual de Conceção de Pavimentos é considerado o eixo padrão de 130 KN para pavimentos rígidos e o período de dimensionamento é de 30 anos.

Para simplificação da consideração do tráfego no dimensionamento dos pavimentos são adotadas classes de tráfego pesado, definidas a partir do Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados (TMDAp) no ano de abertura ao tráfego, por sentido e por via mais solicitada.

Para cada classe de tráfego é assumida uma certa taxa de crescimento anual e uma determinada composição do trafego, a que corresponde um determinado fator de agressividade.

Quadro 1 – Classificação das classes de tráfego pelo Manual de Conceção de Pavimentos (JAE, 1995)

Classe	TMDAp	Taxa de crescimento anual (%)	Fator de agressividade Pavimentos Rígidos
T7	< 50	Estudo específico	
T6	50 – 150	3	0,5
T5	150 – 300	3	0,6
T4	300 - 500	4	0,7
T3	500 – 800	4	0,8
T2	800 – 1200	5	0,9
T1	1200 – 2000	5	1,0
T0	>2000	Estudo específico	

3.2.2. Fundação do pavimento

O conjunto das camadas onde está apoiado o pavimento é designado por fundação do pavimento que inclui, para além da camada do leito do pavimento, os terrenos subjacentes.

O Manual de Conceção de Pavimentos estabelece quatro classes de fundação, caracterizadas através do respetivo módulo de deformabilidade.

A estas classes de fundação vão corresponder as classes de tráfego que podem suportar. Quanto maior for o módulo de fundação maior capacidade de suporte terá e mais classes de tráfego a elas correspondem, tal como se pode constatar no Quadro 2.

Quadro 2 – Definição das classes de fundação (JAE, 1995)

Classes de fundação	Módulo da fundação, E (Mpa)	Classes de tráfego
F1	30	T5 T6
F2	60	T3 T4 T5 T6
F3	100	T1 T2 T3 T4 T5 T6
F4	150	T1 T2 T3 T4 T5 T6

3.2.3. Catálogo de estruturas de pavimentos

A título indicativo, o Manual de Conceção de Pavimentos apresenta um conjunto de estruturas tipo para os pavimentos da Rede Rodoviária Nacional.

Estas soluções referem-se às condições mais desfavoráveis no âmbito das respetivas classes de tráfego e de fundação, estando sujeitas a ajustamentos às condições reais.

Quadro 3 – Catálogo de pavimentos rígidos (betão simples), em cm

	Fundação			
Tráfego	F1	F2	F3	F4
T1			0,23 / 0,15	0,22 / 0,15
T2			0,23 / 0,15	0,22 / 0,15
T3		0,23 / 0,15	0,21 / 0,15	0,21 / 0,15
T4		0,21 / 0,15	0,21 / 0,15	0,20 / 0,15
T5	0,21 / 0,15	0,21 / 0,15	0, 19 / 0,15	0, 18 / 0,15
T6	0,21 / 0,15	0,21 / 0,15	0, 19 / 0,15	0, 18 / 0,15

3.2.4. Características dos Materiais e Leis de Fadiga

Os materiais considerados para a definição das estruturas de pavimento tipo são materiais convencionais, obedecendo às características especificadas no CE EP (JAE 1998).

No caso em causa, pavimentos rígidos, o material a considerar é o betão de cimento:

- Resistência à tração em flexão: 4,5 Mpa;
- Módulo de elasticidade: 30000 Mpa;
- Coeficiente de poisson: 0,20.

A lei de fadiga, para os materiais com ligantes hidráulicos, indicada no Manual de Conceção de Pavimentos é a seguinte:

$$\frac{\sigma t}{\sigma r} = 1 + a \times \log N \quad (1)$$

Em que:

- σt - Tensão máxima de tração na base das camadas com ligantes hidráulicos, induzida pelo eixo-padrão;

- σr - Resistência á tração em flexão das camadas com ligantes hidráulicos, com um só carregamento;
- N – Número admissível de aplicações da carga.

3.3. DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS PELO PCA

3.3.1. MODELOS TEÓRICOS

Um dos métodos de dimensionamento de pavimentos rígidos foi desenvolvido pela PCA, Portland Cement Association dos EUA, que agrega processos e experiência obtidos nas últimas décadas nas áreas de cálculo de tensões, projeto geométrico, construção e manutenção deste tipo de pavimento.

O método em causa, de 1984, apresenta melhorias em relação ao método anterior, de 1966, que utilizava a teoria de Westergaard para a determinação das tensões críticas, considerando a sobreposição de efeitos proposta por Pickett e Ray em 1951, sob forma de ábacos, enquanto o novo método utiliza também os elementos finitos na determinação das tensões.

O novo método passa também a ter em conta: a presença ou não de barras de transferência de carga, analisando o grau de transferência de carga nas juntas transversais, efeitos da existência ou não da berma em betão. Esta contribui para a redução de tensões e deslocamentos verticais ao longo do bordo livre da placa e impede a penetração lateral de água.

3.3.2. PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO

Após a seleção do tipo de pavimento rígido a aplicar (com ou sem juntas, com ou sem barras de transferência), do tipo de sub-base, se necessário, da inclusão de berma em betão ou não, a espessura da camada de betão é determinada com base em quatro parâmetros de dimensionamento:

- Módulo de rutura do betão, em Mpa;
- Módulo de reação, **k**, em MPa/m;
- O peso, a frequência e o tipo de eixo dos veículos a circular no pavimento;
- Período de dimensionamento, geralmente 20 anos.

3.3.3. ENSAIO CBR E MÓDULO DE REAÇÃO

A capacidade de suporte de um solo compactado pode ser estimada através do método do índice de suporte, que fornece o "Índice de Suporte Califórnia - ISC" (California Bearing Ratio - CBR), idealizado pelo engenheiro O. J. Porter, em 1939, no estado da California - USA.

Trata-se de um método de ensaio empírico, adotado por uma grande parcela dos organismos rodoviários no mundo. O objetivo do ensaio é determinar o Índice de Suporte Califórnia (CBR) e a expansão (E). O ensaio CBR consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão. Essa relação é expressa em percentagem.

Para efeitos de dimensionamento, a capacidade da fundação do pavimento é medido pelo coeficiente de recalque k, também denominado módulo de reação, cujo valor é determinado por meio de prova de carga estática ou, indiretamente por ensaios mais simples, como o Índice de Suporte Califórnia, CBR. A correlação entre k e CBR apresenta precisão suficiente para fins de dimensionamento, pois pequenas variações no coeficiente de recalque não têm consequências significativas na determinação das espessuras.

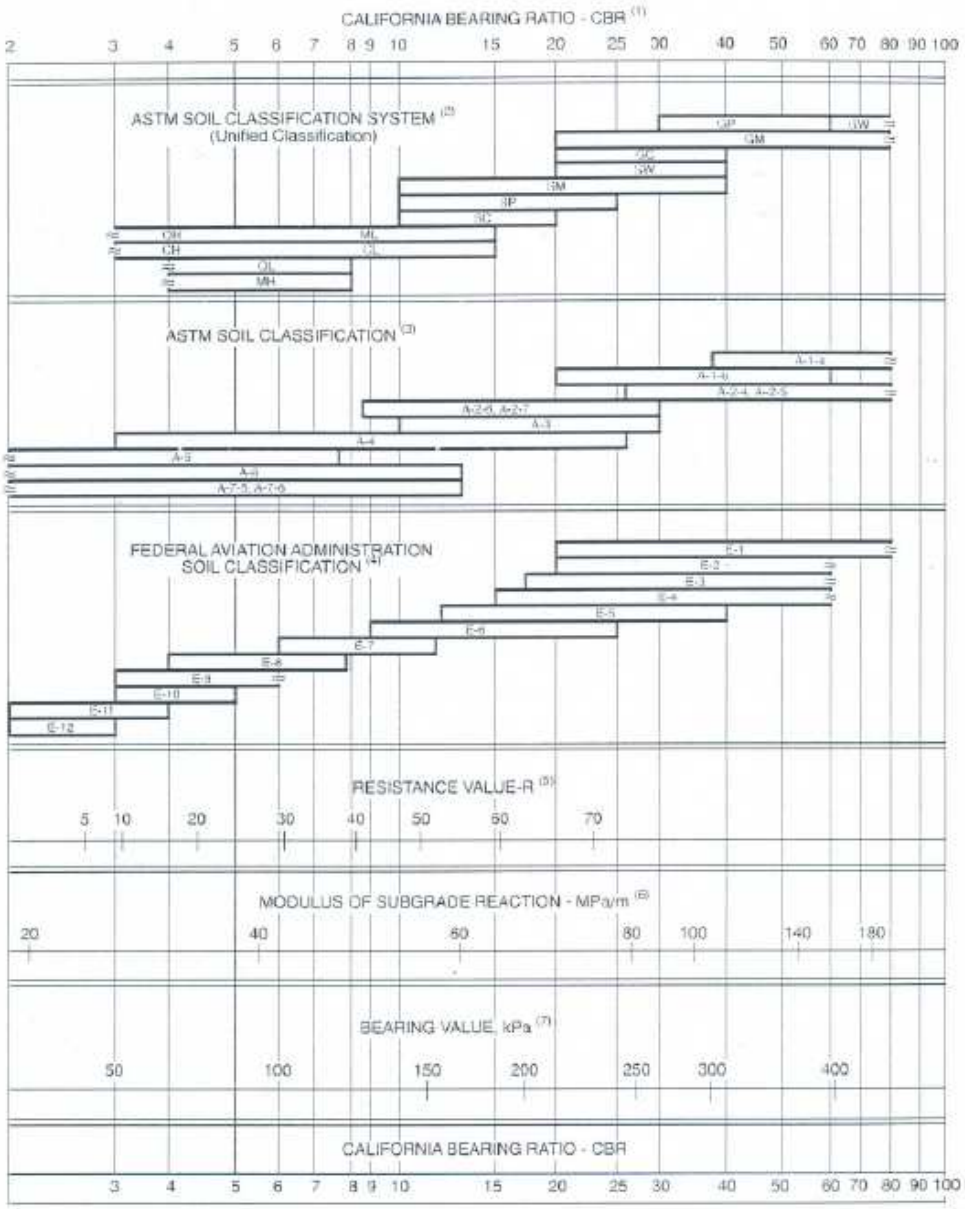

Fig.12 – Correlação entre os valores de CBR e K (CPCA, 1984)

Os pavimentos rígidos costumam ter bom desempenho mesmo em terrenos com capacidade de suporte baixa.

É necessário referir que a utilização de sub-bases em pavimentos rígidos confere benefícios que tornam imprescindível o seu emprego, pois:

- Impedem a ocorrência de bombeamento, caracterizado pela expulsão de finos plásticos através das juntas quando da passagem de cargas pesadas;
- Uniformizam o suporte da fundação;
- Promovem o incremento do coeficiente de recalque da fundação, nomeadamente quando são utilizadas sub-bases tratadas com cimento;
- Reduzem os efeitos prejudiciais de solo expansivos na estrutura do pavimento.

3.3.4. LEI DA FADIGA

O método avalia a fadiga através da Lei de Miner, do dano acumulado por fadiga, e refere que "a parcela da resistência à fadiga não consumida por certo grupo de cargas é disponibilizada para o consumo de outras cargas, e a soma final dos consumos individuais de resistência à fadiga é igual ao dano total" (Oliveira, 200). Sendo admitido um consumo máximo da fadiga de 100%, em que esse valor não pode ser superado.

Para efeitos de dimensionamento do pavimento pelo método de PCA/84, o cálculo da tensão máxima é, calculado impondo que o eixo solicitante está localizado na tangente à borda longitudinal da placa, mesmo sabendo que só uma pequena parte dos veículos circula por essa posição (cerca de 6%).

Além disso a curva de fadiga adotada foi prolongada de modo a alcançar os valores abaixo da relação de tensões limite de 0,5.

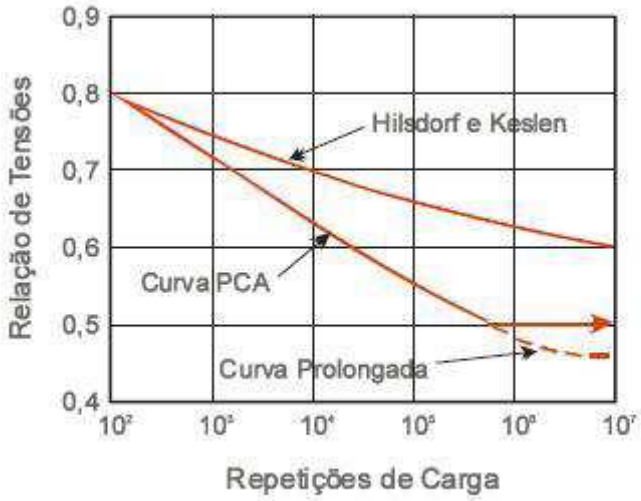

Fig.13 – Curva de Fadiga (DNIT, 2005)

A curva de fadiga é a representação das três seguintes equações abaixo sendo *N*, o número admissível de repetições de carga, e *Rt* a relação entre a tensão de tração na placa e a resistência característica à tração na flexão do betão.

$$N = \text{Ilimitado}\ ,\ \text{se } Rt < 0{,}45 \qquad (2)$$

$$N = \left[\frac{4{,}2577}{(Rt - 0{,}4325)}\right]^{3{,}268}\ ,\ \text{se } 0{,}45 < Rt < 0{,}55 \qquad (3)$$

$$\log(N) = \frac{0{,}9718 - Rt}{0{,}0828}\ ,\ \text{se } Rt > 0{,}55 \qquad (4)$$

O método do PCA adota como constantes o coeficiente de Poisson, o comprimento da placa, tal como a carga no eixo, a área de contacto do pneu e o espaçamento das rodas. Além disso possui fatores de

correção relacionados com o efeito da capacidade da fundação além da borda da placa, os efeitos da localização da carga ao longo da secção transversal da placa, o ganho da resistência do betão após 28 dias e o efeito da variabilidade das propriedades do betão, para obtenção das tensões equivalentes.

Tais tensões equivalentes podem ser obtidas em tabelas e variam em função do tipo de eixo, da espessura da placa, do coeficiente de recalque e da existência ou não de berma em betão.Com o valor das tensões equivalentes é possível descobrir o valor *N*, número admissível de repetições de carga em função da fadiga através do seguinte gráfico.

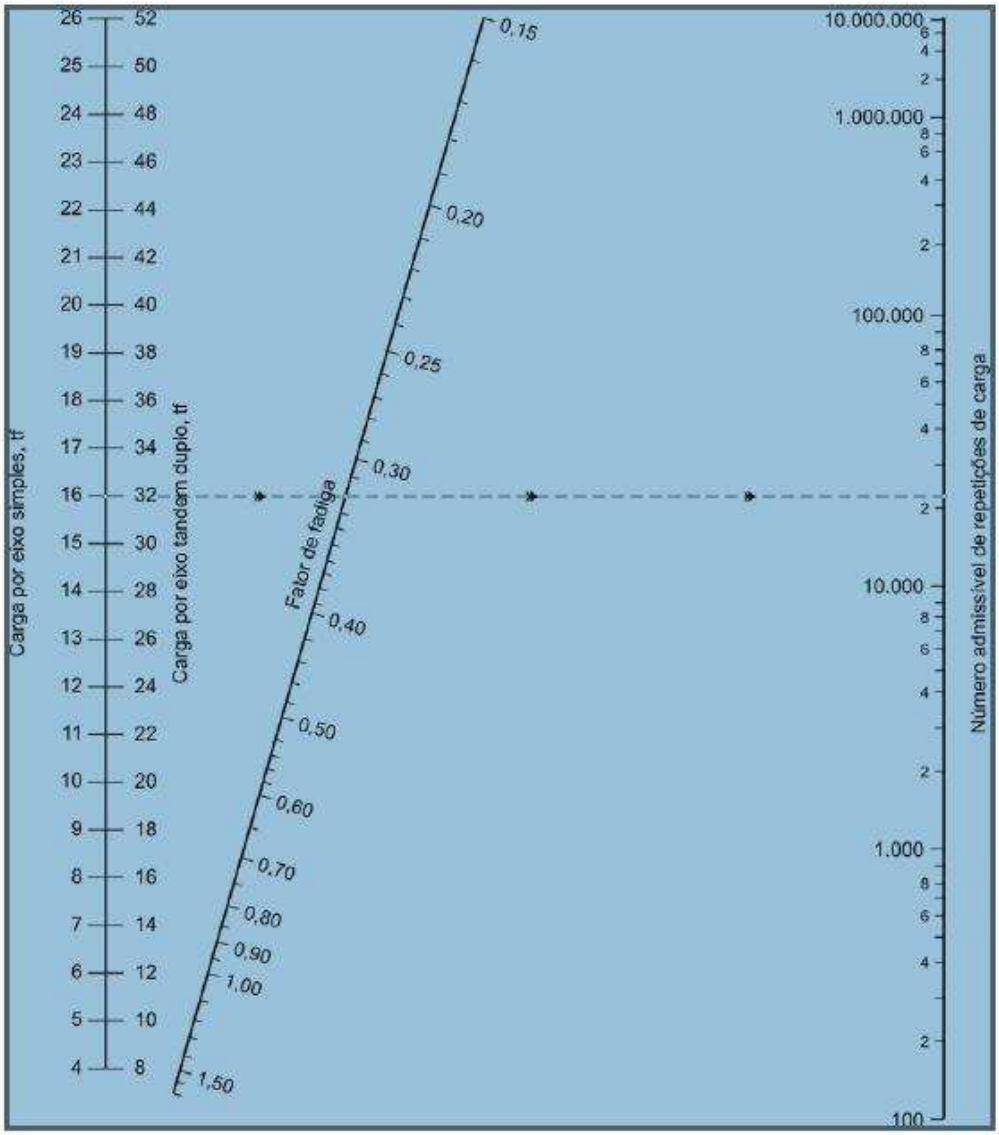

Fig.14 – Determinação do número admissível de repetições de carga pela Fadiga (DNIT, 2005)

3.3.4. LEI DA EROSÃO

A erosão pode ser entendida como a degradação dos bordos das lajes e a perda de material nas juntas e no topo da camada que está sob a placa de betão, por direta ação da água e passagem de cargas pesadas, nomeadamente dos eixos múltiplos.

Este género de fenómeno não pode ser estimado pelo método da fadiga. O fenómeno da erosão é então a correlação entre os valores calculado das deformações verticais do canto da placa e das pressões verticais exercidas na interface entre a placa e a fundação.

Sendo assim, foi criado, como parâmetro da erosão, um conceito de potência ou facto de erosão (P) que possibilita medir o poder que uma certa carga tem para produzir deformação vertical na placa: vai ser o produto da pressão vertical na interface (p) pela deformação vertical (w), dividido pelo raio de rigidez relativa (lc) da bacia de deformação da fundação, por unidade de área.

Usando fatores de ajustamento constantes, oriundos de correlações em pistas experimentais para um índice de serventia fina igual a 3,0, obteve-se uma expressão para P.

$$P = \frac{268{,}7 \times (6{,}89\,p)^2}{\left(2{,}54h \times k^{0{,}73}\right)} \qquad (5)$$

Em que:

- 268,7 = constante;
- h = espessura da placa em centímetros;
- k = coeficiente de recalque, k, em KPa/m;
- p = pressão vertical exercida na fundação sob o canto da placa, em KPa.

De forma que o critério da erosão inclua os devidos efeitos do escalonamento das juntas transversais, foram usados outros estudos que relacionam o índice de serventia do pavimento com a severidade do escalonamento, o tráfego de veículos pesados e a espessura do pavimento.

A representação gráfica que relaciona o fator de erosão com o tipo de eixo (figura 15) permite a estimativa do valor do número admissível de repetições de carga.

Para se proceder ao dimensionamento pelo critério da fadiga no PCA vão ser utilizadas as tabelas (ver Anexos) que permitem retirar o fator de erosão e que incluem dados como: espessura da placa, tipo de eixo, coeficiente de recalque de fundação, uso de barras de transferência e de berma em betão.

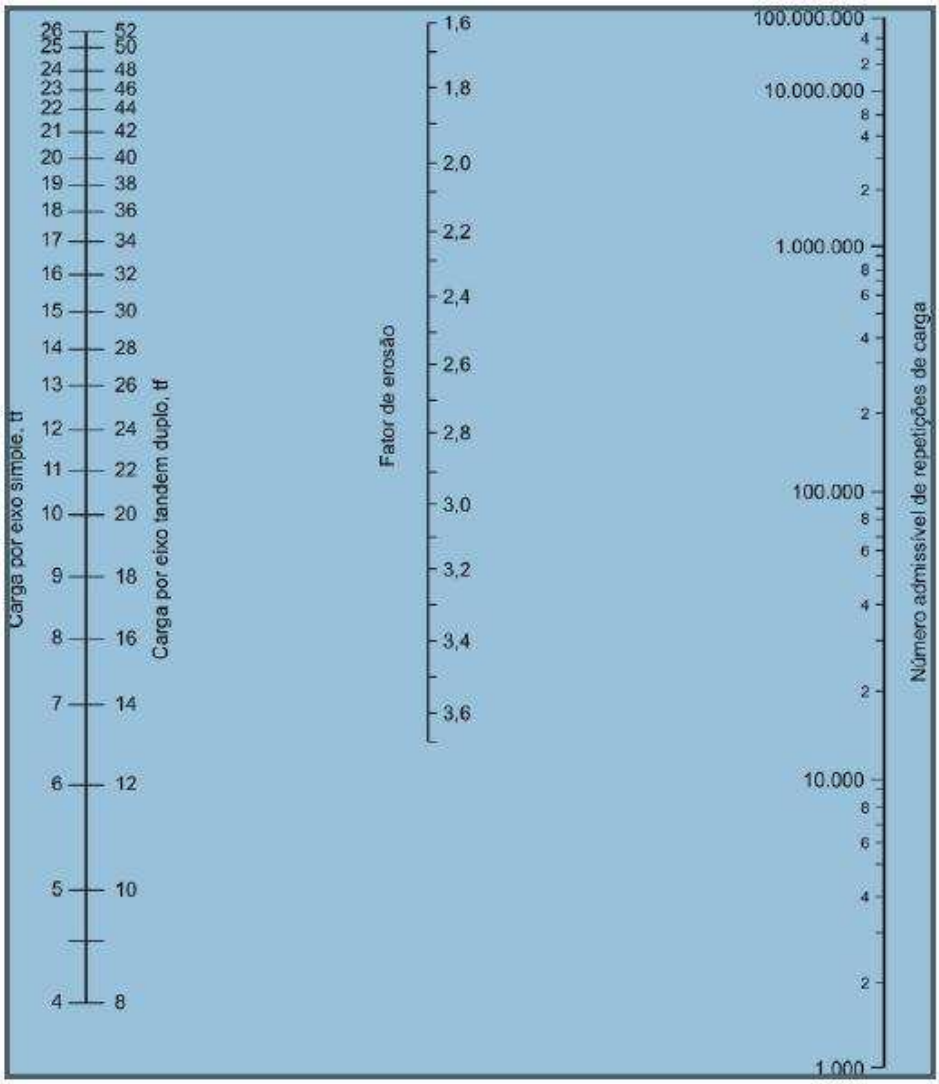

Fig.15 – Determinação do número admissível de repetições de carga pela Erosão (DNIT, 2005)

4
CASO DE ESTUDO

4.1. PREÂMBULO

Refere-se o presente estudo a um projeto de dimensionamento de um pavimento rígido através de duas hipóteses de dimensionamento: o PCA/84 e o ALIZE.

Na conceção do método do PCA/84 são consideradas as equações de Westergaard. Incluiem-se também na formulação do método PCA os ábacos de Pickett e Ray (1950). Os ábacos de Pickett e Ray são baseados na sobreposição de efeitos e nos estudos de Westergaard, e obtém-se para vários tipos de eixos rodoviários a tensão de tração na placa (σt) a partir da carga por eixo e do coeficiente de recalque (k). Este método determina as tensões de tração na parte inferior da laje de betão.

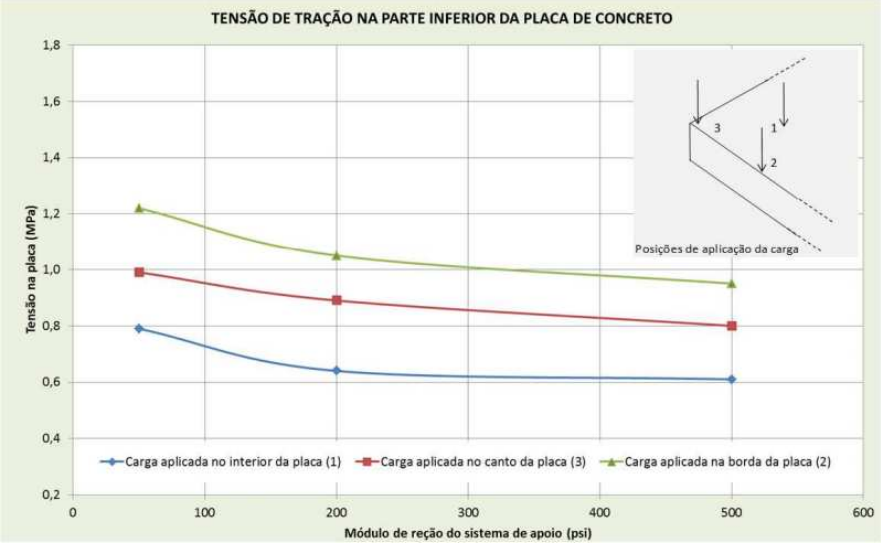

Fig.16 – Equações analíticas de Westergaard (professoredmoura.com.br, 2010)

Já no programa ALIZE, é considerado o modelo de Burmister. Este modelo resolve problemas de elasticidade linear em sistemas de multicamadas e contínuos, com carga distribuída numa área circular e considera, ainda, as seguintes hipóteses: os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogéneos, as camadas não têm peso, as camadas são ilimitadas no plano horizontal, todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita, a superfície da camada superior não está sujeita a tensões fora da área carregada e na área carregada ocorrem apenas tensões normais.

O objetivo do estudo é comparar o resultado destes dois modelos de dimensionamento que seguem soluções teóricas diferentes. Através de tabelas analíticas podemos tentar compreender e analisar a relação entre elas e de que forma será possível o dimensionamento de um mesmo pavimento rígido através destes dois métodos.

O dimensionamento do pavimento em causa está sujeito a variáveis que serão devidamente consideradas e os seus valores explicados.

4.2. CONCEÇÃO GERAL

O modelo de dimensionamento pelo PCA/84 visa estimar a ruína que a camada de betão vai sofrer, através da fadiga e da erosão, de acordo com o tráfego estimado para o troço em questão. É calculada a percentagem de fadiga e erosão conforme o tipo de eixo e as repetições expectáveis de carga.

Para tal dimensionamento é necessário definir:

- A espessura, de valor arbitrado;
- O coeficiente de recalque combinado, k, da base e do leito;
- O módulo de rutura do betão;
- O fator de segurança, relacionado com o tipo de tráfego no troço;
- A existência de juntas e de bermas em betão;
- O período de dimensionamento.

Com o auxílio de tabelas e ábacos é possível estimar a percentagem de desgaste respetiva através do número de repetições de passagens permitidas.

No programa de cálculo ALIZE que utiliza o modelo de Burmister, as camadas são consideradas elásticas, os resultados vão fornecer informações relativas às tensões e extensões nas fronteiras das diversas camadas.

Além disso tal informação é respetiva a uma camada infinita no plano horizontal, ao invés do PCA que considera que o eixo solicitante se encontra no bordo longitudinal da placa, sendo esse o ponto mais desfavorável. Sendo assim os valores das tensões pelos dois programas de dimensionamento serão necessariamente diferentes pelo que poderá ser estimado um valor da relação das duas tensões que aproxime as duas realidades. Tal conversão será abordada um pouco mais adiante.

O dimensionamento pelo ALIZE requere:

- O número de camadas;
- O tipo de eixo;
- O coeficiente de Poisson das camadas;
- Qual o tipo de ligação entre as camadas;
- A espessura respetiva das camadas;
- O raio da carga;
- A pressão (em bars) aplicada por cada tipo de solicitação;
- A distância entre os eixos;
- O módulo de deformabilidade para cada camada.

A escolha de valores para o dimensionamento do pavimento não pode ser totalmente aleatória. É necessário seguir alguns critérios baseados em conhecimentos prévios. Os mesmos pressupostos serão utilizados no dimensionamento pelo PCA e pelo ALIZE.

4.2.1. DEFINIÇÃO DO PAVIMENTO EM ESTUDO

Definiu-se uma estrutura para efetuar o dimensionamento por ambos os métodos.

Para o estudo em questão, o valor da espessura da camada de betão vai variar entre os 0,16 e os 0,30 metros em ambos os métodos de dimensionamento. É um intervalo razoável que garante uma análise significativa dos valores obtidos.

Sendo assim e para uma maior precisão no estudo convém analisar o máximo de pontos possíveis. Iremos arbitrar uma espessura de betão variável de 0,02 metros entre os 0,16 e os 0,30 metros. Em relação ao solo de fundação, os módulos de deformabilidade considerados serão de 60, 75 e 150 MPa. De referir que a estrutura do pavimento contempla: a camada de betão de espessura variável, uma base granular não tratada de espessura constante de 0,15 metros e o solo de fundação, tal como visível na Figura 17.

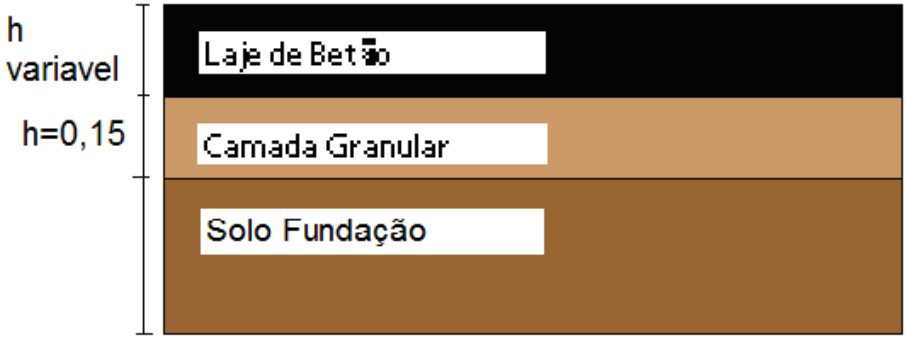

Fig.17 – Esquema do pavimento em estudo

A combinação das duas variáveis, espessura e módulo de deformabilidade da fundação, vão-nos fornecer 24 resultados de tensões e consequentemente 24 valores de relação entre as tensões resultantes do método do PCA e do método ALIZE.

Como forma de análise ao tráfego a que a estrada está sujeita vão-se considerar os eixos que nela circulam. Foram considerados eixos simples de 133, 125, 115, 107, 80 e 53 KN. A escolha destes valores está relacionada com o facto de estes eixos servirem de referência no PCA (Tabela 5 do mesmo, bibliografia internacional).

Outra condicionante do estudo a ter em conta é a escolha do fator de segurança (LSF). Este fator está relacionado com o tipo de tráfego inerente à circulação na estrada em estudo. Para este caso em concreto será considerado o valor de 1,2.

Quadro 4 – Valores do coeficiente de segurança

LSF	Tipo de tráfego
1,0	Acessos residenciais e estradas com tráfego reduzido
1,1	Autoestradas e acessos com tráfego moderado
1,2	Autoestradas com tráfego pesado intenso

Sendo assim, os valores dos eixos-padrão serão majorados por 1,2, tanto na aplicação do software ALIZE como no método PCA/84.

O caso em estudo contempla a seguinte configuração: autoestrada, uso de juntas transversais, sem berma em betão e com uma base sem tratamento. A importância do conhecimento destes fatores é essencial pois esta informação é requerida pelas respetivas tabelas de dimensionamento do PCA.

4.3. DIMENSIONAMENTO PCA/84

Para uma melhor compreensão de todo o processo é agora apresentado 1 dos 24 pontos em estudo, sendo que nos outros 23 pontos o método é idêntico, tanto no processo ALIZE, como no PCA.

Tal como indicado no capítulo anterior, o modelo do PCA/84 contempla uma análise à fadiga e outra à erosão, realizadas separadamente. Já o programa ALIZE contempla uma análise à fadiga e outra à deformação dos solos de fundação. Sendo assim só foi analisada e comparada a análise à fadiga em ambos os processo.

O ponto escolhido aleatoriamente é o de espessura da camada de betão de 0,22 metros para um módulo de deformabilidade do solo de deformação de 60 MPa. O primeiro passo é estimar o valor do módulo de reação, em MPa/m, através do ábaco da figurar 12 e da tabela respetiva às bases não tratadas, através da iteração de valores (ver tabela 1 do CPCA, bibliografia internacional).

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,220 m

Espessura arbitrada____220 mm		Juntas:	sim:__X_ não:____
Módulo de reacção, K____51	MPa/m	Berma:	sim:____ não:_X__
Módulo de ruptura, MR____4,5	MPa	Período de dimensionamento_20_anos	
Factor de segurança, FS____1,2			

Fig.18 – Dados da ficha PCA respetiva a h=0,22 metros e E=60 MPa

É então necessário retirar o valor da tensão equivalente, através da tabela 6.a do PCA, e dividindo esse valor por 4,5 (valor da tensão de rutura do betão) obtemos o fator de tensão.

Sendo assim, já possuímos todos os dados para um correto dimensionamento do pavimento rígido.

O processo é iniciado pela majoração do peso por eixo pelo fator de segurança e pela previsão do número de passagem de veículos, realizada através da tabela 5 do Anexo A.1 do regulamento do PCA.

Sendo assim, e utilizando a figura 14 do capítulo anterior, é possível saber o número de passagens admissíveis para cada tipo de eixo.

Após esta previsão é então possível proceder à análise da fadiga.

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Stress equivalente: 1,51

Factor de stress: 0,34

Eixos Simples

133	160	6310	7100	88,9
125	150	14690	20000	73,4
115	138	30140	81000	37,2
107	128	64410	250000	25,8
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

Fig.19 – Estimativa do valor de repetições permitidas para h=0,22 metros e E=60 MPa

O rácio do número de passagens expectáveis pelo número de passagens admitidas indica a percentagem de betão consumida pela fadiga.

Repetindo o respetivo processo para todos as espessuras e módulos de deformabilidade equacionados vamos obter as tabelas respetivas dos 24 pontos (ver Anexo A.1).

Sendo assim e utilizando as fórmulas (2), (3) e (4) é possível calcular o valor de Rt, relação entre a tensão de tração na placa e a resistência característica à tração na flexão do betão (4,5 MPa), e posteriormente o valor da tensão de tração.

De referir que foi tida em conta a limitação de Rt, o que obrigou a um calculo múltiplo para cada ponto para verificação do intervalo.

Quadro 5 – Valor da tensão de tração na placa (bars) para h=0,22 m e E=60 GPa

Peso por eixo, KN	Multiplicado pelo LSF	Número expectável de passagens	Passagens admitidas	Rt	Tensão (bars)
133	160	6340	7100	0,6529	29,38
125	150	14690	20000	0,6157	27,71
115	138	30140	81000	0,5654	25,44
107	128	64410	250000	0,5274	23,73
80	96	307200	ILIMITADO	-	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-	-

4.4. DIMENSIONAMENTO ALIZE

O programa ALIZE como é normal no dimensionamento dos pavimentos flexíveis transforma os diversos tipos de eixos que solicitam o pavimento num único que é designado de eixo-padrão, através de fatores de agressividade.

Neste trabalho como se pretende uma comparação entre as tensões/extensões que ocorrem em ambos os processos foi necessário fazer esta análise para cada tipo de eixo.

O programa ALIZE já tem incorporado os dados do eixo-padrão de 130 KN, assim foi necessário introduzir cada um dos eixos que foi objeto desta análise,

A geometria foi mantida constante, raio de 12,5 cm, afastamento entre os centros das rodas do rodado duplo de 37,5 cm. Assim variando o peso do eixo varia a tensão vertical no pavimento.

Assim será necessário para cada eixo determinar através do programa ALIZE as tensões/extensões fazendo variar a espessura da laje e o módulo de deformabilidade do solo.

4.4.1. UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE ALIZE

O programa informático utilizado funciona ainda num ambiente MS-DOS e como tal requer as variáveis uma a uma e evolui conforme as escolhas do utilizador.

A primeira variável exigida é o número de camadas. No caso em concreto é preciso considerar a camada de betão arbitrada, a base de 150 mm e o solo que sustenta estas duas camadas. Sendo assim, o valor a colocar é 3.

No próximo passo é requerida a informação acerca do tipo de eixo que vai ser analisado. Como é pretendido um eixo com valores diferentes ao pré-definido é escolhida a opção (1), *jumelage quelconque*, que permitirá mais adiante entrar com o valor do raio da carga (cm), a distância entre os eixos (cm) e a pressão de contacto (em bars).

A próxima solicitação é relativa ao coeficiente de Poisson, que no caso em estudo é considerado de 0,25, opção (0)., o que é razoável estando a dimensionar um pavimento rígido.

O item seguinte é de interesse puramente logístico, onde é indicado se é pretendido as tabelas de cálculos intermédios do ALIZE. Foi solicitada essa mesma informação, opção (1).

Tal como no dimensionamento pelo PCA, vamos apenas demonstrar o cálculo do valor da tensão para h=0,22 metros e E=60 MPa e somente para o eixo de 133 KN, que majorado por 1,2 equivale a 160 KN, sendo que todos os outros valores estão justificados no respetivo Anexo.

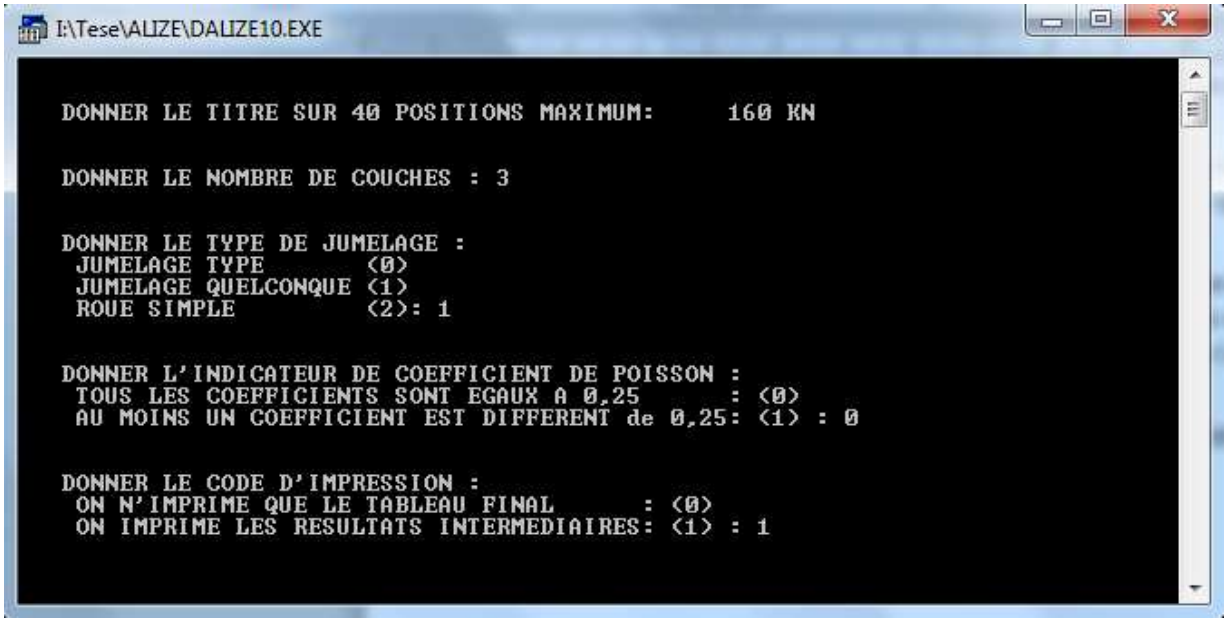

Fig.20 – Dados iniciais do Programa ALIZE

De seguida, o programa vai-nos exigir a definição do tipo de ligação entre as camadas. É necessário referir que o facto das camadas estarem ligadas entre si altera o valor das tensões/extensões.

O passo seguinte é introduzir as respetivas espessuras das camadas (em cm), o raio da carga aplicada (12,5 cm) e a distância entre os eixos (37,5 cm).

É também requerida a pressão de contacto (em bars) que a passagem do veículo vai exercer sobre o pavimento. Para tal é necessário transformar o peso por eixo para uma pressão correspondente.

$$P = \frac{F}{4 \times \pi \times r^2} \qquad (6)$$

Em que P, é a pressão em KN/m^2, F, o peso de cada eixo, e r, o raio da carga.

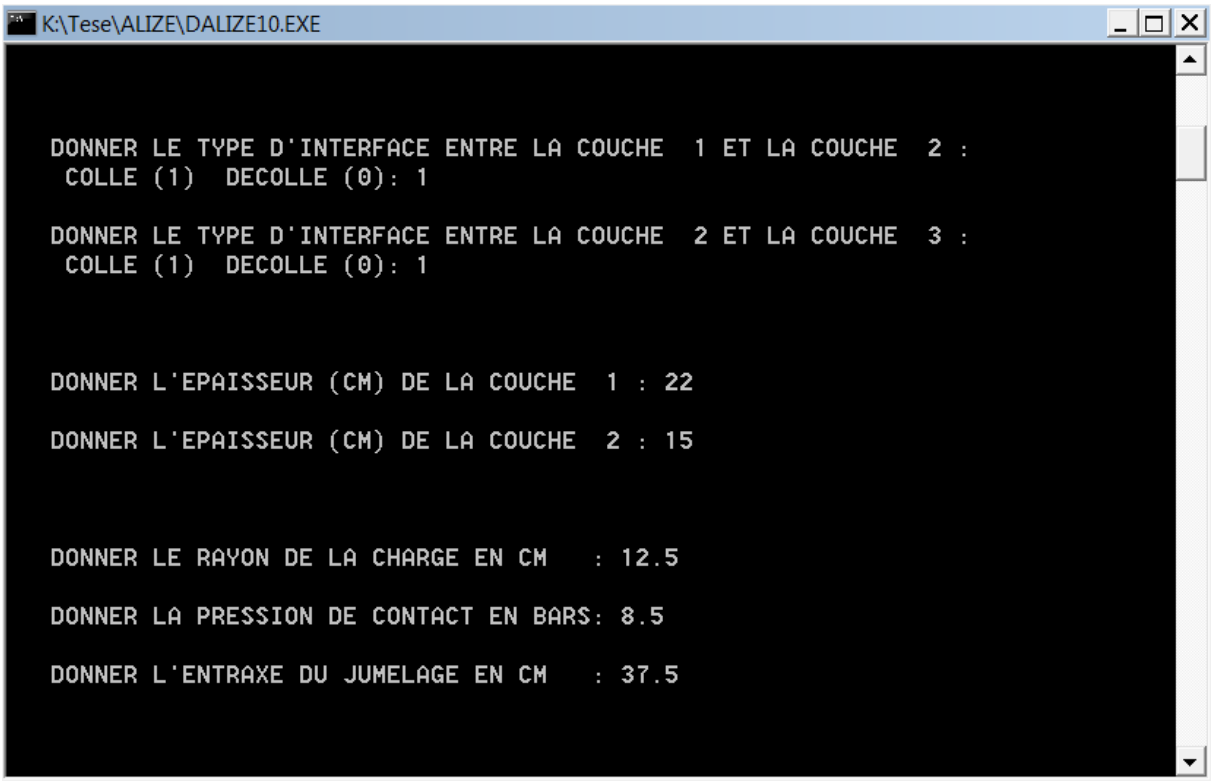

Fig.21 – Dados intermédios a introduzir do Programa ALIZE

Os últimos dados a introduzir no programa são os módulos de elasticidade de cada camada. No caso do betão o valor a considerado é foi de 280000 bars.

Para calcular o módulo de deformabilidade da base granular utilizou-se a fórmula de Shell:

$$K^* = 0{,}2 \times h^{0{,}45}, \text{ em que } 2 < K < 4 \qquad (7)$$

e

$$Eg = K^* \times Es \qquad (8)$$

Com h=150 milímetros temos K=1,91 pelo que o valor de K será 2.

- Eg=2x60=120 MPa=1200 bars
- Es=600 bars

Por fim, o programa questiona se pretende terminar a aplicação ou tentar outras hipóteses. No caso, pretendemos terminar, pelo que se escolhe a opção (0).

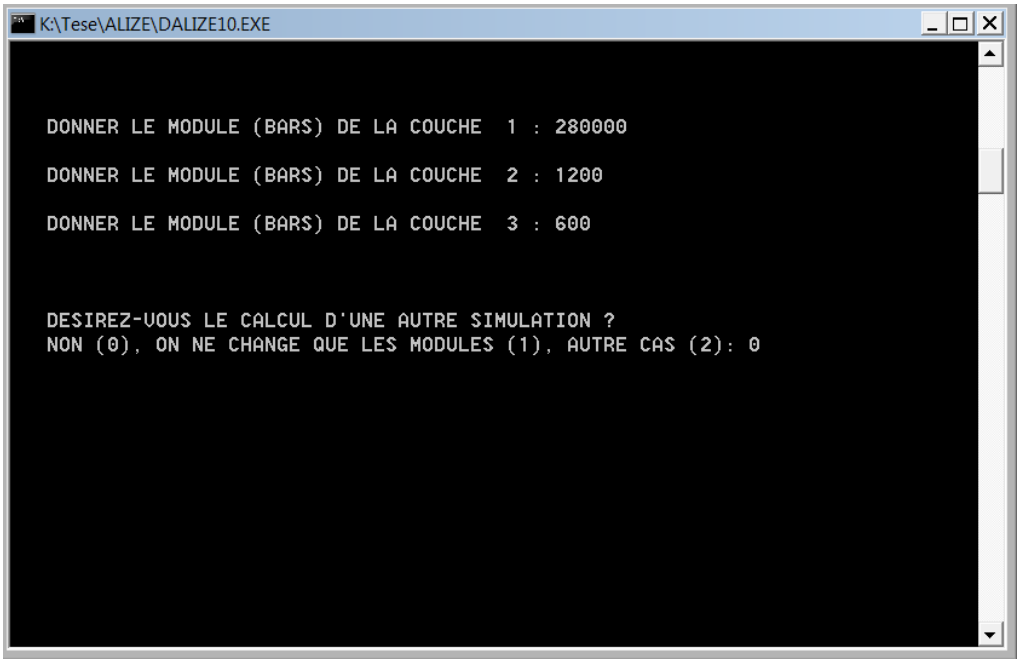

Fig.22 – Dados finais a introduzir do programa ALIZE

4.4.2. Resultados do programa ALIZE

Após correr o programa, este vai fornecer os resultados do cálculo através da esquematização das camadas com as respetivas tensões e extensões nas fronteiras das camadas.

```
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *          *          *          *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.534E-04C* 0.217E+02B*-0.270E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *          *          *          *
*       * NU=0.25     *           *          *          *          *
*       * H1= 22.00   *           *          *          *          *
*  22.00*             *-0.533E-04C*-0.184E+02C* 0.310E-04B* 0.195E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*----------*----------*----------*
*  22.00*             *-0.533E-04C*-0.146E-01C* 0.166E-03B* 0.195E+00B*
*       * E=  1200.   *           *          *          *          *
*       * NU=0.25     *           *          *          *          *
*       * H2= 15.00   *           *          *          *          *
*  37.00*             *-0.642E-04C*-0.490E-01C* 0.145E-03C* 0.151E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*----------*----------*----------*
*  37.00*             *-0.642E-04C*-0.365E-03A* 0.250E-03C* 0.151E+00C*
*       * E=   600.   *           *          *          *          *
*       * NU=0.25     *           *          *          *          *
*       * H3=INFINI   *           *          *          *          *
*       *             *           *          *          *          *
*********************************************************************
*   D   *       44.33MM/100             *         R*D               *
*   R   *      1562.04M                 *       69237.34M*MM/100    *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

Fig.23 – Resultados programa ALIZE

O valor relevante para a análise do dimensionamento vai ser o da tensão de tração na fronteira entre a camada de betão e a base, isto é, à profundidade de 22 cm.

No caso em questão, um eixo-padrão de 160 KN (equivalente ao eixo de 133 KN majorado pelo facto de segurança) a tensão de tração será de 18,4 bars. Este valor da pressão refere-se à pressão num ponto da placa com um plano horizontal ilimitado, e na vertical do centro do rodado duplo (C).

No livro "*Chaussées en beton de ciment*", de Georges Jeuffroy e Raymond Sauterey, a tensão no bordo longitudinal da laje é igual ao produto da pressão aplicada no centro da placa por um valor que, tal como referido anteriormente, segundo estes autores, varia com o módulo de elasticidade do solo e a altura da camada.

No quadro seguinte são apresentados os resultados para todos os eixos e não somente o de 160 KN, respetivamente a uma espessura de 0,22 metros e modulo de deformabilidade de 60 Mpa

Quadro 6 – Resultados ALIZE da tensão de tração para eixos simples para h=0,22 m e E=60 GPa

Peso por eixo, KN (com LSF)	Pressão (bars)	σt (bars)
160	8,15	18,4
150	7,64	17,2
138	7,03	15,9
128	6,52	14,7
96	4,89	-

De referir que o cálculo para um peso por eixo de 96 KN não faz sentido visto que no método PCA não foi possível estimar a tensão respetiva pois o valor do número de veículos permitidos era ilimitado.

Todos os resultados do programa ALIZE encontram-se no Anexo A.2, tais como as tabelas com os valores respetivos.

4.5. COMPARAÇÃO DOS DOIS MODELOS DE DIMENSIONAMENTO

A comparação de resultados entre os dois modelos de dimensionamento vai-nos fornecer uma ideia das diferenças entre o programa ALIZE e o PCA/84.

Para este subcapítulo importa fazer referência aos valores obtidos para todos os pontos, contudo devido ao grande volume de dados, apenas valores essenciais são referidos sendo que o resto da informação estará contido em Anexo.

Utilizando o mesmo ponto anterior, isto é, h=0,22 metros e E=60 Mpa, podemos estimar os primeiros valores da relação PCA/ALIZE e qual a sua evolução respetiva através da próxima tabela.

Quadro 7 – Valores da relação entre PCA e ALIZE para E=60 MPa e h=0,22

Peso por eixo, KN	Tensão PCA (bars)	Tensão ALIZE (bars)	Relação PCA/ALIZE
160	29,38	18,4	1,60
150	27,71	17,2	1,61
138	25,44	15,9	1,60
128	23,73	14,7	1,61
96	-	-	-

Analisando os valores conclui-se muito rapidamente que os mesmos pouco ou nada se alteram com a variação do tipo de eixo para este específico ponto.

É contudo necessário avaliar a variação destes valores de relação PCA/ALIZE com a variação da espessura da camada de betão e perceber como este varia. A compilação desses valores para um E=60 MPa pode ser analisada na tabela 9.

Quadro 8 – Valores da relação de tensões entre PCA e ALIZE para E=60 MPa

	Peso por eixo simples (KN), com LSF					
h (metros)	160	150	138	128	96	63
0,16	-	-	-	-	1,65	-
0,18	-	-	1,54	1,58	1,61	-
0,20	1,55	1,59	1,59	1,58	-	-
0,22	1,60	1,61	1,60	1,61	-	-
0,24	1,61	1,61	1,62	1,62	-	-
0,26	1,63	1,66	-	-	-	-
0,28	1,62	-	-	-	-	-

Analisando os valores existente podemos constatar que para o caso de módulo de deformabilidade do solo igual a 60 MPa, o valor de relação PCA/ALIZE tem uma tendência de aumento com o aumento da espessura. De referir também que a amplitude geral dos valores é bastante pequena, variando entre 1,54 e 1,66.

Quadro 9 – Valores da relação de tensões entre PCA e ALIZE para E=75 MPa

	Peso por eixo simples (KN), com LSF					
h (metros)	160	150	138	128	96	63
0,16	-	-	-	-	1,68	-
0,18	-	1,64	1,63	1,64	1,67	-
0,20	1,63	1,66	1,65	1,66	-	-
0,22	1,64	1,64	1,65	1,66	-	-
0,24	1,65	1,65	1,64	-	-	-
0,26	1,63	1,65	-	-	-	-
0,28	1,70	-	-	-	-	-

Para um valor de E=75 MPa o valor da relação aumenta com o aumento da espessura mas de forma oscilante. É necessário também referir que a ordem dos valores é um pouco maior que no caso de E=60 MPa. A sua amplitude é entre 1,63 e 1,70.

Quadro 10 – Valores da relação de tensões entre PCA e ALIZE para E=150 MPa

	Peso por eixo simples (KN), com LSF					
h (metros)	160	150	138	128	96	63
0,16	-	-	-	1,85	1,89	-
0,18	1,84	1,85	1,88	1,86	1,78	-
0,20	1,82	1,84	1,84	1,63	-	-
0,22	1,85	1,86	1,86	1,76	-	-
0,24	1,82	1,85	1,87	-	-	-
0,26	1,83	1,88	-	-	-	-
0,28	-	-	-	-	-	-

Apesar da informação que as tabelas anteriores podem fornecer, com a respetiva variação do valor da relação de acordo com a espessura, é necessário estabelecer uma forma mais simples para relacionar e encontrar um valor que não varie com o tipo de eixo.

Para tal, é assumido que o peso do eixo não influencia a relação das tensões entre ambos os métodos, sendo assim possível, considerando a média dos valores para cada eixo (mantendo constante a espessura da laje e o módulo de deformabilidade do solo), obter um valor razoável da relação PCA/ALIZE.

Quadro 11 – Valores da relação de tensões entre PCA e ALIZE

	E (MPa)		
h (metros)	60	75	150
0,16	1,65	1,68	1,87
0,18	1,58	1,64	1,84
0,20	1,58	1,65	1,78
0,22	1,61	1,65	1,83
0,24	1,62	1,65	1,85
0,26	1,64	1,64	1,85
0,28	1,62	1,70	-

Analisando a tabela, podemos constatar que o valor da relação das tensões aumenta com o aumento do módulo de deformabilidade do solo, mantendo, contudo, de forma genérica, o seu valor com a variação da espessura.

A escolha de um só valor para a relação PCA/ALIZE poderá aproximar-se de um valor médio de todas as hipóteses. O valor de 1,65 é um valor razoável, se analisarmos a tabela.

4.5.1. Comparação do estudo de Jeuffroy e Sauterey com o estudo em causa

Em 1989, através de Georges Jeuffroy e Raymond Sauterey, é publicado o livro "Chaussées en béton de ciment" onde é desenvolvido um estudo profundo sobre pavimentos em betão.

No capítulo 3 do manual é abordada a conceção de estradas em betão, os modelos teóricos de dimensionamento e é calculado um valor que relaciona a tensão de tração na placa de betão através do método de Burmister e do método de Westergaard, em função da espessura da placa

Esta análise é feita através da comparação das tensões entre o centro da placa (σc) e as tensões na borda do pavimento (σb) utilizando pressupostos definidos pelos autores, em função da espessura da placa de betão (h) e do módulo de deformabilidade (E).

O valor da relação é estimado em função da expressão:

$$\frac{\sigma b}{\sigma c} = 1{,}81 \times \frac{4 \times \lg(l/b) + 0{,}359}{4 \times \lg(l/b) + 1{,}069} \qquad (10)$$

Em que:

- b – raio da carga;
- $l = \sqrt{\dfrac{E \times h^3}{12 \times \left(1 - \upsilon^2\right) \times k}}$.

Com a aplicação da equação (10), Jeuffroy e Sauterey estimaram vários valores da relação de tensões, que podem ser visualizados na figura 20.

Tableau II : **Valeurs du rapport de la contrainte pour une charge en bord de dalle à celle pour une charge en centre, pour différentes épaisseurs de dalle (h,m) et différents modules de sol (E, MPa).**

h \ E	30	60	75	150
0,15	1,49	1,46	1,45	1,42
0,20	1,51	1,48	1,48	1,45
0,25	1,52	1,5	1,49	1,47
0,30	1,53	1,5	1,5	1,48

Fig.24 – Tabela dos valores da relação de Jeuffroy e Sauterey ("Chaussées en béton de ciment", 1999)

Analisando os valores e comparando com os valores obtidos no caso de estudo verificamos que estes são ligeiramente mais baixos. Utilizando o mesmo critério do estudo em causa para a escolha de um valor razoável de acordo com a espessura, aproximadamente 0,22 metros, e o módulo de deformabilidade, E=75 MPa, podemos indicar um valor de 1,50 para a relação entre a tensão no centro da placa e a borda.

5
EXECUÇÂO E ANOMALIAS

5.1. MATERIAIS

A constituição de um pavimento rígido será abordada a nível da armadura e do betão nele empregue. A definição da armadura será de acordo com as suas características, isto é, qual o seu diâmetro, comprimento e espaçamento.

Em relação ao betão empregue será referenciada qual a sua função neste pavimento em estudo, quais as suas condicionantes e quais os seus principais objetivos para a função que lhe é destinada.

5.1.1. ARMADURA

Tal como indicado entre o ponto 3.1.2.2. e 3.1.2.5, elementos metálicos podem ser incluídos nas placas de betão, sejam barras de transferência, armadura convencional ou aço pré-esforçado.

As barras de transferência não devem induzir esforços de tração ao betão devido ao movimento das placas provocado por fenómenos de contração, tal como alongamentos devidos ao efeito térmico ou hídrico.

Para garantir que não são induzidos esforços de tração as barras deverão ser lisas, retilíneas, sem asperidades nas extremidades e devem possuir uma fina camada de produto betuminoso ou plástico, revestindo parte da extensão do varão.

Como título indicativo as características destas barras estão tabeladas de acordo com a espessura da camada de betão no Quadro 12.

Quadro 12 – Dimensões das barras de transferência em pavimentos rígidos (chaussées en béton, 1989)

Espessura da camada (cm)	Dimensões das barras (cm)		
	Diâmetro	Comprimento	Espaçamento
13 – 15	2	40	30
16 – 20	2,5	45	30
21 – 28	3	45	30
29 – 40	4	50	40
41 - 50	4,5	55	45

No caso de placas de betão com armadura contínua a função vai ser a de repartir as forças de fissuração do betão que são acumuladas ao longo de anos de utilização da estrada.

As armaduras contínuas são de dois tipos:

- Arredondadas, de diâmetro nominal entre os 14 e os 20 mm (geralmente 16 mm) e constituídas por aço de alta aderência;
- De aço nervurado, com dimensões 40x25 mm ou 50x25 mm (espessura nominal);

Os cinco parâmetros mais importantes que regem o comportamento da armadura no betão são:

- A proporção das secções de aço-betão;
- O limite de elasticidade da armadura;
- O potencial máximo de retração do betão;
- A resistência mecânica do betão;
- A aderência do betão à armadura.

É a conjugação destes cinco parâmetros que permite assegurar a funcionalidade e a duração das estradas em betão com armadura contínua.

É recomendado que a utilização destas armaduras seja objeto de uma certificação. Se tal não for o caso, então deverão ser realizados ensaios por partes: características do aço por um lado e por outro lado, um ensaio da aderência betão-aço.

5.1.2. BETÃO

Os pavimentos rígidos são definidos como uma estrutura cuja placa de betão trabalha essencialmente à tração.

Se o betão a utilizar na conceção de pavimentos rígidos não é, na sua essência, diferente do betão utilizado em obras de arte, a escolha dos seus constituintes e a definição das proporções a utilizar na mistura contribuem para obter uma melhor performance na implementação no local (maquina de espalhamento) e a reagir melhor às solicitações particulares da estrada (flexão, desgaste superficial, resistência à geada e sais de degelo). Com as dosagens corretas preconizadas nos regulamentos não há também risco de fenómenos de reações alcalinas nas estradas de pavimento rígido.

Além dos constituintes do betão são utilizados outros produtos que se destinam a ajudar no sucesso da implementação da camada de betão (como retardadores da cura) ou elementos que participam no funcionamento da estrutura (barras de transferência e ligações de ferro).

Os agregados (areias, cascalho e pedras) constituem a parte principal do esqueleto granular do betão. Contudo, eles não intervêm na resistência mecânica do betão em razão dos valores tabelados pelos regulamentos, mas são importantes pois servem para:

- Prevenir o aparecimento de finos no armazenamento, manuseamento e mistura do betão;
- Assegurar a transferência de cargas à margem das descontinuidades (fissuras, juntas);
- Resistir ao desgaste do tráfego na via;

Em relação ao cimento, a proveniência deste deverá ser alvo de estudo prévio de forma que cumpra com todos os requisitos técnicos exigidos pelos regulamentos. Além disso, é aconselhável que seja um

cimento único, isto é, do mesmo tipo. É necessário referir que os cimentos com a adição de escória não-ferrosa são proibidos por causa do risco de escoamento superficial poluição.

A escolha do cimento é feita a partir da classe de resistência e das suas características de hidratação. A dosagem de cimento está geralmente fixada de acordo com o estudo da composição. Por exemplo, para betões mais densos a dosagem de cimento será de 330 kg/m^3 e em betões menos densos será de 200 Kg/m^3.

É necessário também fazer uma pequena referência à água a utilizar no fabrico do betão. Esta não deverá conter materiais orgânicos, presença de detergente, argila, sulfatos, etc.

Em caso de dúvida sobre a qualidade da água deverão ser realizados ensaios comparativos com a água destilada, ideal para o fabrico do betão.

A performance do betão vai depender das funções da camada e dos meios de implementação do betão. As três principais características inerentes à performance do betão são:

- A resistência mecânica;
- Resistência ao frio e aos fluxos;
- A consistência.

5.2. JUNTAS

Os pavimentos rígidos estão sujeitos a tensões que podem colocar em causa os limites de resistência do material, neste caso, o betão.

A forma para controlar essas tensões adicionais é limitando as dimensões das lajes.

O processo de limitação das dimensões das lajes consiste na instalação de juntas convenientemente projetadas segundo a direção do eixo da estrada, a ele perpendiculares ou oblíquas.

5.2.1. JUNTAS DE ARTICULAÇÃO

As juntas de articulação são executadas com o objetivo de permitir um momento angular relativo das extremidades das placas. Desta forma, é impedida a propagação de momentos.

Pode-se considerar, então, que exercem controlo das tensões de empenamento.

“Este tipo de juntas tem especial interesse no caso de pavimentos espessados porque permitem que se mantenham através delas a redução de espessura determinada para o interior das placas, dispensando o espessamento dos bordos que de outra forma seria necessário.” (ATIC, 1977)

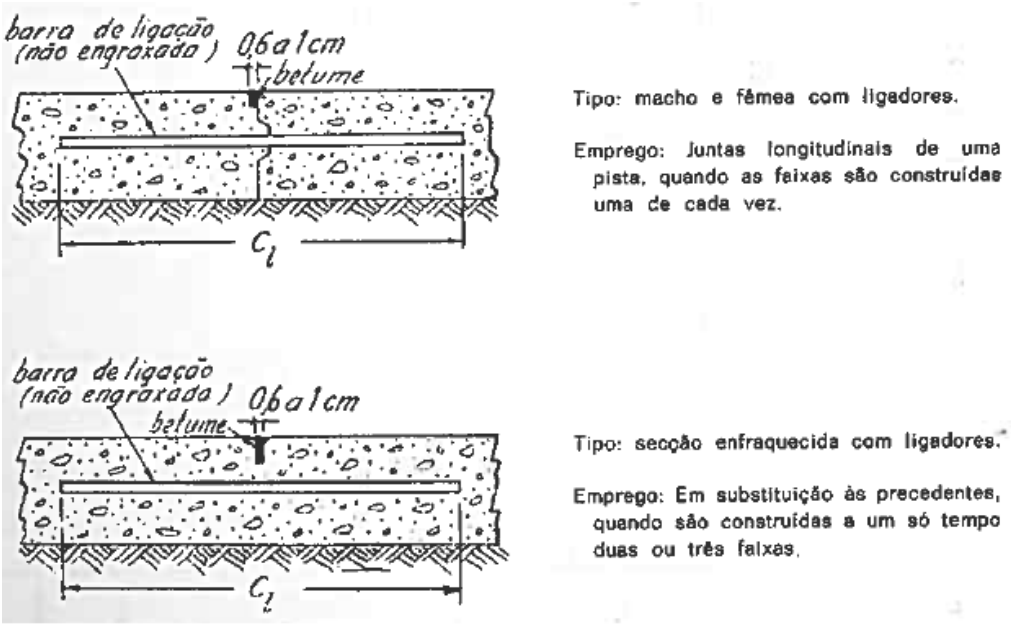

Fig.25 – Juntas de articulação. (A.T.I.C., 1977)

5.2.2. JUNTAS DE CONTRACÇAO

Estas juntas "permitem, mais que as de articulação, o afastamento das placas, com o fim de evitar ou localizar as fissuras que poderiam surgir, devidas quer às variações uniformes de volume das placas quer ao empenamento." (ATIC, 1977)

As juntas de contração existem com o propósito de localizar nelas as eventuais fissuras do betão caso haja o aparecimento de tensões mais elevadas numa secção enfraquecida.

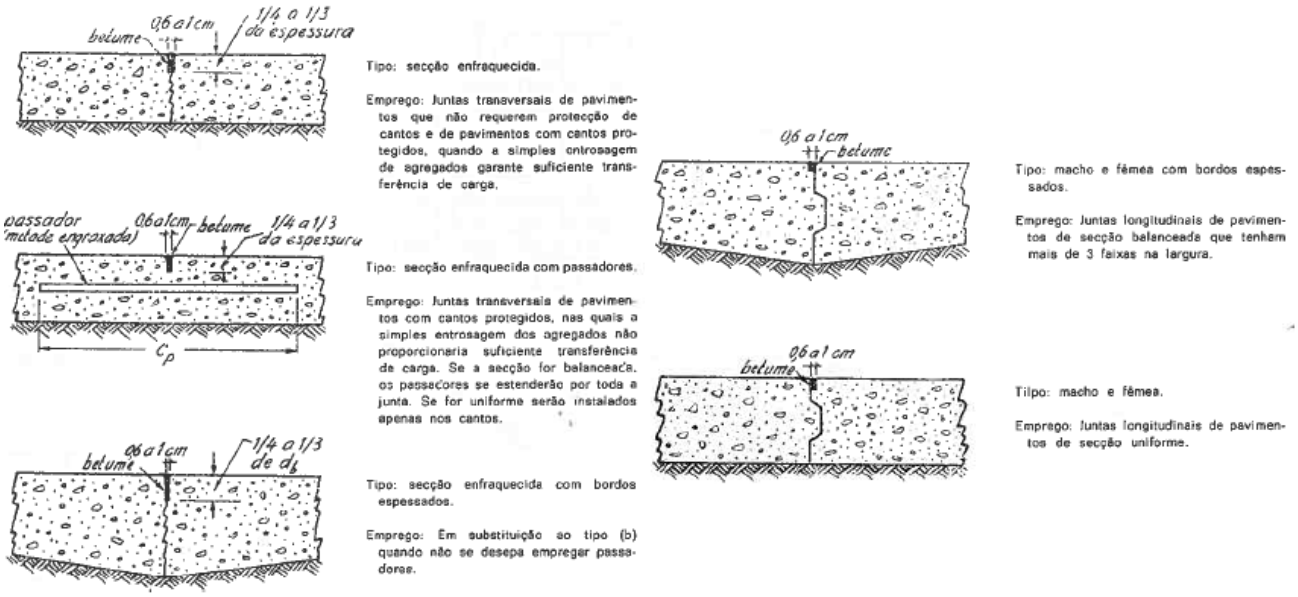

Fig.26 – Juntas de contração. (A.T.I.C., 1977)

5.2.3. JUNTAS DE DILATAÇÃO

As juntas de dilatação permitem que os extremos das placas se aproximem quando estas aumentam de volume. A aplicação destas juntas é comum em pontes e viadutos com grandes vãos, ou ainda, em curvas com raio bastante reduzido.

A maior diferença destas juntas em relação às anteriores é que estas interrompem a camada de betão desde a base até à superfície, o que de facto possibilita a extensão de troços de pavimento entre as respetivas juntas.

Estas juntas são instaladas de forma perpendicular ao eixo da estrada e podem ter entre 1 e 2 cm de abertura.

A razão pelo qual estas juntas existem prende-se com a existência de tensões de compressão simples, provocadas pelo atrito do pavimento com o com o leito, e cujo valor aumenta com a extensão do troço considerado, devido à progressiva restrição ao movimento das placas.

As juntas têm como objetivo controlar essas tensões, de forma a mantê-las dentro de limites satisfatórios.

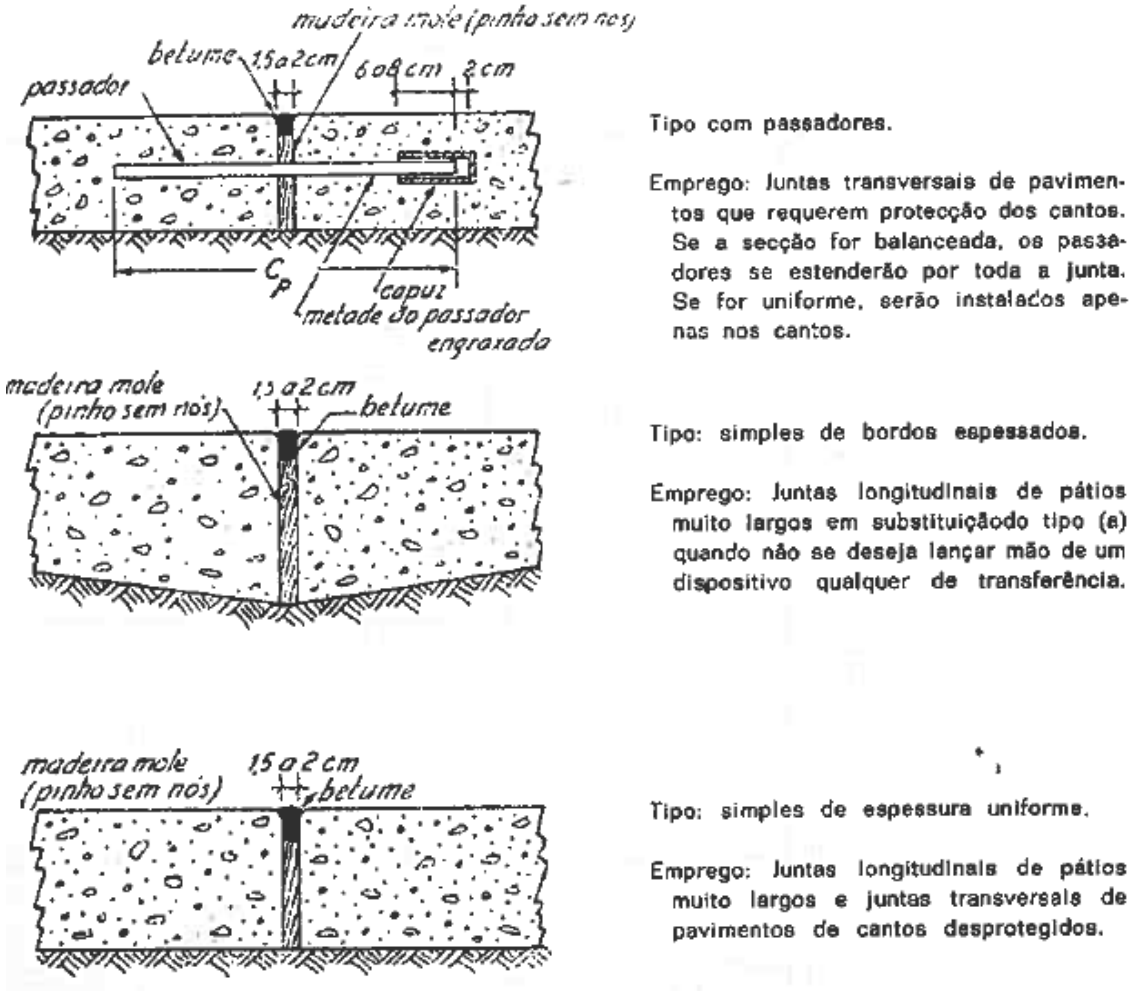

Fig.27 – Juntas de dilatação. (A.T.I.C., 1977)

5.3. ESTUDO DE VÁRIAS ANOMALIAS EM PAVIMENTOS RIGIDOS

5.3.1. PATOLOGIA DOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

As principais patologias dos pavimentos rígidos podem ser agrupadas em movimento de materiais, deformações, fendilhamento, defeitos de superfície e reparações [EP-IEP-JAE, 2006].

O movimento de materiais é caracterizado essencialmente pela bombagem de finos, ou seja, pela subida de finos ou calda de finos, à passagem dos rodados dos veículos (principalmente veículos pesados), nas juntas ou fendas, originando cavidades sob o betão de cimento, já que as juntas embora impermeabilizadas após a construção, permitem gradualmente a passagem de água através delas, o que leva, portanto, à ascensão de finos [EP-IEP-JAE, 2006; Pereira, 2003].

Podemos considerar que a bombagem de finos é um fenómeno que tem mais importância neste tipo de pavimento do que nos pavimentos flexíveis, já que está na origem, muitas vezes, de fendilhamento e de escalonamento.

Nos pavimentos flexíveis, o fenómeno de bombagem de finos está, geralmente, associado à existência de fendas como a pele de crocodilo, ou seja não tem tanta influência como causa para o aparecimento de outros tipos de degradações.

No entanto, a bombagem de finos em pavimentos flexíveis pode causar a contaminação da camada de base, e tendo como consequência o aumento da percentagem de finos e a alteração das características mecânicas da camada estrutural deste pavimento, e que por esse facto haja um pior comportamento estrutural do pavimento [Pereira, 2003].

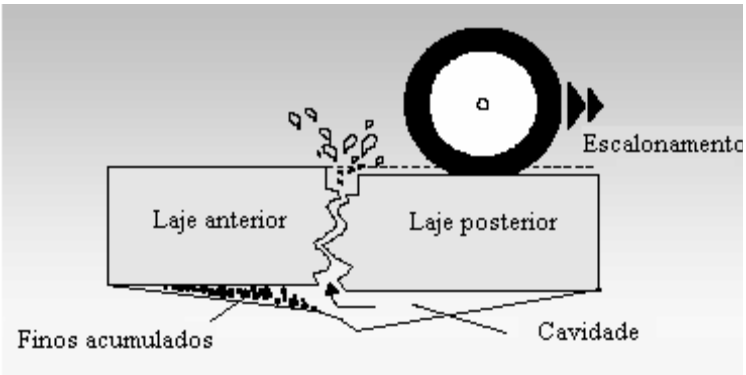

Fig. 28 – Fenómeno de bombagem de finos [Neves, 2007]

As deformações neste tipo de pavimento podem ser associadas ao escalonamento das lajes que não é mais que um desnível vertical entre dois lados de uma junta ou entre dois bordos de uma fenda, e pode ocorrer devido à ação repetida de cargas, pois a camada de sub-base ou o solo de fundação têm materiais erodíveis, quando há o acesso da água às camadas de sub-base e ao solo de fundação ou quando há uma insuficiente proteção das juntas [EP-IEP-JAE, 2006; Branco *et al*, 2006].

Fig. 29 – Escalonamento das lajes (http://professorrenierluiz.blogspot.com, 2011)

No caso do fendilhamento das lajes, as origens mais significativas são: a fadiga das lajes de betão, devida à constante repetição das tensões de tração provocadas pelas cargas dos veículos ao longo da vida do pavimento. Mas se o pavimento for bem dimensionado só deverão ocorrer na fase final da vida do pavimento pois em caso contrário podem revelar uma insuficiência estrutural da laje de betão; a retração, por ação das variações da temperatura; o encurvamento das lajes provocado pela ocorrência de gradientes de temperatura entre as faces superior e inferior da laje de betão, o que conduz a esforços suplementares na laje (na face inferior e superior) [Branco *et al*, 2006].

5.3.2. TIPO DE FENDILHAMENTO DAS LAJES

Resta analisar ao pormenor qual o tipo de fendilhamento das lajes:

- Fendilhamento em blocos**,** conjunto de fendas que formam entre si uma malha, não limitado à zona de passagem dos rodados dos veículos;

Fig. 30 – Fendilhamento em blocos (cprm.gov.br, 2011)

- Fendas diagonais**:** são fendas que ligam juntas ou fendas transversais e longitudinais adjacentes, situadas a uma distância de mais de 50 cm do canto das lajes;
- Fendas longitudinais**,** tal como o nome indica são fendas paralelas ao eixo da estrada, não limitadas à zona de passagem dos rodados dos veículos;

Fig. 31 – Fendas longitudinais (engenhariacivil.com, 2011)

- Fendas transversais: são fendas perpendiculares ao eixo da estrada, isoladas ou periódicas com espaçamento variável, abrangendo parte ou toda a largura da faixa de rodagem;

Fig. 32 – Fendas transversais em pavimentos rígidos (engenhariacivil.com, 2011)

- Fendas de canto, são fendas que ligam dois dos lados adjacentes duma laje e que se situam a uma distância inferior a 50 cm do canto da laje.

Fig. 33 – Fendas de canto (engenhariacivil.com, 2011)

- Fendas em laje, fendas longitudinais e transversais que formam lajes de menores dimensões.

5.4. TIPOS DE DEFEITOS DA SUPERFICIE MAIS COMUNS

Os defeitos de superfície mais comuns em pavimentos rígidos são os seguintes: defeitos de selagem das juntas ou fendas, desagregação superficial e defeitos das juntas.

Defeitos de selagem das juntas ou fendas – expulsão ou rotura do produto de selagem das juntas ou fendas, devido a deficiente selagem que permite a entrada e incrustação de agregados.

Fig. 34 – Defeito das selagens (engenhariacivil.com, 2011)

Desagregação superficial – desagregações superficiais do betão de cimento, evidenciadas por lasqueamento ou desintegração progressiva da superfície (desprendimento da calda superficial seguida

do polimento e perda de agregados); pode ter como causa a ação de desgaste do tráfego além da utilização de materiais de qualidade deficiente.

Fig. 35 – Desagregação superficial (engenhariacivil.com, 2011)

Defeitos das juntas – desagregação dos bordos das juntas; podem estar relacionados com o facto de as juntas serem demasiado estreitas; também se verificam quando ocorre o escalonamento das lajes devido ao fenómeno de bombagem dos finos.

Fig. 36 – Defeito das juntas (engenhariacivil.com, 2011)

6
CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo principal a formulação teórica e prática do dimensionamento de um pavimento rígido. A metodologia apresentada conjuga conhecimentos adquiridos ao longo do percurso académico com regulamentos diversos.

A objetividade do trabalho pretende elucidar do leitor em relação ao dimensionamento do pavimento rígido, quais as suas vantagens e quais os seus inconvenientes. Foi referido qual o regulamento que o Manual de Conceção de Pavimentos indica para o dimensionamento de pavimentos em betão e quais os seus critérios.

Serviu também para comparar o procedimento prático do dimensionamento através do método de Portland Cement Association e do modelo de dimensionamento computorizado ALIZE e dessa forma encontrar um modelo uniforme para dimensionar tanto pavimentos rígidos e flexíveis pelo mesmo software.

Foram também indicados algumas anomalias prováveis no funcionamento e conservação de pavimentos rígidos, as suas causas e as suas consequências, auxiliada pelo uso de imagens e fotografias.

Como sugestão para o futuro, a investigação poderá centrar-se mais no estudo de viabilidade económica do uso de pavimentos rígidos, pois com o custo de elevado das matérias-primas do betume, a hipótese de utilização de betão surge como uma opção interessante.

BIBLIOGRAFIA

Jeuffroy, Georges; Sauterey, Raymond (1989). *Chaussées en béton de ciment*.

Portland Cement Association (1984). *Thickness design for concrete highway and street pavements*.

Oliveira, P.L. (2000). *Projeto estrutural de Pavimentos Rodoviários e de pisos industriais de concreto*.

Medina, J. (1997). *Mecânica dos pavimentos*.

Antunes, Lourenço (1977). *Boletins Técnicos ATIC volume 1*.

Abdo, Joseph; Aunis, Jacques (1997). *Chaussées en béton Guide technique*, Laboratoire Central dês Ponts et chaussées.

Eduardo Portes da Silva, Carlos (2008). *Pavimento em concreto simples: Dimensionamento, execução e controlo tecnológico*. Dissertação de fim de curso Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria.

Castro, Bruno Almeida Cunha. (2010). *Construção de estradas e vias urbanas*.

Verónica, Amanda (2008). *Comparativo entre o dimensionamento do pavimento rígido e flexível para a Avenida Fernando Ferrari. Dissertação de fim de curso Engenharia civil*, UCL.

http://www.engenhariacivil.com. 2011.

http://www.cement.org/. 2011

http://www.dnit.gov.br/. 2011

ANEXOS

A.1. RESULTADOS MÉTODO PCA

A.2. RESULTADOS PROGRAMA ALIZÈ

A.3. ANÁLISE EXCEL DOS DADOS

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,160 m_____

Espessura arbitrada_____160 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____51_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____2,38_____

Factor de tensão:_____0,53_____

Eixos Simples

133	160	6310	-	-
125	150	14690	-	-
115	138	30140	-	-
107	128	64410	-	-
80	96	307200	10000	-
53	64	1837000	6000000	30,6

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,180 m_____

Espessura arbitrada_____180 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____51_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____2,01_____

Factor de tensão:_____0,45_____

Eixos Simples

133	160	6310	-	-
125	150	14690	-	-
115	138	30140	500	-
107	128	64410	2100	-
80	96	307200	230000	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,200 m_____

Espessura arbitrada_____200 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____51_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,73_____

Factor de tensão:_____0,38_____

Eixos Simples

133	160	6310	800	-
125	150	14690	2000	-
115	138	30140	8000	-
107	128	64410	36000	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,220 m_____

Espessura arbitrada_____220 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____51_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,51_____

Factor de tensão:_____0,34_____

Eixos Simples

133	160	6310	7100	88,9
125	150	14690	20000	73,4
115	138	30140	81000	37,2
107	128	64410	250000	25,8
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,240 m_____

Espessura arbitrada_____240 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____51_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,34_____

Factor de tensão:_____0,30_____

Eixos Simples

133	160	6310	55000	11,5
125	150	14690	150000	9,8
115	138	30140	600000	5,0
107	128	64410	6000000	1,1
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,260 m_____

Espessura arbitrada_____260 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____51_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,20_____

Factor de tensão:_____0,27_____

Eixos Simples

133	160	6310	310000	2,0
125	150	14690	900000	1,6
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,280 m_____

Espessura arbitrada_____280 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____51_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,08_____

Factor de tensão:_____0,24_____

Eixos Simples

133	160	6310	8000000	0,01
125	150	14690	ILIMITADO	-
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=60 Mpa h=0,300 m_____

Espessura arbitrada_____300 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____51_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____0,98_____

Factor de tensão:_____0,22_____

Eixos Simples

133	160	6310	ILIMITADO	-
125	150	14690	ILIMITADO	-
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=75 Mpa h=0,160 m_____

Espessura arbitrada_____160 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____57_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____2,32_____

Factor de tensão:_____0,52_____

Eixos Simples

133	160	6310	-	-
125	150	14690	-	-
115	138	30140	-	-
107	128	64410	-	-
80	96	307200	17000	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=75 Mpa h=0,180 m_____

Espessura arbitrada_____180 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____57_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,96_____

Factor de tensão:_____0,44_____

Eixos Simples

133	160	6310	-	-
125	150	14690	120	-
115	138	30140	700	-
107	128	64410	2900	-
80	96	307200	300000	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=75 Mpa h=0,200 m_____

Espessura arbitrada_____200 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____57_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,69_____

Factor de tensão:_____0,38_____

Eixos Simples

133	160	6310	800	-
125	150	14690	2000	-
115	138	30140	10500	-
107	128	64410	35000	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=75 Mpa h=0,220 m_____

Espessura arbitrada_____220 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____57_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,48_____

Factor de tensão:_____0,33_____

Eixos Simples

133	160	6310	11000	57,3
125	150	14690	30000	49,0
115	138	30140	115000	26,2
107	128	64410	370000	17,4
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=75 Mpa h=0,240 m_____

Espessura arbitrada_____240 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____57_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,31_____

Factor de tensão:_____0,29_____

Eixos Simples

133	160	6310	75000	8,4
125	150	14690	210000	7,0
115	138	30140	1500000	2,0
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=75 Mpa h=0,260 m_____

Espessura arbitrada_____260 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____57_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,17_____

Factor de tensão:_____0,26_____

Eixos Simples

133	160	6310	800000	0,8
125	150	14690	4000000	0,4
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=75 Mpa h=0,280 m_____

Espessura arbitrada_____280 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____57_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,06_____

Factor de tensão:_____0,24_____

Eixos Simples

133	160	6310	9000000	0,07
125	150	14690	ILIMITADO	-
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=75 Mpa h=0,300 m_____

Espessura arbitrada_____300 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____57_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____0,96_____

Factor de tensão:_____0,21_____

Eixos Simples

133	160	6310	ILIMITADO	-
125	150	14690	ILIMITADO	-
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=150 Mpa h=0,160 m_____

Espessura arbitrada_____160 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____72_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____2,22_____

Factor de tensão:_____0,49_____

Eixos Simples

133	160	6310	-	-
125	150	14690	-	-
115	138	30140	-	-
107	128	64410	400	-
80	96	307200	55000	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=150 Mpa h=0,180 m_____

Espessura arbitrada_____180 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____72_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,88_____

Factor de tensão:_____0,42_____

Eixos Simples

133	160	6310	100	-
125	150	14690	350	-
115	138	30140	1500	-
107	128	64410	6800	-
80	96	307200	7000000	4,4
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=150 Mpa h=0,200 m_____

Espessura arbitrada_____200 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____72_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,62_____

Factor de tensão:_____0,36_____

Eixos Simples

133	160	6310	2400	-
125	150	14690	7000	-
115	138	30140	30000	-
107	128	64410	910000	7
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=150 Mpa h=0,220 m_____

Espessura arbitrada_____220 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____72_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,42_____

Factor de tensão:_____0,32_____

Eixos Simples

133	160	6310	21000	30,0
125	150	14690	57000	25,8
115	138	30140	200000	15,1
107	128	64410	7500000	0,9
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=150 Mpa h=0,240 m_____

Espessura arbitrada_____240 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____72_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,26_____

Factor de tensão:_____0,28_____

Eixos Simples

133	160	6310	170000	3,7
125	150	14690	500000	2,9
115	138	30140	4000000	0,7
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=150 Mpa h=0,260 m_____

Espessura arbitrada_____260 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____72_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,13_____

Factor de tensão:_____0,25_____

Eixos Simples

133	160	6310	2000000	0,3
125	150	14690	10000000	0,1
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=150 Mpa h=0,280 m_____

Espessura arbitrada_____280 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____72_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____1,01_____

Factor de tensão:_____0,22_____

Eixos Simples

133	160	6310	ILIMITADO	-
125	150	14690	ILIMITADO	-
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

CÁLCULO DA ESPESSURA DO PAVIMENTO

Projecto____E=150 Mpa h=0,300 m_____

Espessura arbitrada_____300 mm_____ Juntas: sim:__X_ não:____

Módulo de reacção, K_____72_____MPa/m Berma: sim:____ não:_X__

Módulo de ruptura, MR_____4,5_____MPa Período de dimensionamento_20_anos

Factor de segurança, FS_____1,2_____

Peso por eixo, KN	Factor de segurança, FS, KN	Repetições expectáveis	Análise da Fadiga	
			Repetições permitidas	Percentagem de fadiga

Tensão de tração:_____0,92_____

Factor de tensão:_____0,20_____

Eixos Simples

133	160	6310	ILIMITADO	-
125	150	14690	ILIMITADO	-
115	138	30140	ILIMITADO	-
107	128	64410	ILIMITADO	-
80	96	307200	ILIMITADO	-
53	64	1837000	ILIMITADO	-

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   4.890
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.505E-04C* 0.192E+02B*-0.257E-04C* 0.489E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 16.00   *           *           *           *           *
*  16.00*             *-0.506E-04C*-0.175E+02B* 0.294E-04B* 0.205E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  16.00*             *-0.506E-04C*-0.744E-02A* 0.172E-03B* 0.205E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  31.00*             *-0.670E-04C*-0.522E-01C* 0.147E-03C* 0.153E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  31.00*             *-0.670E-04C*-0.108E-02A* 0.253E-03C* 0.153E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       35.42MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1351.81M                  *       47886.28M*MM/100      *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   4.890
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.427E-04C* 0.166E+02B*-0.218E-04C* 0.489E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.429E-04C*-0.148E+02B* 0.250E-04B* 0.167E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.429E-04C*-0.818E-02C* 0.141E-03B* 0.167E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.547E-04C*-0.422E-01C* 0.121E-03C* 0.127E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.547E-04C*-0.647E-03A* 0.209E-03C* 0.127E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       31.91MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1733.37M                  *       55304.30M*MM/100      *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *          *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.570E-04C* 0.221E+02B*-0.291E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *          *
*       * NU=0.25     *           *           *           *          *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *          *
*  18.00*             *-0.571E-04C*-0.198E+02B* 0.333E-04B* 0.223E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.571E-04C*-0.109E-01C* 0.188E-03B* 0.223E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *          *
*       * NU=0.25     *           *           *           *          *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *          *
*  33.00*             *-0.729E-04C*-0.563E-01C* 0.161E-03C* 0.169E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.729E-04C*-0.862E-03A* 0.279E-03C* 0.169E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *          *
*       * NU=0.25     *           *           *           *          *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *          *
*       *             *           *           *           *          *
*********************************************************************
*   D   *       42.54MM/100              *         R*D               *
*   R   *      1300.02M                  *       55304.30M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *          *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.614E-04C* 0.238E+02B*-0.313E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *          *
*       * NU=0.25     *           *           *           *          *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *          *
*  18.00*             *-0.616E-04C*-0.213E+02B* 0.359E-04B* 0.241E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.616E-04C*-0.118E-01C* 0.202E-03B* 0.241E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *          *
*       * NU=0.25     *           *           *           *          *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *          *
*  33.00*             *-0.786E-04C*-0.607E-01C* 0.174E-03C* 0.182E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.786E-04C*-0.930E-03A* 0.300E-03C* 0.182E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *          *
*       * NU=0.25     *           *           *           *          *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *          *
*       *             *           *           *           *          *
*********************************************************************
*   D   *       45.87MM/100              *         R*D               *
*   R   *      1205.71M                  *       55304.30M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.490E-04C* 0.195E+02B*-0.249E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.491E-04C*-0.169E+02B* 0.286E-04B* 0.185E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.491E-04C*-0.116E-01C* 0.157E-03B* 0.185E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.607E-04C*-0.466E-01C* 0.136E-03C* 0.142E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.607E-04C*-0.511E-03A* 0.234E-03C* 0.142E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       38.68MM/100              *         R*D               *
*   R   *      1615.08M                  *       62477.21M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.529E-04C* 0.210E+02B*-0.269E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.529E-04C*-0.183E+02B* 0.308E-04B* 0.200E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.529E-04C*-0.125E-01C* 0.169E-03B* 0.200E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.654E-04C*-0.502E-01C* 0.146E-03C* 0.153E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.654E-04C*-0.551E-03A* 0.253E-03C* 0.153E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       41.71MM/100              *         R*D               *
*   R   *      1497.91M                  *       62477.21M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.574E-04C* 0.228E+02B*-0.292E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.575E-04C*-0.198E+02B* 0.335E-04B* 0.217E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.575E-04C*-0.136E-01C* 0.184E-03B* 0.217E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.711E-04C*-0.546E-01C* 0.159E-03C* 0.166E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.711E-04C*-0.598E-03A* 0.275E-03C* 0.166E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       45.33MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1378.31M                  *       62477.21M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.613E-04C* 0.243E+02B*-0.312E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.613E-04C*-0.212E+02B* 0.357E-04B* 0.232E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.613E-04C*-0.145E-01C* 0.196E-03B* 0.232E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.758E-04C*-0.582E-01C* 0.170E-03C* 0.177E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.758E-04C*-0.638E-03A* 0.293E-03C* 0.177E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       48.35MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1292.06M                  *       62477.21M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.428E-04C* 0.174E+02B*-0.216E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.426E-04C*-0.147E+02C* 0.248E-04B* 0.156E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.426E-04C*-0.117E-01C* 0.133E-03B* 0.156E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.513E-04C*-0.392E-01C* 0.116E-03C* 0.121E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.513E-04C*-0.292E-03A* 0.200E-03C* 0.121E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       35.46MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1952.55M                  *       69237.34M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.461E-04C* 0.187E+02B*-0.233E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.459E-04C*-0.159E+02C* 0.268E-04B* 0.168E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.459E-04C*-0.126E-01C* 0.143E-03B* 0.168E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.553E-04C*-0.423E-01C* 0.125E-03C* 0.131E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.553E-04C*-0.315E-03A* 0.215E-03C* 0.131E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       38.23MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1810.90M                  *       69237.34M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.501E-04C* 0.204E+02B*-0.253E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.499E-04C*-0.172E+02C* 0.291E-04B* 0.183E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.499E-04C*-0.137E-01C* 0.156E-03B* 0.183E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.601E-04C*-0.459E-01C* 0.136E-03C* 0.142E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.601E-04C*-0.342E-03A* 0.234E-03C* 0.142E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       41.55MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1666.31M                  *       69237.34M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.534E-04C* 0.217E+02B*-0.270E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.533E-04C*-0.184E+02C* 0.310E-04B* 0.195E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.533E-04C*-0.146E-01C* 0.166E-03B* 0.195E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.642E-04C*-0.490E-01C* 0.145E-03C* 0.151E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.642E-04C*-0.365E-03A* 0.250E-03C* 0.151E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       44.33MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1562.04M                  *       69237.34M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.379E-04B* 0.157E+02B*-0.188E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.373E-04C*-0.130E+02C* 0.217E-04B* 0.133E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.373E-04C*-0.115E-01C* 0.114E-03B* 0.133E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.440E-04C*-0.335E-01C* 0.998E-04C* 0.105E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.440E-04C*-0.153E-03A* 0.172E-03C* 0.105E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       32.73MM/100              *         R*D                *
*   R   *      2305.18M                  *       75443.50M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.409E-04B* 0.170E+02B*-0.203E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.403E-04C*-0.140E+02C* 0.234E-04B* 0.144E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.403E-04C*-0.124E-01C* 0.123E-03B* 0.144E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.475E-04C*-0.361E-01C* 0.108E-03C* 0.113E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.475E-04C*-0.165E-03A* 0.186E-03C* 0.113E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       35.29MM/100              *         R*D                *
*   R   *      2137.95M                  *       75443.50M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.444E-04B* 0.184E+02B*-0.220E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.438E-04C*-0.152E+02C* 0.255E-04B* 0.156E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.438E-04C*-0.135E-01C* 0.134E-03B* 0.156E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.516E-04C*-0.392E-01C* 0.117E-03C* 0.123E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.516E-04C*-0.179E-03A* 0.202E-03C* 0.123E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       38.35MM/100               *         R*D               *
*   R   *      1967.25M                   *       75443.50M*MM/100     *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.474E-04B* 0.197E+02B*-0.235E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.467E-04C*-0.162E+02C* 0.272E-04B* 0.167E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.467E-04C*-0.144E-01C* 0.142E-03B* 0.167E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.550E-04C*-0.419E-01C* 0.125E-03C* 0.131E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.550E-04C*-0.191E-03A* 0.216E-03C* 0.131E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       40.91MM/100               *         R*D               *
*   R   *      1844.14M                   *       75443.50M*MM/100     *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.399E-04B* 0.169E+02B*-0.194E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 26.00   *           *           *           *           *
*  26.00*             *-0.387E-04C*-0.135E+02C* 0.225E-04B* 0.135E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  26.00*             *-0.387E-04C*-0.130E-01C* 0.116E-03B* 0.135E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  41.00*             *-0.448E-04C*-0.340E-01C* 0.102E-03C* 0.107E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  41.00*             *-0.448E-04C*-0.739E-04A* 0.176E-03C* 0.107E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       35.60MM/100             *         R*D               *
*   R   *      2274.74M                 *       80989.20M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.426E-04B* 0.180E+02B*-0.207E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 26.00   *           *           *           *           *
*  26.00*             *-0.413E-04C*-0.144E+02C* 0.240E-04B* 0.144E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  26.00*             *-0.413E-04C*-0.139E-01C* 0.124E-03B* 0.144E+00B*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  41.00*             *-0.477E-04C*-0.362E-01C* 0.109E-03C* 0.114E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  41.00*             *-0.477E-04C*-0.788E-04A* 0.188E-03C* 0.114E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       37.98MM/100             *         R*D               *
*   R   *      2132.40M                 *       80989.20M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 60 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.387E-04B* 0.166E+02B*-0.183E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 28.00   *           *           *           *           *
*  28.00*             *-0.367E-04C*-0.129E+02C* 0.214E-04B* 0.126E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  28.00*             *-0.367E-04C*-0.133E-01C* 0.109E-03C* 0.126E+00C*
*       * E=  1200.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  43.00*             *-0.418E-04C*-0.317E-01C* 0.958E-04C* 0.100E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  43.00*             *-0.418E-04C*-0.591E-05A* 0.166E-03C* 0.100E+00C*
*       * E=   600.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       35.44MM/100              *         R*D                *
*   R   *      2421.10M                  *       85806.54M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   4.890
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.481E-04C* 0.183E+02B*-0.242E-04C* 0.489E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 16.00   *           *           *           *           *
*  16.00*             *-0.481E-04C*-0.166E+02B* 0.280E-04B* 0.236E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  16.00*             *-0.481E-04C*-0.109E-01C* 0.158E-03B* 0.236E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  31.00*             *-0.625E-04C*-0.627E-01C* 0.133E-03C* 0.172E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  31.00*             *-0.625E-04C*-0.266E-02C* 0.229E-03C* 0.172E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       30.21MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1411.21M                  *       42628.48M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   4.890
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*******************************************************************
*       *             *           *           *           *       *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*******************************************************************
*   0.00*             * 0.409E-04C* 0.159E+02B*-0.206E-04C* 0.489E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.409E-04C*-0.141E+02B* 0.238E-04B* 0.193E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.409E-04C*-0.120E-01C* 0.130E-03B* 0.193E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.512E-04C*-0.511E-01C* 0.110E-03C* 0.143E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.512E-04C*-0.170E-02C* 0.190E-03C* 0.143E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*******************************************************************
*   D   *       27.25MM/100                 *         R*D             *
*   R   *      1802.16M                     *       49105.40M*MM/100  *
*******************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*******************************************************************
*       *             *           *           *           *       *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*******************************************************************
*   0.00*             * 0.545E-04C* 0.212E+02B*-0.275E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.545E-04C*-0.188E+02B* 0.317E-04B* 0.257E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.545E-04C*-0.160E-01C* 0.174E-03B* 0.257E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.683E-04C*-0.681E-01C* 0.147E-03C* 0.191E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.683E-04C*-0.227E-02C* 0.253E-03C* 0.191E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*******************************************************************
*   D   *       36.33MM/100                 *         R*D             *
*   R   *      1351.62M                     *       49105.40M*MM/100  *
*******************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.588E-04C* 0.229E+02B*-0.296E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.587E-04C*-0.203E+02B* 0.342E-04B* 0.277E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.587E-04C*-0.173E-01C* 0.187E-03B* 0.277E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.737E-04C*-0.734E-01C* 0.159E-03C* 0.205E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.737E-04C*-0.245E-02C* 0.273E-03C* 0.205E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       39.17MM/100              *         R*D               *
*   R   *      1253.57M                  *       49105.40M*MM/100    *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.639E-04C* 0.249E+02B*-0.322E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.638E-04C*-0.220E+02B* 0.372E-04B* 0.301E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.638E-04C*-0.187E-01C* 0.203E-03B* 0.301E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.800E-04C*-0.798E-01C* 0.173E-03C* 0.223E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.800E-04C*-0.266E-02C* 0.297E-03C* 0.223E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       42.57MM/100              *         R*D               *
*   R   *      1153.48M                  *       49105.40M*MM/100    *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.470E-04C* 0.187E+02B*-0.236E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.469E-04C*-0.161E+02B* 0.273E-04B* 0.214E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.469E-04C*-0.164E-01C* 0.145E-03B* 0.214E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.571E-04C*-0.566E-01C* 0.124E-03C* 0.161E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.571E-04C*-0.162E-02A* 0.213E-03C* 0.161E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       33.08MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1673.19M                  *       55342.98M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.507E-04C* 0.202E+02B*-0.255E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.506E-04C*-0.174E+02B* 0.295E-04B* 0.230E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.506E-04C*-0.177E-01C* 0.157E-03B* 0.230E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.615E-04C*-0.610E-01C* 0.134E-03C* 0.173E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.615E-04C*-0.175E-02A* 0.230E-03C* 0.173E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       35.66MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1551.81M                  *       55342.98M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*******************************************************************
*       *             *           *           *           *       *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*******************************************************************
*   0.00*             * 0.551E-04C* 0.220E+02B*-0.277E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.550E-04C*-0.189E+02B* 0.320E-04B* 0.250E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.550E-04C*-0.192E-01C* 0.170E-03B* 0.250E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.669E-04C*-0.663E-01C* 0.145E-03C* 0.188E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.669E-04C*-0.190E-02A* 0.250E-03C* 0.188E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*******************************************************************
*   D   *       38.76MM/100              *         R*D               *
*   R   *      1427.91M                  *       55342.98M*MM/100     *
*******************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*******************************************************************
*       *             *           *           *           *       *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*******************************************************************
*   0.00*             * 0.587E-04C* 0.234E+02B*-0.295E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.586E-04C*-0.202E+02B* 0.341E-04B* 0.267E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.586E-04C*-0.205E-01C* 0.182E-03B* 0.267E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.713E-04C*-0.707E-01C* 0.155E-03C* 0.201E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.713E-04C*-0.203E-02A* 0.267E-03C* 0.201E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*******************************************************************
*   D   *       41.35MM/100              *         R*D               *
*   R   *      1338.55M                  *       55342.98M*MM/100     *
*******************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.411E-04C* 0.168E+02B*-0.205E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.408E-04C*-0.140E+02C* 0.238E-04B* 0.180E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.408E-04C*-0.162E-01C* 0.123E-03B* 0.180E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.484E-04C*-0.478E-01C* 0.106E-03C* 0.138E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.484E-04C*-0.123E-02A* 0.183E-03C* 0.138E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       30.35MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      2016.36M                  *       61195.61M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.443E-04C* 0.181E+02B*-0.221E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.440E-04C*-0.151E+02C* 0.256E-04B* 0.194E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.440E-04C*-0.174E-01C* 0.133E-03B* 0.194E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.522E-04C*-0.516E-01C* 0.114E-03C* 0.148E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.522E-04C*-0.133E-02A* 0.197E-03C* 0.148E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       32.72MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1870.08M                  *       61195.61M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.481E-04C* 0.197E+02B*-0.240E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.478E-04C*-0.165E+02C* 0.278E-04B* 0.211E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.478E-04C*-0.189E-01C* 0.145E-03B* 0.211E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.567E-04C*-0.561E-01C* 0.124E-03C* 0.161E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.567E-04C*-0.144E-02A* 0.214E-03C* 0.161E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       35.56MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1720.77M                  *       61195.61M*MM/100      *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.513E-04C* 0.210E+02B*-0.256E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.510E-04C*-0.175E+02C* 0.297E-04B* 0.225E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.510E-04C*-0.202E-01C* 0.154E-03B* 0.225E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.605E-04C*-0.598E-01C* 0.133E-03C* 0.172E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.605E-04C*-0.154E-02A* 0.228E-03C* 0.172E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       37.94MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1613.09M                  *       61195.61M*MM/100      *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.394E-04B* 0.164E+02B*-0.193E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.386E-04C*-0.134E+02C* 0.225E-04B* 0.166E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.386E-04C*-0.169E-01C* 0.114E-03B* 0.166E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.449E-04C*-0.442E-01C* 0.990E-04C* 0.128E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.449E-04C*-0.103E-02A* 0.170E-03C* 0.128E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       30.23MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      2201.43M                  *       66542.52M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.428E-04B* 0.178E+02B*-0.210E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.420E-04C*-0.145E+02C* 0.244E-04B* 0.181E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.420E-04C*-0.183E-01C* 0.124E-03B* 0.181E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.488E-04C*-0.481E-01C* 0.108E-03C* 0.140E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.488E-04C*-0.112E-02A* 0.185E-03C* 0.140E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       32.85MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      2025.66M                  *       66542.52M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.456E-04B* 0.190E+02B*-0.224E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.448E-04C*-0.155E+02C* 0.260E-04B* 0.193E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.448E-04C*-0.195E-01C* 0.133E-03B* 0.193E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.520E-04C*-0.513E-01C* 0.115E-03C* 0.149E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.520E-04C*-0.119E-02A* 0.197E-03C* 0.149E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       35.04MM/100                 *         R*D               *
*   R   *      1898.90M                     *       66542.52M*MM/100    *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.385E-04B* 0.163E+02B*-0.185E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 26.00   *           *           *           *           *
*  26.00*             *-0.372E-04C*-0.129E+02C* 0.216E-04B* 0.156E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  26.00*             *-0.372E-04C*-0.175E-01C* 0.108E-03B* 0.156E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  41.00*             *-0.424E-04C*-0.417E-01C* 0.940E-04C* 0.122E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  41.00*             *-0.424E-04C*-0.889E-03A* 0.162E-03C* 0.122E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       30.52MM/100                 *         R*D               *
*   R   *      2336.09M                     *       71294.69M*MM/100    *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.411E-04B* 0.174E+02B*-0.197E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 26.00   *           *           *           *           *
*  26.00*             *-0.397E-04C*-0.138E+02C* 0.230E-04B* 0.167E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  26.00*             *-0.397E-04C*-0.187E-01C* 0.115E-03B* 0.167E+00B*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  41.00*             *-0.453E-04C*-0.445E-01C* 0.100E-03C* 0.130E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  41.00*             *-0.453E-04C*-0.948E-03A* 0.173E-03C* 0.130E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       32.56MM/100              *         R*D                *
*   R   *      2189.91M                  *       71294.69M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 75 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.374E-04B* 0.161E+02B*-0.174E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 28.00   *           *           *           *           *
*  28.00*             *-0.353E-04C*-0.123E+02C* 0.205E-04B* 0.146E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  28.00*             *-0.353E-04C*-0.177E-01C* 0.101E-03C* 0.146E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  43.00*             *-0.397E-04C*-0.390E-01C* 0.884E-04C* 0.115E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  43.00*             *-0.397E-04C*-0.767E-03A* 0.152E-03C* 0.115E+00C*
*       * E=   750.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       30.40MM/100              *         R*D                *
*   R   *      2480.36M                  *       75397.64M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   4.890
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.408E-04C* 0.158E+02B*-0.195E-04C* 0.489E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 16.00   *           *           *           *           *
*  16.00*             *-0.402E-04C*-0.138E+02B* 0.236E-04B* 0.357E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  16.00*             *-0.402E-04C*-0.304E-01C* 0.122E-03B* 0.357E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  31.00*             *-0.492E-04C*-0.106E+00C* 0.967E-04C* 0.244E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  31.00*             *-0.492E-04C*-0.125E-01C* 0.164E-03C* 0.244E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       18.27MM/100             *         R*D                 *
*   R   *      1637.68M                 *       29917.92M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.544E-04C* 0.210E+02B*-0.260E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 16.00   *           *           *           *           *
*  16.00*             *-0.536E-04C*-0.184E+02B* 0.315E-04B* 0.476E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  16.00*             *-0.536E-04C*-0.406E-01C* 0.162E-03B* 0.476E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  31.00*             *-0.656E-04C*-0.142E+00C* 0.129E-03C* 0.325E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  31.00*             *-0.656E-04C*-0.167E-01C* 0.219E-03C* 0.325E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       24.36MM/100             *         R*D                 *
*   R   *      1228.26M                 *       29917.92M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   4.890
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.350E-04C* 0.138E+02B*-0.169E-04C* 0.489E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.346E-04C*-0.118E+02B* 0.203E-04B* 0.294E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.346E-04C*-0.304E-01C* 0.101E-03B* 0.294E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.410E-04C*-0.883E-01C* 0.814E-04C* 0.205E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.410E-04C*-0.995E-02C* 0.138E-03C* 0.205E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       16.57MM/100              *         R*D                *
*   R   *      2060.78M                  *       34153.77M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS

*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.467E-04C* 0.185E+02B*-0.225E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.461E-04C*-0.158E+02B* 0.270E-04B* 0.392E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.461E-04C*-0.406E-01C* 0.135E-03B* 0.392E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.546E-04C*-0.118E+00C* 0.108E-03C* 0.274E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.546E-04C*-0.133E-01C* 0.185E-03C* 0.274E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       22.10MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1545.59M                  *       34153.77M*MM/100     *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.504E-04C* 0.199E+02B*-0.242E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.497E-04C*-0.170E+02B* 0.291E-04B* 0.423E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.497E-04C*-0.438E-01C* 0.145E-03B* 0.423E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.589E-04C*-0.127E+00C* 0.117E-03C* 0.295E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.589E-04C*-0.143E-01C* 0.199E-03C* 0.295E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       23.83MM/100                 *         R*D               *
*   R   *      1433.46M                     *       34153.77M*MM/100    *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.548E-04C* 0.216E+02B*-0.263E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.540E-04C*-0.185E+02B* 0.317E-04B* 0.460E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.540E-04C*-0.476E-01C* 0.158E-03B* 0.460E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.640E-04C*-0.138E+00C* 0.127E-03C* 0.321E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.640E-04C*-0.155E-01C* 0.216E-03C* 0.321E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       25.89MM/100                 *         R*D               *
*   R   *      1319.01M                     *       34153.77M*MM/100    *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.584E-04C* 0.231E+02B*-0.281E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 18.00   *           *           *           *           *
*  18.00*             *-0.576E-04C*-0.197E+02B* 0.338E-04B* 0.490E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  18.00*             *-0.576E-04C*-0.507E-01C* 0.169E-03B* 0.490E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  33.00*             *-0.683E-04C*-0.147E+00C* 0.136E-03C* 0.342E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  33.00*             *-0.683E-04C*-0.166E-01C* 0.231E-03C* 0.342E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       27.62MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1236.47M                  *       34153.77M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.407E-04C* 0.165E+02B*-0.195E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.401E-04C*-0.137E+02B* 0.234E-04B* 0.329E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.401E-04C*-0.394E-01C* 0.114E-03B* 0.329E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.462E-04C*-0.995E-01C* 0.925E-04C* 0.233E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.462E-04C*-0.108E-01C* 0.157E-03C* 0.233E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       20.21MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1888.86M                  *       38175.04M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.438E-04C* 0.178E+02B*-0.211E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.432E-04C*-0.147E+02B* 0.253E-04B* 0.354E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.432E-04C*-0.425E-01C* 0.123E-03B* 0.354E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.498E-04C*-0.107E+00C* 0.998E-04C* 0.252E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.498E-04C*-0.117E-01C* 0.170E-03C* 0.252E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       21.79MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1751.83M                  *       38175.04M*MM/100      *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.476E-04C* 0.193E+02B*-0.229E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.469E-04C*-0.160E+02B* 0.275E-04B* 0.385E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.469E-04C*-0.462E-01C* 0.133E-03B* 0.385E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.541E-04C*-0.117E+00C* 0.108E-03C* 0.274E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.541E-04C*-0.127E-01C* 0.184E-03C* 0.274E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       23.68MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      1611.96M                  *       38175.04M*MM/100      *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.508E-04C* 0.206E+02B*-0.244E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 20.00   *           *           *           *           *
*  20.00*             *-0.501E-04C*-0.171E+02B* 0.293E-04B* 0.411E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  20.00*             *-0.501E-04C*-0.492E-01C* 0.142E-03B* 0.411E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  35.00*             *-0.577E-04C*-0.124E+00C* 0.116E-03C* 0.292E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  35.00*             *-0.577E-04C*-0.135E-01C* 0.197E-03C* 0.292E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       25.26MM/100             *         R*D                 *
*   R   *      1511.09M                 *       38175.04M*MM/100      *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   6.520
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.358E-04B* 0.149E+02B*-0.171E-04C* 0.652E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.351E-04C*-0.119E+02B* 0.205E-04B* 0.279E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.351E-04C*-0.376E-01C* 0.972E-04B* 0.279E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.396E-04C*-0.853E-01C* 0.799E-04C* 0.202E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.396E-04C*-0.905E-02C* 0.136E-03C* 0.202E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       18.61MM/100             *         R*D                 *
*   R   *      2250.32M                 *       41889.30M*MM/100      *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*******************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*******************************************************************
*   0.00*             * 0.386E-04B* 0.161E+02B*-0.184E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.379E-04C*-0.129E+02B* 0.221E-04B* 0.301E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.379E-04C*-0.405E-01C* 0.105E-03B* 0.301E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.427E-04C*-0.920E-01C* 0.862E-04C* 0.217E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.427E-04C*-0.975E-02C* 0.147E-03C* 0.217E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*******************************************************************
*   D   *       20.07MM/100              *         R*D                *
*   R   *      2087.07M                  *       41889.30M*MM/100     *
*******************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*******************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*******************************************************************
*   0.00*             * 0.420E-04B* 0.174E+02B*-0.200E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.412E-04C*-0.140E+02B* 0.240E-04B* 0.327E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.412E-04C*-0.440E-01C* 0.114E-03B* 0.327E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.464E-04C*-0.999E-01C* 0.936E-04C* 0.236E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.464E-04C*-0.106E-01C* 0.159E-03C* 0.236E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*******************************************************************
*   D   *       21.81MM/100              *         R*D                *
*   R   *      1920.43M                  *       41889.30M*MM/100     *
*******************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.448E-04B* 0.186E+02B*-0.213E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 22.00   *           *           *           *           *
*  22.00*             *-0.439E-04C*-0.149E+02B* 0.256E-04B* 0.349E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  22.00*             *-0.439E-04C*-0.470E-01C* 0.122E-03B* 0.349E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  37.00*             *-0.495E-04C*-0.107E+00C* 0.999E-04C* 0.252E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  37.00*             *-0.495E-04C*-0.113E-01C* 0.170E-03C* 0.252E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       23.27MM/100                 *         R*D               *
*   R   *      1800.26M                     *       41889.30M*MM/100    *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.030
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************************
*   0.00*             * 0.347E-04B* 0.147E+02B*-0.162E-04C* 0.703E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.335E-04C*-0.114E+02C* 0.195E-04B* 0.259E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.335E-04C*-0.383E-01C* 0.906E-04B* 0.259E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.371E-04C*-0.798E-01C* 0.752E-04C* 0.190E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.371E-04C*-0.830E-02C* 0.128E-03C* 0.190E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************************
*   D   *       18.60MM/100                 *         R*D               *
*   R   *      2431.58M                     *       45224.40M*MM/100    *
*****************************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.377E-04B* 0.160E+02B*-0.176E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.364E-04C*-0.124E+02C* 0.212E-04B* 0.281E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.364E-04C*-0.416E-01C* 0.984E-04B* 0.281E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.403E-04C*-0.867E-01C* 0.817E-04C* 0.206E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.403E-04C*-0.902E-02C* 0.139E-03C* 0.206E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       20.21MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      2237.44M                  *       45224.40M*MM/100      *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*****************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*****************************************************************
*   0.00*             * 0.402E-04B* 0.170E+02B*-0.188E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 24.00   *           *           *           *           *
*  24.00*             *-0.388E-04C*-0.133E+02C* 0.226E-04B* 0.300E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  24.00*             *-0.388E-04C*-0.444E-01C* 0.105E-03B* 0.300E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  39.00*             *-0.430E-04C*-0.925E-01C* 0.871E-04C* 0.220E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  39.00*             *-0.430E-04C*-0.963E-02C* 0.148E-03C* 0.220E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*****************************************************************
*   D   *       21.56MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      2097.43M                  *       45224.40M*MM/100      *
*****************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   7.640
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.342E-04B* 0.147E+02B*-0.156E-04C* 0.764E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 26.00   *           *           *           *           *
*  26.00*             *-0.324E-04C*-0.111E+02C* 0.188E-04B* 0.244E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  26.00*             *-0.324E-04C*-0.391E-01C* 0.859E-04B* 0.244E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  41.00*             *-0.353E-04C*-0.760E-01C* 0.719E-04C* 0.181E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  41.00*             *-0.353E-04C*-0.780E-02C* 0.122E-03C* 0.181E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       18.83MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      2556.17M                  *       48131.94M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```

```
*                                                                                                                    *
                    E 150 MPa
                    POSITION DE LA VALEUR MAXIMALE POUR UN JUMELAGE
                    A SOUS UNE ROUE SIMPLE
                    B SOUS UNE DES ROUES DU JUMELAGE
                    C AU CENTRE DU JUMELAGE
                       A=  12.500  D=  37.500  Q=   8.150
                    NOMBRE DE COUCHES  3

*********************************************************************
*       *             *           *           *           *           *
*   Z   *             *  EPSILONT *   SIGMAT  *  EPSILONZ *   SIGMAZ  *
*********************************************************************
*   0.00*             * 0.365E-04B* 0.157E+02B*-0.166E-04C* 0.815E+01A*
*       * E=280000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H1= 26.00   *           *           *           *           *
*  26.00*             *-0.345E-04C*-0.119E+02C* 0.201E-04B* 0.260E+00B*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  26.00*             *-0.345E-04C*-0.417E-01C* 0.916E-04B* 0.260E+00B*
*       * E=  3000.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H2= 15.00   *           *           *           *           *
*  41.00*             *-0.377E-04C*-0.811E-01C* 0.767E-04C* 0.193E+00C*
*-------*---  COLLE---*-----------*-----------*-----------*-----------*
*  41.00*             *-0.377E-04C*-0.832E-02C* 0.130E-03C* 0.193E+00C*
*       * E=  1500.   *           *           *           *           *
*       * NU=0.25     *           *           *           *           *
*       * H3=INFINI   *           *           *           *           *
*       *             *           *           *           *           *
*********************************************************************
*   D   *       20.09MM/100              *         R*D                 *
*   R   *      2396.21M                  *       48131.94M*MM/100      *
*********************************************************************
                    MODULES ET CONTRAINTES EN BARS
```