

# **Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis**

**Helder Capela Torrão**

Relatório Final de Projeto apresentado à  
**Escola Superior de Tecnologia e Gestão**  
**Instituto Politécnico de Bragança**

Para obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia da Construção**

**Dezembro de 2015**



# **Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis**

**Helder Capela Torrão**

Relatório Final de Projeto apresentado à  
**Escola Superior de Tecnologia e Gestão**  
**Instituto Politécnico de Bragança**

Para obtenção do grau de Mestre em  
**Engenharia da Construção**

Orientador:  
**Manuel Joaquim da Costa Minhoto**

**Dezembro de 2015**



## **Agradecimentos**

O presente Trabalho de Projeto de mestrado foi realizado na Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança, sob a orientação do Doutor Manuel Joaquim da Costa Minhoto, ao qual devo agradecer pela orientação, esclarecimentos e incentivo prestado para a conclusão e de forma a atingir as metas propostas pelo tema. Devo ainda agradecer a indicação e cedência de parte da bibliografia necessária à realização deste trabalho, bem como toda a dedicação e disponibilidade demonstrada para a ajudar na superação das várias barreiras que se foram encontrando ao longo do desenvolvimento do estudo realizado neste trabalho.

À Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança e em particular ao Doutor José Carlos Rufino Amaro, devo a disponibilização dos recursos informáticos utilizados para a realização do estudo efetuado neste trabalho, sem os quais não seria possível atingir o objetivo principal deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas que me acompanham ao longo de todos estes anos de estudo e com os quais espero continuar a contar durante muito e longos anos.

À Andreia Fernandes pela compreensão, paciência, apoio e incentivo durante todo o tempo de concretização deste trabalho.

Um agradecimento especial à minha mãe, sem a qual nada disto seria possível, tendo-se sacrificado todos estes anos para que eu me pudesse formar e completar toda a fase de estudos que pretendia alcançar.



## Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis

### Resumo

Atualmente, em Portugal, a construção de novos troços de estrada das redes rodoviárias nacionais, atingiu uma fase de construção residual. No entanto, os pavimentos rodoviários que constituem estas redes exibem um limitado período de vida em serviço, após o qual o pavimento atinge um estado de degradação inaceitável face às exigências. Assim, ao fim de determinado período de vida, é necessário intervir nos pavimentos para que seja restituída a sua qualidade e, conseqüentemente, os níveis de segurança e conforto para os utilizadores da rede rodoviária.

Os pavimentos rodoviários flexíveis estão sujeitos a diversos tipos de ações, que provocam a sua progressiva degradação, através de mecanismos de ruína, refletindo-se em diversas patologias, cuja evolução tem como consequência a sua ruína final. Uma das degradações que se destaca neste trabalho é o fendilhamento, por ser o mais frequente, por possuir uma interligação com as restantes patologias e por ter diversas origens/mecanismos de ruína.

A melhoria do estado dos pavimentos passa pela aplicação de estratégias de reabilitação que permitam repor ou melhorar os níveis de qualidade pretendidos para o pavimento. Existem diversas estratégias de reabilitação que se têm revelado eficazes na melhoria da qualidade funcional e estrutural dos pavimentos, quando aplicadas no momento adequado. A aplicação de camadas novas, normalmente designadas por “reforços de pavimento”, sobre pavimentos degradados constitui um tipo de estratégia de reabilitação estrutural muito utilizado. No entanto, a aplicação destes reforços promove o desenvolvimento dum mecanismo de degradação das novas camadas, designado por “reflexão de fendas”, que se revela pela progressão das fendas das camadas existentes para nas novas camadas de reforço. É necessário adotar soluções de reforço que considerem este mecanismo na reabilitação dos pavimentos fendilhados de forma evitar a degradação prematura da solução de reabilitação, ou seja, do reforço.

O objetivo do presente trabalho consiste na realização dum estudo numérico sobre o comportamento de algumas soluções de reabilitação estrutural baseada em reforços de pavimento, orientadas para a resistência à reflexão de fendas, concluindo-se acerca do comportamento de cada uma das soluções de reforço estudadas.

**Palavras-chave:** Pavimentos rodoviários flexíveis; Reabilitação; Reforço de pavimentos; Reflexão de fendas

---



## Rehabilitation of Flexible Road Pavements

### Abstract

Currently, in Portugal, the construction of new road sections of national road networks, reached a residual construction. However, the road pavements which constituting these networks exhibit a limited life in service, after which the pavement reaches an unacceptable degradation state for meet the demands. Thus, after a certain period of life, an intervention on the pavements is required to be restored its quality and, consequently, the levels of safety and comfort for road users.

Flexible road pavements are subject to various types of loads that causes the progressive degradation through ruin mechanisms, reflected in several pathologies, whose evolution results in their final ruin. One of distress that stand out in this work is the “cracking”, being the most frequent, because it has an interconnection with other pathologies and have diverse origins/ruin mechanisms.

Improving the pavements status involves the application of rehabilitation strategies to restore or improve the desired quality levels to the pavement. There are several rehabilitation strategies that have proved successful in improving the functional and structural quality of road pavements, when applied at the right time. The application of new layers, commonly referred to as "pavement overlays" on damaged pavements is a widely used type of structural rehabilitation strategy. However, the application of such solutions promotes the development of degradation mechanism of the new layer, referred to as "reflective cracking", which shows the progression of the cracks from the existing layers for above reinforcement layers. It is necessary to adopt reinforcement solutions that consider this mechanism in the rehabilitation of cracked pavements to prevent premature degradation of the rehabilitation solution.

The objective of this work consists in a numerical study about the behavior of some structural rehabilitation solutions based on pavement overlays, oriented for resistance to reflective cracking, concluding about the behavior of each of the studied solution.

**Key-words:** Flexible road pavements; Rehabilitation; Pavement overlay; Reflective cracking



---

## Índice

1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento Temático.....	1
1.2. Objetivos e Metodologias.....	3
1.3. Organização do Documento .....	3
2. Pavimentos Rodoviários Flexíveis .....	5
2.1. Comportamento dos Pavimentos.....	5
2.2. Degradação dos Pavimentos.....	8
2.2.1. Deformação .....	12
2.2.2. Fendilhamento .....	14
2.2.3. Desagregação.....	19
2.2.4. Movimento de Materiais.....	22
2.2.5. Manchas de Humidade .....	23
2.2.6. Reparações Localizadas.....	23
2.3. Estado dos Pavimentos.....	24
3. Reabilitação de Pavimentos.....	27
3.1. Reabilitação Funcional .....	29
3.1.1. Revestimentos Betuminosos Superficiais.....	31
3.1.2. Microaglomerado Betuminoso a Frio.....	34
3.1.3. Lama Asfáltica .....	36
3.1.4. Microbetão Betuminoso Rugoso .....	36
3.1.5. Argamassa Betuminosa .....	37
3.1.6. Betão Betuminoso .....	38
3.1.7. Betão Betuminoso Drenante.....	39
3.1.8. Betão Betuminoso de Alto Módulo.....	41
3.1.9. Macadame Betuminoso .....	42
3.1.10. Reparações Localizadas.....	42
3.2. Reabilitação Estrutural .....	44
3.2.1. SAMI's .....	46
3.2.2. Geotêxtil Impregnado com Betume.....	47
3.2.3. Armaduras e Grelhas .....	49
3.2.4. Fresagem .....	50
3.2.5. Reciclagem .....	52
3.2.5.1. Reciclagem “in situ”, a frio, com cimento.....	54

3.2.5.2.	Reciclagem “in situ”, a frio, com emulsão betuminosa.....	56
3.2.5.3.	Reciclagem “in situ”, a frio, com betume espuma.....	57
3.2.5.4.	Reciclagem “in situ”, a quente, com betume/rejuvenescedor.....	59
3.2.5.5.	Reciclagem em central, a frio, com emulsão betuminosa ou betume espuma.....	60
3.2.5.7.	Reciclagem em central, a quente, com betume .....	62
3.2.5.8.	Reciclagem “in situ”, a quente, com betume .....	63
4.	Análise de Soluções de Reabilitação sobre Pavimentos Fendilhados .....	65
4.1.	Reflexão de Fendas .....	65
4.2.	Soluções de Reabilitação.....	67
4.3.	Modelo Numérico.....	71
4.3.1.	Modelo Geométrico.....	72
4.3.2.	Modelo Mecânico - malhagem e elementos .....	73
4.3.3.	Condições Fronteira e Solicitação .....	76
4.4.	Procedimento de Simulação .....	77
4.5.	Análise das Expressões de Cálculo da Vida Previsível .....	81
4.6.	Análise das Soluções de Reabilitação em termos de Extensões.....	86
4.7.	Análise das Soluções de Reabilitação em termos de Vida Previsível .....	91
5.	Considerações Finais .....	97
5.1.	Síntese do Trabalho e Principais Conclusões .....	97
5.2.	Desenvolvimentos Futuros .....	99
	Referências Bibliográficas .....	101
	Anexos.....	105

---

**Índice de Figuras**

Figura 2.1	- Constituição e comportamento do pavimento flexível (Branco et al., 2008).	5
Figura 2.2	- Ações e solicitações sob um pavimento rodoviário flexível (Branco et al., 2008).	7
Figura 2.3	- Sequência e interação das patologias (Pereira & Miranda, 1999).	10
Figura 2.4	- Rodeiras de pequeno raio.	12
Figura 2.5	- Rodeiras de grande raio.	13
Figura 2.6	- Diferentes tipos de fendilhação (traduzido de Colombier, 1997).	15
Figura 2.7	- Diferente aspeto das fendas (traduzido de Colombier, 1997).	17
Figura 2.8	- Diferentes tipos de desagregação (Estradas de Portugal, 2008).	19
Figura 3.1	- Tipos de revestimento betuminoso superficial (Pereira & Miranda, 1999).	31
Figura 3.2	- Processo de aplicação dos revestimentos betuminosos superficiais (Pereira & Miranda, 1999).	34
Figura 3.3	- Esquema de equipamento para fabrico e colocação em obra de microaglomerado betuminosa a frio ou lama asfáltica (Branco et al., 2008).	35
Figura 3.4	- Camada de desgaste drenante, transição entre faixa de rodagem e berma (Pereira & Miranda, 1999).	40
Figura 3.5	- Estratégias normalmente adotadas na reabilitação estrutural de pavimentos fendilhados (Minhoto, 2005)	45
Figura 3.6	- Sobreposição longitudinal e transversal de geotêxtil para impregnação com betume (imagem Fibertex Nonwovens).	48
Figura 3.7	- Esquema da operação de reciclagem "in situ" a frio com emulsão betuminosa, esquema de misturadora e "comboio" de intervenção (Batista, 2009 - imagens Wirtgen).	57
Figura 3.8	- Camara de expansão para obtenção do betume espuma (adaptado de Wirtgen, 2001)	58
Figura 3.9	- Esquema do "comboio" de intervenção no processo de reciclagem "in situ" a quente com betume/rejuvenescedor (Martinho, 2005).	59
Figura 3.10	- Central móvel de reciclagem a quente (Pereira & Miranda, 1999 - EAPA).	63

---

---

Figura 4.1	- Modo de atuação das interfaces "anti-fendas".	66
Figura 4.2	- Soluções de reabilitação estrutural estudadas para um pavimento flexível fendilhado.	67
Figura 4.3	- Esquematização da área do pavimento a analisar (adaptado de Freitas, 2012).	73
Figura 4.4	- Aspeto final do modelo em elementos finitos.	74
Figura 4.5	- Fluxograma do procedimento de modelação em elementos finitos para aplicação no software ANSYS (Freitas, 2012).	77
Figura 4.6	- Procedimento de simulação para cada situação em estudo.	78
Figura 4.7	- Vida previsível obtida pelas expressões da Shell e Minhoto (2005) para a situação "a" sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ .	82
Figura 4.8	- Vida previsível obtida pelas expressões da Shell e Minhoto (2005) para a situação "a" sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ .	82
Figura 4.9	- Vida previsível obtida pelas expressões da Shell e Minhoto (2005) para a situação "a" sobre pavimento fendilhado com 7,5cm de espessura.	84
Figura 4.10	- Vida previsível obtida pelas expressões da Shell e Minhoto (2005) para a situação "a" sobre pavimento fendilhado com 15cm de espessura.	84
Figura 4.11	- Vida previsível obtida pela expressão de Minhoto (2005) aplicada à solução de reabilitação "a".	85
Figura 4.12	- Vida previsível obtida pela expressão da Shell aplicada à solução de reabilitação "a".	86
Figura 4.13	- Representação gráfica das extensões equivalentes registadas nas propostas de reabilitação sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ e espessura de 15cm.	91
Figura 4.14	- Representação gráfica da vida previsível das propostas de reabilitação sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ e espessura de 15cm, na utilização de MC.	96
Figura 4.15	- Representação gráfica da vida previsível das propostas de reabilitação sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ e espessura de 15cm, na utilização de BMB.	96

---

---

## Índice de Tabelas

Tabela 2.1	- Famílias e tipos de patologias (adaptado de Pereira & Miranda, 1999).	9
Tabela 2.2	- Classificação da relação "causa-efeito" das degradações e os seus fatores de degradação (adaptado de Pereira & Miranda, 1999).	11
Tabela 3.1	- Propriedades mecânicas de duas misturas SAMI (Shatnawi et al. 2011).	47
Tabela 3.2	- Propriedades mecânicas de um geotêxtil impregnado com betume (Correia, 2010).	47
Tabela 3.3	- Módulo de deformabilidade de armaduras e grelhas.	50
Tabela 4.1	- Propriedades das camadas constituintes dos pavimentos com utilização de técnicas retardadoras da propagação de fendas.	68
Tabela 4.2	- Propriedades das técnicas retardadoras da propagação de fendas.	69
Tabela 4.3	- Propriedades das camadas constituintes dos pavimentos com utilização de técnicas eliminadoras de fendas.	70
Tabela 4.4	- Volume de betume e coeficientes da lei da Shell adotados para a mistura betuminosa estudada (Minhoto, 2005).	81
Tabela 4.5	- Extensões equivalentes registadas nas técnicas do tipo SAMI aplicadas sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ .	88
Tabela 4.6	- Extensões equivalentes registadas nas técnicas do tipo grelhas ou armaduras aplicadas sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ .	89
Tabela 4.7	- Vida previsível do reforço em MC com aplicação das técnicas do SAMI aplicadas sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ .	92
Tabela 4.8	- Vida previsível do reforço em MC com aplicação das técnicas do tipo grelhas/armaduras aplicadas sobre pavimento fendilhado com $E=2000\text{MPa}$ .	94
Tabela 4.9	- Vida previsível das situações de reciclagem.	95



---

## Lista de Abreviações

AGEC	Agregado de Granulometria Extensa Estabilizado com Cimento
ARAMI	Asphalt Rubber Aggregate Membrane Interlayers
BMB	Betume Modificado com Borracha
CBR	California Bearing Ratio
cm	Centímetro
E	Módulo de Deformabilidade
EAPA	European Asphalt Pavement Association
G	Módulo de Distorção
g	Gramma
h	Altura/espessura da camada
IP	Índice de Plasticidade
JAЕ	Junta Autónoma de Estradas
kg	Quilograma
kN	Quilonewton
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
m	Metro
MC	Mistura Convencional
MDRPF	Manual de Dimensionamento do Reforço de Pavimentos Flexíveis
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
Nf	Resistência à fadiga (nº de passagens do eixo-padrão)
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
SAM	Stress Absorving Membrane
SAMI	Stress Absorving Membrane Interlayer
SAMI-R	Rubberized Stress Absorving Membrane Interlayer
Vb	Volume de betume da mistura betuminosa



# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento Temático

Atualmente, Portugal detém uma extensa e completa rede rodoviária, fundamentalmente constituída por pavimentos flexíveis, constatando-se que o volume previsível de construção de novas estradas tenda a ser residual em contraste com a crescente necessidade de reabilitação dos pavimentos atualmente existentes. Esta necessidade de reabilitação resulta do limitado período de vida em serviço destes, após o qual se espera que seja atingido um estado de degradação inaceitável para os níveis de qualidade que se desejam para a rede nacional.

Os pavimentos rodoviários flexíveis, novos e reabilitados, são projetados para manterem um determinado nível de serviço até se atingir um determinado número de passagens dum equivalente eixo-padrão. Esse número de passagens corresponde a um número de anos da vida útil do pavimento, normalmente dimensionado para uma vida útil de 20 anos, de acordo com as características do tráfego rodoviário considerado em projeto.

Após a construção, qualquer pavimento rodoviário fica imediatamente sujeito a ações que contribuem para a sua degradação, nomeadamente, ações resultantes do tráfego rodoviário e ações dos agentes climatéricos. A degradação traduz-se pela perda de qualidade do pavimento, em termos de condições de conforto, segurança e capacidade de carga.

Nas situações em que a vida útil do pavimento se vê comprometida e portanto antecipada, a estratégia economicamente mais vantajosa seria intervir no pavimento de modo a corrigir o erro entre a vida útil prevista em projeto e a degradação prematura, reduzindo com isso os custos de uma futura intervenção mais aprofundada (conservação preventiva).

Na maioria dos casos de reabilitação constata-se que a solução passa normalmente pela reabilitação estrutural, sendo que geralmente se recorre à realização de reforços de pavimento com grandes espessuras de mistura betuminosa sobre o pavimento existente, fendilhado.

Tendo em vista o regular acompanhamento do estado dos pavimentos rodoviários pode ser possível fazer intervenções apenas sobre a componente funcional dos pavimentos. Este tipo de intervenção apenas deve ser realizada quando o pavimento se encontra com boa capacidade estrutural e serve para o dotar de boas características de conforto e segurança. Em alguns casos as intervenções a nível funcional permitem conferir alguma melhoria a nível estrutural. As intervenções a nível funcional, por norma, têm o benefício de ter uma curta duração de

execução, serem mais económicas e ainda permitirem estender a vida útil do pavimento rodoviário.

Quando o avançado nível de degradação não permite efetuar apenas intervenções a nível funcional é necessário intervir a nível estrutural, através de uma das seguintes medidas: realização de reforços sobre o pavimento existente, fresagem do pavimento existente seguida da reconstrução das camadas fresadas e reciclagem do pavimento.

Na realização de reforços estruturais verificou-se a ocorrência da propagação das fendas presentes no pavimento existente para a nova camada betuminosa do reforço, resultando numa degradação prematura no reforço relativamente ao previsto. Chama-se a este mecanismo de degradação, “reflexão de fendas”. De modo a minimizar a ocorrência desta degradação, a quando da ação de reabilitação estrutural, é necessário adotar medidas preventivas que podem passar pela eliminação das camadas fendilhadas do pavimento existente ou pela adoção de soluções de interface entre as duas camadas, que permitam retardar a propagação das fendas até à superfície do reforço.

As diferentes medidas de reabilitação por reforço têm influência direta sobre o comportamento e vida útil dos reforços, pelo que a sua adoção deve ser devidamente ponderada em função das características do pavimento existente e os objetivos pretendidos com a intervenção.

A fresagem e reciclagem de camadas permitem obter pavimentos com um comportamento mecânico e vida útil semelhante aos pavimentos novos, uma vez que as fendas podem ser eliminadas e com isso não existe o risco destas se refletirem na superfície do pavimento intervencionado.

Tendo ainda em vista uma perspetiva de sustentabilidade ecológica das soluções de reabilitação é possível incorporar materiais reciclados nas intervenções de reabilitação, através da incorporação, por exemplo, de materiais reciclados com borracha de pneus usados no betume asfáltico (BMB) e com a incorporação de materiais provenientes da reutilização do próprio pavimento (reciclagem), ou de outros pavimentos, no fabrico das novas misturas betuminosas a utilizar nos reforços ou na reconstrução dos pavimentos fresados, sendo apenas necessária a adição de “materiais corretores”.

## **1.2. Objetivos e Metodologias**

O trabalho apresentado no presente documento intitula-se por “Reabilitação de Pavimentos Rodoviários Flexíveis” e tem por objetivo avaliar o comportamento dum conjunto de técnicas de reabilitação estrutural, recorrendo à simulação numérica baseada no método dos elementos finitos, tendo por base o mecanismo de reflexão de fendas nas camadas de reforço de pavimentos rodoviários flexíveis e considerando como ação fundamental a do tráfego rodoviário.

Numa primeira parte do trabalho abordam-se as principais patologias passíveis de ocorrer em pavimentos rodoviários flexíveis, expressando-se a interligação entre as causas do seu surgimento, o respetivo efeito sobre a qualidade do pavimento e a relação entre as diferentes patologias. Neste contexto, aborda-se a importância dos sistemas de gestão da conservação dos pavimentos, referindo as mais usuais técnicas de reabilitação quer funcional quer estrutural.

De modo a compreender o comportamento das diferentes técnicas de reabilitação estrutural, foi realizado um estudo, baseado na modelação numérica usando o método dos elementos finitos, tendo em vista a simulação do comportamento das diferentes técnicas de reabilitação, quando solicitadas por um eixo-padrão de 80kN, sobre diferentes pavimentos fendilhados, ou tendo em vista a reciclagem dessas camadas fendilhadas. Com base nos resultados destas simulações, é avaliado o comportamento de cada técnica de reabilitação na perspetiva da influência das características do reforço e da camada fendilhada sobre o número de eixos-padrão admissíveis pelo reforço até à ruína.

Neste contexto pretende-se analisar e concluir sobre a diferença de comportamento das misturas convencionais e das misturas modificadas com borracha em termos de número de eixos-padrão admissíveis (vida útil) por cada solução.

## **1.3. Organização do Documento**

A realização do presente trabalho seguiu a programação definida pelo plano de trabalhos estabelecido previamente, resultando o presente relatório de Projeto, o qual se encontra estruturado em cinco capítulos. O presente capítulo inicial é dedicado ao enquadramento do tema desenvolvido, justificando-se a necessidade de o abordar e estudar, seguido duma apresentação dos objetivos a atingir e duma breve descrição da estruturação e dos conteúdos de cada um dos capítulos que integram este relatório de Projeto.

No Capítulo 2 é apresentada uma descrição do comportamento estrutural dos pavimentos flexíveis, apresentando os fatores que condicionam esse comportamento e que contribuem para a sua degradação. São ainda descritas as patologias, respectivos fatores de causa e possíveis efeitos e agravantes sobre a degradação. É ainda feita uma pequena referência à importância dos sistemas de gestão de pavimentos rodoviários e à necessidade de determinar os parâmetros que caracterizam o comportamento mecânico do pavimento a intervir.

O Capítulo 3 faz a descrição das possíveis estratégias de conservação e reabilitação dos pavimentos rodoviários, apresentando as diversas possibilidades de intervenção a nível funcional e estrutural. São apresentadas de forma sucinta as mais correntes técnicas de reabilitação funcional e estrutural, fazendo referência ao seu campo de aplicação, cuidados a ter na execução e descrição dos benefícios por elas conferidos ao pavimento. Neste capítulo enquadram-se as soluções estudadas no presente trabalho.

A avaliação comportamental das diferentes técnicas de reabilitação estrutural, objeto do presente estudo, é realizada no Capítulo 4, onde se descrevem as principais condicionantes impostas à modelação pela existência de fendilhamento no pavimento a considerar. Neste capítulo são também apresentados o conjunto de situações a simular e o modelo numérico utilizado. Apresentam-se as expressões que permitem determinar a vida útil previsível do pavimento intervencionado, sob a forma do número de passagens do eixo-padrão, utilizando os valores das extensões obtidas nas “simulações” efetuadas, recorrendo ao software ANSYS®. De seguida é feita uma avaliação entre os resultados obtidos e é feita a análise dos resultados.

No Capítulo 5 apresentam-se as principais conclusões obtidas com a realização deste trabalho e faz-se referência às questões consideradas pertinentes para o desenvolvimento de trabalhos futuros no âmbito deste tema.

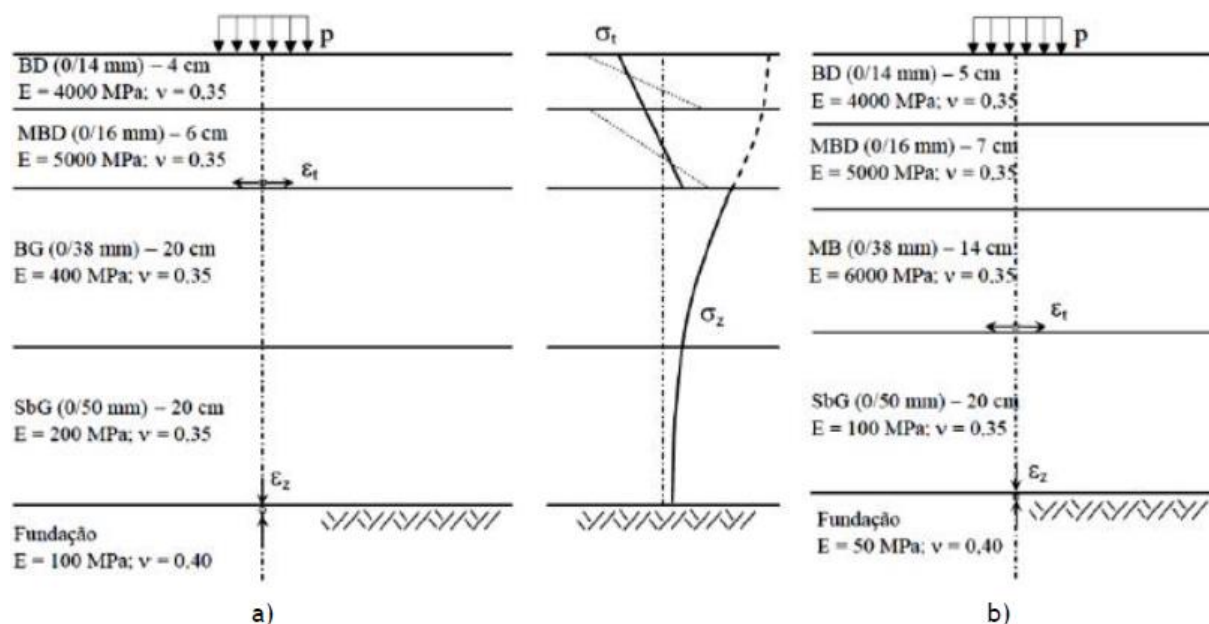
## 2. Pavimentos Rodoviários Flexíveis

### 2.1. Comportamento dos Pavimentos

Um pavimento rodoviário flexível pode ter uma constituição muito variada, adotando-se diferentes estruturas em função da intensidade do tráfego, da capacidade de suporte do solo de fundação, das características dos materiais e outras condicionantes impostas por aspetos de utilidade ou de traçado.

Na figura 2.1 apresentam-se duas, de entre as muitas, estruturas de pavimento rodoviário flexível propostas pelo Manual de Conceção de Pavimentos par a Rede Rodoviária Nacional, da Junta Autónoma de Estradas (JAE, 1995):

- Destinada a um tráfego reduzido, considerando uma fundação de elevada capacidade de suporte;
- Destinada a um tráfego intenso, considerando uma fundação de reduzida capacidade de suporte.



#### Legenda:

BD: Betão betuminosa em camada de desgaste;

MBD: Mistura betuminosa densa em camada de regularização;

MB: Macadame betuminoso em camada de base

BG: Base granular;

SbG: Sub-base granular em material britado sem recomposição (“tout-venant”) ou com recomposição em central

Figura 2.1 - Constituição e comportamento do pavimento flexível (Branco et al., 2008).

Os pavimentos rodoviários flexíveis apresentam na sua constituição camadas de materiais granulares e betuminosas, assentes sobre um solo de fundação natural ou de qualidade controlada (aterros e solos tratados). As camadas superiores são constituídas por misturas betuminosas, compostas por agregados de granulometria variada e estabilizados por ligantes hidrocarbonados, sendo geralmente utilizado o betume asfáltico

As camadas betuminosas são camadas constituídas por materiais ligados, dotadas de coesão, e que proporcionam a capacidade de suportar todos os tipos de esforços (compressão, tração e corte), são por esse motivo utilizadas nas camadas superiores onde ficam sujeitas à flexão.

As camadas granulares, cuja resistência depende apenas do atrito interno entre partículas, são concebidas para suportar os esforços de compressão, que são máximos à superfície e reduzem com a profundidade, em função das características resistentes das camadas do pavimento, incluindo camadas betuminosas, granulares e solo de fundação.

Na figura 2.1 representa-se as tensões instaladas em todo o pavimento tendo em consideração as camadas betuminosas “coladas” (traço contínuo) ou “descoladas” (traço descontínuo).

Pode verificar-se que quando as camadas betuminosas se encontram “descoladas” entre si, ocorrem tensões máximas de compressão na face superior e tensões de tração máximas na face inferior das duas camadas betuminosas. Desta forma, quando as camadas betuminosas se encontram “descoladas” são sujeitas a um estado de tensão muito mais severo e degradante.

Nos casos em que as camadas betuminosas são “coladas”, estas atuam em conjunto como se fossem uma só camada e as tensões evoluem de uma tensão de compressão na face superior do pavimento até uma tensão de tração na face inferior da camada em contacto com a base, com valores de tensão inferiores aos verificados na situação de camadas betuminosas “descoladas”.

Desta forma, torna-se preferencial que as camadas betuminosas sejam “coladas” entre si, sendo para isso, aplicada uma rega de colagem com ligantes betuminosos entre as camadas. No entanto, pode surgir um grave problema quando as camadas, inicialmente projetadas como “coladas”, descolam. Provocando um excesso de tensões de tração na face inferior da última camada betuminosa, superiores à tensão de tração admissível projetada, e a camada de desgaste fica sujeita a esforços de tração, para os quais nem foi concebida.

Os pavimentos flexíveis, como o próprio nome indica, apresentam um comportamento flexível, deformável. Esse comportamento é determinado pelo número e espessura das camadas, pelas características dos materiais e da fundação, sendo afetado pelo estado de conservação e pelas ações atuantes.

As ações atuantes no pavimento podem ser divididas em dois grupos: as resultantes do tráfego rodoviário e as geradas pelos agentes climáticos, tal como representado na figura 2.2.

Do tráfego rodoviário resultam solicitações sob a forma de pressões verticais e de forças tangenciais consequentes do contacto entre os pneus e o pavimento.

Dos agentes climáticos, nomeadamente, a pluviosidade que provoca a infiltração de água na fundação e/ou nas camadas do pavimento, variações temperatura e a conjugação destes dois últimos, resultam alterações das características comportamentais dos materiais, esforços de tração e de compressão.

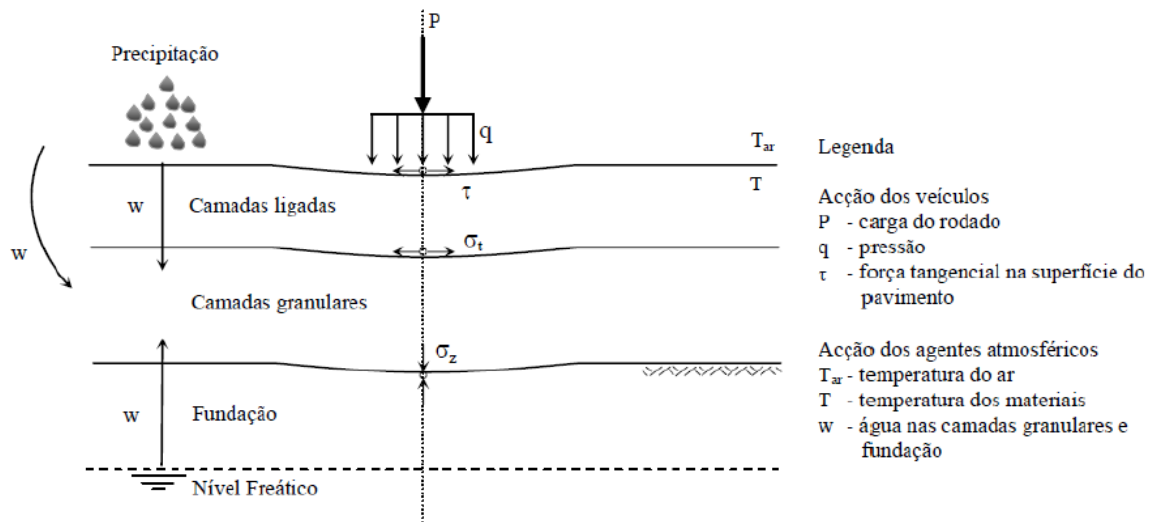


Figura 2.2 - Ações e solicitações sob um pavimento rodoviário flexível (Branco et al., 2008).

A degradação das camadas betuminosas é afetada pelas variações de temperatura e pela exposição à luz solar, que provocam o envelhecimento do betume. A rigidez da mistura betuminosa varia inversamente à temperatura da mesma, ou seja, aumentando a temperatura reduz a rigidez e diminuindo a temperatura aumenta a rigidez. Menor rigidez traduz-se em maior deformabilidade, noutro extremo, muita rigidez traduz-se num comportamento frágil da mistura.

Nas camadas betuminosas há ainda que considerar os efeitos do derrame de químicos sobre elas, nomeadamente os combustíveis, que têm a propriedade de fluidificar o betume, ou seja, diminuir a sua viscosidade.

As camadas granulares e o solo de fundação são afetadas pelo teor de água, diminuindo a sua resistência com o aumento do teor de água.

## 2.2. Degradação dos Pavimentos

Imediatamente após a construção dos pavimentos rodoviários, estes são submetidos à contínua e repetida exposição a ações que conduzem à progressiva perda da qualidade inicial do pavimento, ou seja, degradação.

A progressiva degradação torna-se visível com o aparecimento de patologias que conduzem a uma diminuição das características estruturais e funcionais dos pavimentos rodoviário.

As alterações nas características estruturais conduzem a deficiências no comportamento estrutural que resultam no avanço da degradação do pavimento, no surgimento de novas patologias e por fim na rotura do pavimento rodoviário.

A nível funcional é afetada a aderência entre pneus-pavimento, revelam-se más condições acústicas e desconforto, sendo sobretudo posta em causa a segurança dos utilizadores.

A progressiva evolução da degradação dos pavimentos flexíveis é influenciada por um conjunto de fatores, possíveis de agrupar em fatores passivos e fatores ativos (Pereira & Miranda, 1999):

- *Fatores passivos*, traduzem as características do pavimento construído, como, espessura das camadas, materiais utilizados e qualidade da construção;
- *Fatores ativos*, traduzem as ações do tráfego rodoviário e dos agentes climatéricos.

O surgimento de patologias pode ser um sinal natural da aproximação do fim da vida útil de um pavimento, no entanto quando surgem precocemente significa que algo anormal ocorreu, podendo antecipar o fim da vida útil esperado.

Não obstante dos fatores passivos e ativos, a degradação antecipada pode ser o resultado da fiabilidade do método de dimensionamento, alterações no tráfego rodoviário esperado, intempéries ou má qualidade de construção.

É necessário ter em consideração que os métodos de dimensionamento têm uma elevada componente empírica e ainda que os pavimentos rodoviários têm uma vasta extensão, sendo construídos sobre obras de arte, aterros, escavações e diversos tipos de solos, com diversas características distintas.

Frequentemente, alterações no tráfego rodoviário esperado para a vida útil do pavimento, conduzem à conseqüente alteração da vida útil. Essas alterações no tráfego podem estar relacionadas com a economia da região que a estrada serve, com a economia do próprio país, com a construção de edifícios, construção de outras estradas, etc.

As primeiras patologias visivelmente detetáveis nos pavimentos rodoviários, são as deformações e o fendilhamento das camadas betuminosas, no entanto, existe uma grande variedade de patologias passíveis de ocorrer nos pavimentos flexíveis e que resultam da evolução ou da conjugação destas.

Na tabela 2.1 apresentam-se as diversas patologias possíveis de ocorrer em pavimentos rodoviários flexíveis e que irão ser descritas sucintamente neste capítulo. De acordo com a tabela 2.1, estas patologias podem ser agrupadas em quatro famílias de patologias com características semelhantes: deformações, fendilhamento, desagregação e movimento de matérias. Além das patologias agrupáveis, existem ainda: as reparações localizadas e as manchas de humidade.

*Tabela 2.1 - Famílias e tipos de patologias (adaptado de Pereira & Miranda, 1999).*

<b>Família de Patologias</b>	<b>Tipos de Patologias</b>
<b>Deformação</b>	Rodeiras { - pequeno raio - grande raio Abatimento { - longitudinal - transversal Deformações localizadas Ondulação
<b>Fendilhamento</b>	Fendas Isoladas { - longitudinais - transversais Fendas Múltiplas Pele de crocodilo { - malha fina - malha larga
<b>Desagregação</b>	Polimento Desagregação superficial Ninhos ou covas Pelada
<b>Movimento de Materiais</b>	Exsudação Subida de finos
<b>Outras</b>	Manchas de humidade Reparações Localizadas

As quatro famílias de patologias exibem uma evidente relação entre si, tal como é demonstrado na figura 2.3.

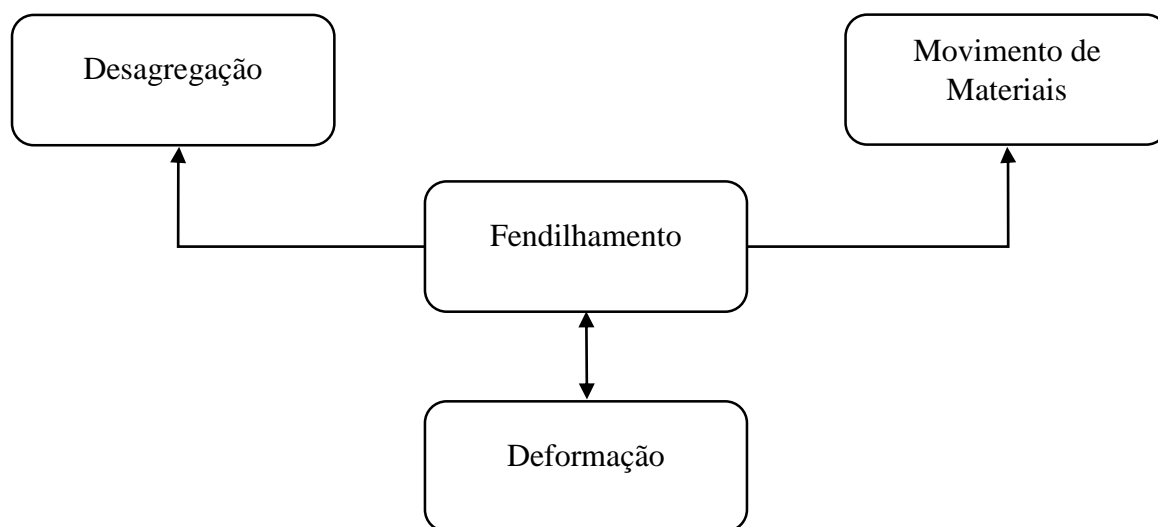


Figura 2.3 - Sequência e interação das patologias (Pereira & Miranda, 1999).

O fendilhamento e a deformação têm uma interação mútua, ou seja, o aparecimento do fendilhamento pode dar origem à deformação, assim como o aparecimento da deformação podem dar origem ao fendilhamento.

Já a desagregação e o movimento de materiais tem uma relação direta com o fendilhamento, pois estas são uma evolução ou consequência do próprio fendilhamento.

Na tabela 2.2 é estabelecida uma relação “causa-efeito” proposta por Pereira & Miranda (1999) e aqui adaptada às denominações adotadas no desenvolvimento deste trabalho. Na tabela é estabelecida a relação entre os fatores de degradação (causa) e os tipos de patologia (efeito), através do número de asteriscos (\*), sendo a relação de “causa-efeito” classificada como: forte (\*\*\*), média (\*\*) e fraca (\*).

Esta classificação de “causa-efeito” tem como por objetivo elucidar sobre os principais fatores de degradação, sendo estes abordados de forma mais aprofundada nos subcapítulos seguintes.

Deve ser tido em consideração que no diagnóstico de casos reais, não se dispensa a observação “in situ” e estudo da patologia de forma a determinar a(s) causa(s) correta(s) da degradação.

Tabela 2.2 - Classificação da relação "causa-efeito" das degradações e os seus fatores de degradação (adaptado de Pereira &amp; Miranda, 1999).

Patologia	Fatores de Degradação									
	Condições de drenagem	Subdimensionamento da camada de	Subdimensionamento das camadas	Capacidade de suporte da fundação	Camadas estruturais de reduzida	Deficiências de fabrico e execução	Qualidade dos materiais	Deficiente ligação entre camadas	Agressividade do tráfego rodoviário	Ações climáticas
Rodeiras de pequeno raio		***			***	**	**		***	***
Rodeiras de grande raio	***	*	**	***	***	*	**		**	**
Abatimento	***		**	***	***	**	*		*	*
Deformação localizada	***		**	***	**	**	*		**	*
Ondulação		**	**	***	**	***	*		**	*
Fendas isoladas	**	**	**	**	***	**	***	**	***	***
Fendas múltiplas	*	**			**	**	**	***	***	***
Pele de crocodilo	**	**	**	**	***	**	***	***	***	***
Polimento		*				**	**		***	*
Desagregação superficial					**	***	***		**	***
Ninhos		**	*		***	***	***	**	**	**
Pelada		***	*		**	**	**	***	***	**
Exsudação						**	***		***	***
Subida de finos	***				*	*	**		**	**
Manchas de humidade	***				**	**	*		**	**

### 2.2.1. Deformação

A deformação caracteriza-se por uma elevação ou depressão do pavimento relativamente ao seu nível original. Dentro da família das deformações existem quatro tipos de patologias: rodeiras, abatimento, deformações localizadas e ondulação.

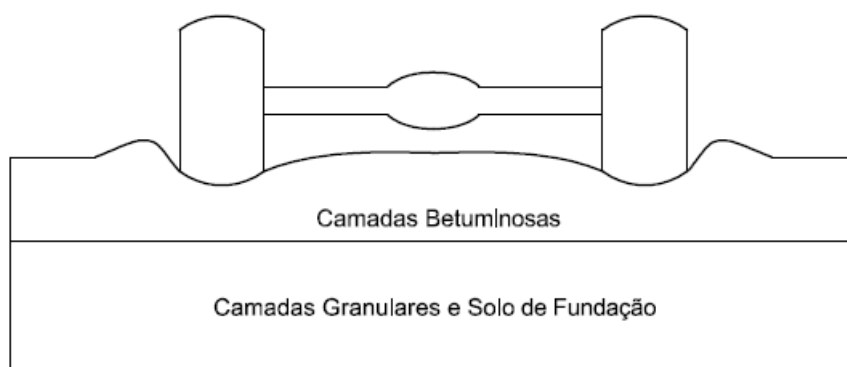
Estas patologias devem-se, essencialmente, à falta de capacidade de carga do solo de fundação, baixa compacidade das camadas constituintes do pavimento e deficientes condições de drenagem.

#### *Rodeiras*

As rodeiras são deformações longitudinais que se formam na zona de passagem dos rodados dos veículos e podem ser classificadas como rodeiras de pequeno ou grande raio.

As rodeiras de pequeno raio resultam principalmente de fatores que atuam sobre as camadas betuminosas do pavimento rodoviário, tais como, a má qualidade dos agregados, inadequada composição da mistura betuminosa e do ligante, deficiente compactação da mistura, temperaturas elevadas e tráfego pesado e lento, ver figura 2.4.

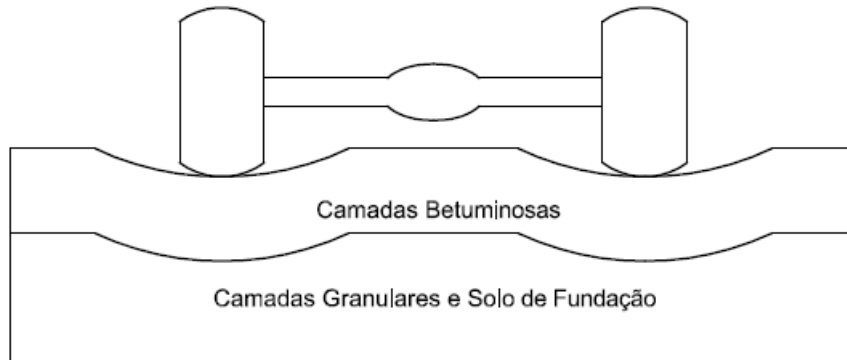
A conjugação de temperaturas elevadas e tráfego pesado e lento, a aturem sobre num pavimento rodoviário flexível com limitada resistência a deformações permanentes, resultam na deformação das camadas betuminosas, com particular incidência sobre a camada de desgaste.



*Figura 2.4 - Rodeiras de pequeno raio.*

As rodeiras de grande raio são o resultado de fatores atuantes sobre as camadas granulares e solo de fundação, como, a presença de água no solo de fundação e/ou camadas granulares, deficiente compactação das camadas granulares e baixa capacidade de suporte do solo de fundação, ver figura 2.5.

Nas camadas granulares e no solo de fundação, a presença de água pode alterar o equilíbrio das partículas, fazendo com que se perca capacidade de suporte, ou mesmo permitir que partículas mais pequenas sejam arrastadas e que conseqüentemente se criem vazios nas camadas granulares, tendo como resultado a cedência do pavimento sob a passagem do tráfego rodoviário.



*Figura 2.5 - Rodeiras de grande raio.*

A formação das rodeiras provoca um acréscimo de esforços de tração que por sua vez podem originar o aparecimento do fendilhamento. Desta feita, o aparecimento do fendilhamento vai permitir a entrada de água pelas camadas betuminosas até às camadas granulares e fundação, e assim, contribuir para o aumento da profundidade e extensão das rodeiras.

### ***Abatimento***

O abatimento é uma deformação com extensão significativa, que se pode manifestar longitudinalmente ou transversalmente nos pavimentos rodoviários flexíveis e tem origem nas camadas granulares ou no solo de fundação.

O abatimento transversal pode dever-se à deficiente compactação das camadas granulares, subdimensionamento das camadas inferiores, falta de capacidade de suporte do solo de fundação, à infiltração de água por fendas transversais e colapso de cavidades subterrâneas.

É frequente ocorrerem situações de abatimento transversal em zonas de encontro entre pontes, viadutos, sistemas de drenagem transversal e em zonas de alternância entre trechos em aterro e trechos em escavação, após a entrada em serviço dos pavimentos rodoviários flexíveis.

O abatimento longitudinal quando localizado junto à berma pode resultar da deficiente compactação de taludes de aterro, da infiltração de água pela berma ou pela interface berma-pavimento, que provocam uma perda de capacidade de suporte das camadas granulares e/ou do solo de fundação.

Quando o abatimento longitudinal se localiza ao longo do eixo, pode ser o resultado da infiltração de água por fendas longitudinais nas juntas de trabalho ao longo do eixo, resultando na perda de capacidade de suporte das camadas granulares e/ou do solo de fundação.

### ***Deformações Localizadas***

Deformações localizadas são depressões resultantes da rotura numa pequena área do pavimento, tendo como possíveis origens, a falta de capacidade de suporte do solo de fundação, infiltração de água e sujeição a cargas elevadas por longos períodos de tempo.

Este tipo de patologias está muito presente em zonas urbanas e tem uma grande tendência a aparecer após repavimentações que não tiver em consideração a correção de patologias previamente existentes.

Um outro tipo de deformação localizada, normalmente presente em vias secundárias sem distância mínima relativamente à arborização, é a elevação do pavimento provocada pelas raízes das árvores. Podendo apresentar uma grande elevação com pequeno raio, constituindo um grande risco para a segurança rodoviária.

### ***Ondulação***

A ondulação são deformações transversais que se repetem com uma determinada frequência ao longo do pavimento.

A sua origem pode estar nas misturas betuminosas, como resultado de uma má distribuição do ligante da camada de desgaste ou do arrastamento da mistura betuminosa devido à excessiva deformação plástica sob a ação do tráfego.

Podendo também resultar do assentamento por consolidação diferencial do solo de fundação e da deficiente compactação de aterros, tendo assim origem na fundação e nas camadas granulares, respetivamente.

## **2.2.2. Fendilhamento**

O fendilhamento ou fendilhação é uma família de patologias muito presentes nos pavimentos rodoviários, sendo frequentemente o primeiro sinal de perda de qualidade dos mesmos.

A sua manifestação apresenta-se através de fendas isoladas longitudinais ou transversais.

Com a progressiva degradação, as fendas isoladas, tendem a adquirir ramificação que pode chegar a interligar fendas longitudinais e transversais, dando origem à fendilhação múltipla, que por sua vez, num estado muito avançado da degradação, origina a “pele de crocodilo”, tal como se representa na figura 2.6.

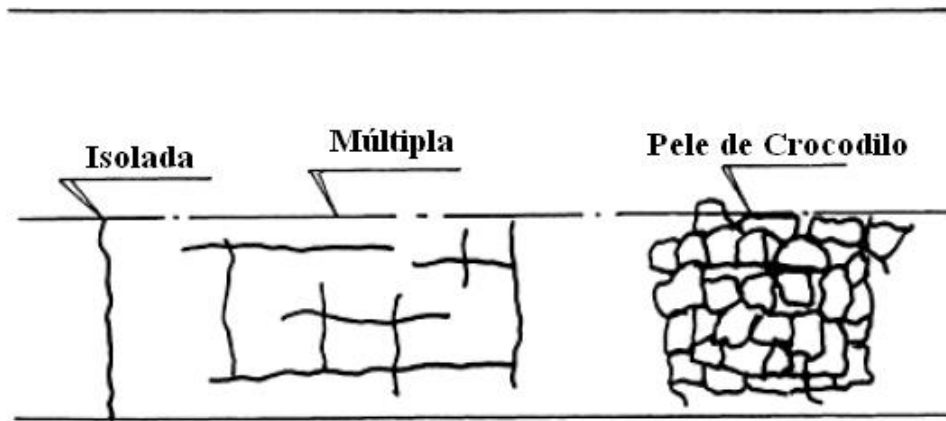


Figura 2.6 - Diferentes tipos de fendilhação (traduzido de Colombier, 1997).

Existe um vasto número de fatores que podem levar ao surgimento do fendilhamento, no geral associados: à fadiga das misturas betuminosas, às variações térmicas, a deformações e à reflexão de fendas em repavimentações sobre pavimentos fendilhados.

O ponto de abertura da fenda tem uma relação direta com o fator que a originou e pode influenciar o avanço da degradação do pavimento rodoviário flexível, esta pode iniciar-se na superfície do pavimento rodoviário flexível ou na base das camadas betuminosas, podendo não ser necessariamente a camada betuminosa que contacta com as camadas granulares.

As fendas com origem na base da camada betuminosa são o resultado da fadiga da camada betuminosa, da reflexão de fendas ou da aplicação de um elevado esforço de tração para o qual o pavimento não estava projetado, tal como, a existência de uma deformação do pavimento (referido no subcapítulo anterior) ou a passagem de um rodado com peso anormalmente grande. Estas fendas progridem desde a base da camada betuminosa, em que se inicia, até ao topo do pavimento, tornando-se visível apenas nesse ponto.

Até as fendas atingirem a superfície do pavimento rodoviário, este tem maior resistência à infiltração de água, o que protege as camadas granulares e a fundação de se degradarem.

Já as fendas que têm início na superfície do pavimento rodoviário, com origem associada às variações térmicas, deformações e tensões tangenciais, são um ponto de entrada imediato da água nas camadas betuminosas. Não obstante da progressão natural da fenda até à base das camadas betuminosas, dando acesso direto para que a água chegue às camadas granulares e

fundação, uma das principais desvantagens para o agravamento da degradação, do pavimento nessas circunstâncias, é a possibilidade da água infiltrada nas camadas betuminosas congelar e com isso aumentar a largura e profundidade da fenda ou até o surgimento de novas fendas.

O fendilhamento provocado por variações com grande amplitude térmica pode ocorrer através de um único ciclo de diminuição brusca de temperatura ou pelo acumular de vários ciclos, designado por fadiga térmica.

Em climas muito frios pode ocorrer o fendilhamento com início na superfície da camada de desgaste, devido à retração térmica exceder as tensões de tração máximas admitidas pelo material, resultando em função da temperatura e das características de retração térmica do material, fendas ou pequenas fendas (micro-fendas) com orientação irregular. As micro-fendas durante os meses de verão podem não ser detetáveis devido ao aquecimento e dilatação da mistura.

Tal como já foi referido anteriormente, importa salientar que assim como as deformações podem levar ao aparecimento do fendilhamento, também o fendilhamento pode levar ao aparecimento de deformações, quer devido a possibilitar a passagem de água para as camadas inferiores ou devido às alterações no comportamento mecânico impostas pela fenda na zona que a circunda.

As alterações no comportamento mecânico induzidas pela existência de uma fenda passam por, sob a ação do tráfego rodoviário, aumentar a deformação das camadas do pavimento, aumentando assim as tensões quer nas camadas granulares quer nas próprias camadas betuminosas fendilhadas, levando ao aparecimento de mais fendas e/ou deformações.

### ***Fendilhamento Isolado e Múltiplo***

O fendilhamento isolado tem por norma uma orientação longitudinal ou transversal ao pavimento. Podendo sob a influência das alterações no comportamento mecânico induzidas pelo aparecimento da primeira fenda, progredir para diferentes direções, incluindo orientações diagonais e parabólicas, sendo raro o surgimento imediato com essas orientações.

As fendas podem ser avaliadas em três níveis de severidade de acordo com o seu aspeto e abertura da fenda, essa classificação é um instrumento de avaliação da qualidade do pavimento que pode ser incorporada em sistemas de gestão da conservação de pavimentos rodoviários flexíveis e varia em função dos parâmetros estabelecidos pelo organismo gestor.

As fendas apresentam diferente aspecto de acordo com o seu grau de severidade, estas podem ser lineares, ramificadas ou entrelaçadas, ver figura 2.7. As fendas com aspecto entrelaçado são um estado último da fenda que dá origem à desagregação.

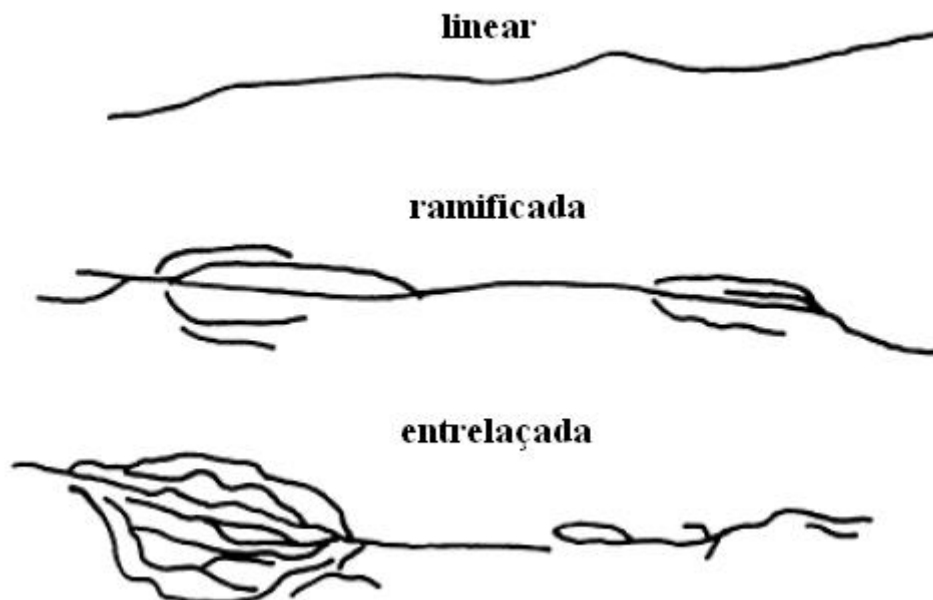


Figura 2.7 - Diferente aspecto das fendas (traduzido de Colombier, 1997).

As fendas transversais podem abranger parte ou a totalidade da faixa de rodagem e devem-se à retração térmica, da capacidade de suporte diferencial do solo de fundação e da má execução de juntas transversais de construção.

As fendas longitudinais podem formar-se na zona de passagem dos rodados, junto ao eixo da via, junto ao eixo da estrada e junto à berma.

Quando estas se formam na zona de passagem dos rodados, geralmente, associam-se à fadiga do pavimento, podendo ter como causas a deficiente ligação entre a camada de desgaste e a camada betuminosa precedente, solitação tangencial intensa, ações climáticas desfavoráveis, reduzida espessura da camada de desgaste e envelhecimento do betume. Nesta situação o fendilhamento tende a progredir com ramificação em forma parabólica orientada no sentido do tráfego rodoviário, tem início na base das camadas betuminosas ou na base da camada superficial de desgaste, progredindo até à superfície do pavimento sob a repetida solitação do tráfego.

Relativamente ao fendilhamento longitudinal junto ao eixo, tem como causas a retração térmica, a má execução da junta longitudinal, fadiga devido à solitação excessiva da camada de base e subdimensionamento das camadas.

Junto à berma, a ocorrência do fendilhamento pode ser causada por retração térmica, assentamentos diferenciais e drenagem deficiente que condiciona as condições de suporte das camadas granulares e solo de fundação.

O fendilhamento múltiplo resulta do agravamento do fendilhamento isolado, constituindo uma fase de transição entre as fendas isoladas e a “pele de crocodilo”. É originada pela progressão e interligação das fendas isoladas longitudinais e transversais ou pela ramificação de cada uma destas.

O fendilhamento múltiplo constitui uma malha de fendas bastante espaçada aberta ou fechada, ou seja, pode formar ou não quadriláteros, ver figura 2.7.

### ***Pele de Crocodilo***

A pele de crocodilo corresponde ao último e mais severo estado de evolução do fendilhamento, é o resultado da evolução do fendilhamento múltiplo e caracteriza-se por formar uma malha ou grelha de fendas mais ou menos apertada e de fenda mais ou menos aberta, podendo ser classificada quanto à sua severidade de acordo com essas características em função dos parâmetros definidos pelo sistema de gestão da conservação.

Geralmente é considerada “pele de crocodilo” de malha fina quando o espaçamento da malha é inferior a 40cm e de malha larga quando o espaçamento entre malha é igual ou superior a 40cm, no entanto algumas entidades gestoras optam por reduzir este espaçamento da malha até aos 20cm.

Quando maior for o grau de severidade do fendilhamento das camadas betuminosas mais agressiva será a solicitação do tráfego rodoviário, devido à concentração de tensões nos bordos das fendas e à infiltração de água no pavimento. A presença de água afeta a capacidade de suporte das camadas granulares e da fundação que por sua vez permitirão a indução de maiores esforços de tração por flexão das camadas betuminosas e a aceleração da degradação da mesma.

A malha de fendilhamento do tipo “pele de crocodilo” evolui de larga para fina e as suas fendas de fechadas para abertas, culminando na desagregação das camadas betuminosas. A “pele de crocodilo” tem tendência a formar-se na zona de passagem dos rodados, podendo chegar a abranger toda a faixa de rodagem com menor severidade que a verificada na primeira.

As causas deste tipo de fendilhamento estão relacionados com as fendas ramificadas parabólicas, tendo como possíveis causas a rotura por fadiga da camada de desgaste ou restantes

camadas betuminosas, subdimensionamento das camadas, envelhecimento do material, deficiente compactação da mistura e perda de capacidade de suporte das camadas inferiores.

O último grau de severidade da “pele de crocodilo” abrangendo toda a faixa de rodagem é representativo de um pavimento rodoviário flexível em rotura estrutural total, a sua reabilitação deixa de ser viável através do reforço e deve ser considerada a remoção das camadas e reconstrução do pavimento com inclusão das camadas granulares ou, em alternativa, a reciclagem de todas as camadas do pavimento.

### 2.2.3. Desagregação

A desagregação é uma família de patologias incidente na camada betuminosa de desgaste, que consiste no descolamento e destacamento de partes ou totalidade do material constituinte da camada de desgaste, ver figura 2.8.

Trata-se do último e mais severo estado de degradação de um pavimento rodoviário flexível, demonstrativo da ruína da camada de desgaste na zona afetada.

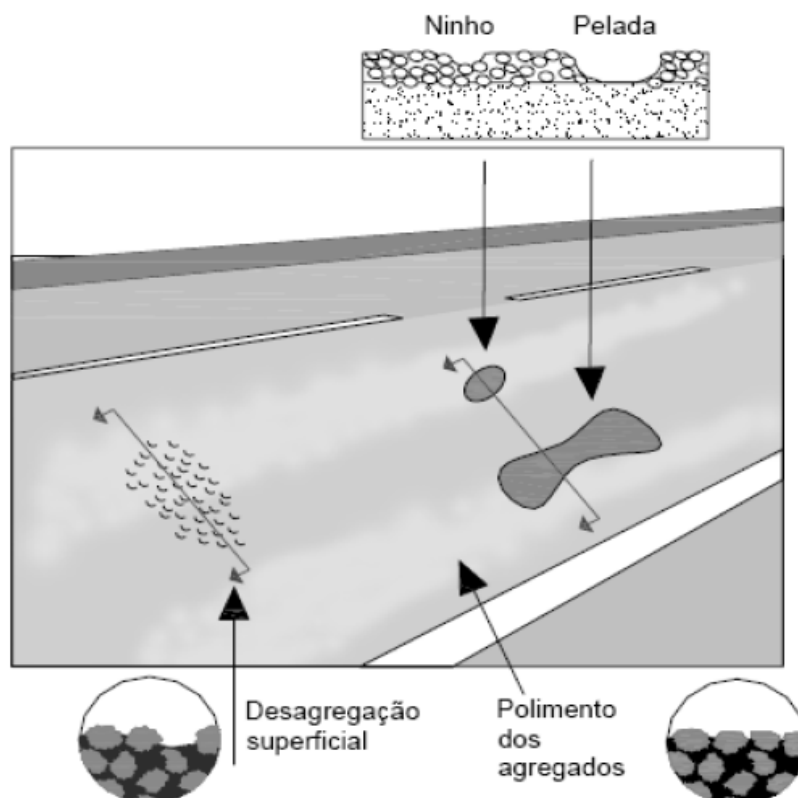


Figura 2.8 - Diferentes tipos de desagregação (Estradas de Portugal, 2008).

### ***Polimento***

O polimento é provocado pelo contacto pneus-pavimento, resultando no desgaste por abrasão, geralmente nos agregados mais grossos da superfície da mistura, conferindo-lhe um aspeto polido e brilhante.

Trata-se de um desgaste natural dos agregados que pode ser acelerado pela má qualidade dos materiais utilizados e pela intensidade de tráfego rodoviário. A utilização de betume em excesso, em fase de construção, também pode originar uma superfície demasiado lisa.

Esta patologia põe essencialmente em causa a segurança dos utilizadores da via ao reduzir o atrito no contacto pneus-pavimento e condicionar a aderência dos veículos ao pavimento, o que pode levar à ocorrência de despistes e choques entre veículos, fundamentalmente na presença de água.

### ***Desagregação Superficial***

A desagregação superficial dá-se em duas fases, uma primeira fase de desagregação do material de mistura fina e numa segunda fase de desagregação do agregado de granulometria mais grossa.

A primeira fase é vulgarmente designada por “cabeça de gato”, o que consiste no destacamento do material de granulometria fina, compostos pela mistura de finos, filler e ligante betuminoso, deixando exposto e saliente o agregado de granulometria mais grossa, dando origem a um pavimento com macrotextura elevada.

A segunda fase consiste no destacamento do agregado de granulometria mais grossa, que tinha ficado exposto pela formação das “cabeças de gato”.

Este tipo de patologia pode ter origem na agressividade do tráfego rodoviário, na má qualidade dos materiais e na má qualidade de execução. Nomeadamente, tendo origem na segregação dos inertes em central, no transporte ou na sua colocação, deficiente qualidade do betume, devido à presença de água por insuficiente secagem dos inertes e deficiente compactação do betume devido, ou não, à aplicação sob condições de temperatura muito reduzida.

A desagregação superficial tem particular incidência em locais de grande concentração de tensões tangenciais, como zonas de travagem e de curvas de reduzido raio, em que a superfície do pavimento é sujeita a elevadas ações de corte e esmagamento por parte dos pneus.

Resultando na formação das ditas “cabeças de gato” e culminando na desagregação superficial, que por sua vez pode evoluir para a formação de ninhos ou covas.

Estas patologias afetam a circulação automóvel devido à produção de ruído, maior desgaste dos pneus e perda de aderência sob a presença de agregado solto. No entanto traz benefícios relativamente à drenagem superficial do pavimento.

### ***Ninhos ou Covas***

Os ninhos ou covas são cavidades arredondadas formadas na camada de desgaste, são uma evolução do fendilhamento em geral ou da evolução da desagregação superficial.

São frequentemente associados à evolução das fendas entrelaçada e “pele de crocodilo”, onde nos pontos de cruzamento das fendas se inicia a desagregação da camada de desgaste, formando os ninhos.

Podem ainda resultar da localizada falta de capacidade de suporte do pavimento, originada por consolidação ou deficientes condições de drenagem, ou de defeitos de construção, por má qualidade dos materiais, da execução ou da compactação da mistura.

A ação da passagem dos pneus sobre os ninhos ou covas acelera a sua evolução de degradação, levando à sua progressão em profundidade e extensão. Esta degradação é ainda agravada por ação da água.

À semelhança da desagregação superficial esta patologia afeta a circulação automóvel devido à produção de ruído, maior desgaste dos pneus e perda de aderência sob a presença de agregado solto.

### ***Pelada***

A pelada caracteriza-se pelo destacamento de pequenas placas da camada de desgaste, relativamente à camada inferior.

A formação da pelada está associada à agressividade do tráfego em pavimentos rodoviários flexíveis condicionados pelo subdimensionamento da camada de desgaste, deficiente ligação da camada de desgaste à camada betuminosa precedente e reduzida compacidade da camada.

A contínua ação dos pneus sob os limites da pelada provoca a sua progressão em extensão. Esta patologia é também propícia à acumulação de água que por sua vez permite o agravamento da patologia e da degradação das camadas inferiores.

A pelada apresenta um risco para a segurança dos utilizadores, dado que devido aos ressaltos, pode provocar danos nos veículos a nível de pneus e amortecedores, e em última instancia culminar em despiste.

#### **2.2.4. Movimento de Materiais**

O movimento de materiais trata-se de uma família de patologias, caracterizada pela movimentação, até à superfície do pavimento, de materiais constituintes das camadas betuminosas, granulares ou fundação.

##### ***Exsudação***

A exsudação consiste na subida do excesso de ligante da camada betuminosa de desgaste, até à superfície da mesma.

Pode ocorrer na zona de passagem dos rodados ou em zonas localizadas de maior concentração de ligante resultantes da má execução em fase de construção, nomeadamente nas juntas de trabalho longitudinais e transversais.

À exclusão da má execução, outras origens desta patologia são a deficiente composição da camada de desgaste, tendo como responsáveis alguma(s) das seguintes características: excesso de ligante, ligante de reduzida viscosidade e excesso de fração fina dos agregados.

A exsudação ocorre especialmente em condições de temperatura elevada e sob ações severas de tráfego rodoviário, sobretudo com tráfego pesado e lento. Nestas condições, a pressão exercida pelos rodados na camada de desgaste, resulta na compressão da camada e expulsão do ligante para a superfície livre. Sendo tanto mais grave, quanto menos viscoso for o ligante, tendo em consideração que a viscosidade decresce com o aumento da temperatura.

##### ***Subida de Finos***

Como o próprio nome indica, trata-se da subida, à superfície do pavimento, dos finos presentes nas camadas granulares ou na fundação.

A subida dá-se e manifesta-se em fendas já existentes que atravessam toda a espessura betuminosa do pavimento, uma vez que é através dessas fendas que os finos têm a oportunidade de emergir.

A subida de finos resulta da conjugação de um pavimento fendilhado com a presença de água. Água essa que pode ser resultante da ação climatérica e das condições de drenagem, devido a infiltrações pelas próprias fendas ou da acumulação a nível inferior e subida do nível freático.

Sob a ação da passagem dos rodados, a compressão exercida no pavimento provoca a expulsão da água presente no interior do pavimento ou do solo de fundação, para a superfície livre, transportando juntamente as partículas finas das camadas por ela atravessadas.

#### **2.2.5. Manchas de Humidade**

Trata-se de um patologia que se manifesta com o aparecimento de manchas húmidas na superfície do pavimento, podendo estar relacionadas com a presença de água no interior do pavimento ou com a falta de exposição solar em períodos de clima frio e húmido.

A presença de água no interior do pavimento pode advir da excessiva porosidade da mistura betuminosa, resultando de uma deficiente compactação em fase de construção e permitindo a infiltração e acumulação de água no seu interior, ou ainda da circulação de água nas camadas granulares ou solo de fundação devido à insuficiente capacidade dos elementos de drenagem, possibilitando que a água suba até à superfície do pavimento através do fendilhamento existente.

À partida este tipo de patologia pode parecer pouco prejudicial, no entanto a presença de manchas de humidade pode reduzir a aderência no contacto entre pneus-pavimento, sendo no entanto, particularmente prejudiciais quando conjugadas com temperaturas muito reduzidas, por serem locais propícios à formação de gelo.

#### **2.2.6. Reparações Localizadas**

As reparações localizadas, vulgarmente designadas por “remendos”, são reparações executadas em determinada zona do pavimento após este ter sofrido uma degradação prematura relativamente ao restante, o que indicia uma anomalia que se não for corretamente retificada pode voltar a manifestar-se.

Os “remendos” não são necessariamente considerados como patologia, isto porque quando são bem executados e a origem da patologia é corretamente tratada o remendo é uma resolução da patologia a que está associado.

O problema prende-se pela má execução, que pode advir da não resolução da causa da patologia, do deficiente tratamento e limpeza do local a reparar, da deficiente compactação e da incorreta utilização de matérias no remendo. Nestas circunstâncias a patologia pode reaparecer, o remendo pode fendilhar, deformar, descolar e desintegrar-se ou ainda apresentar uma elevação relativamente ao restante perfil do pavimento.

Geralmente são alvo de remendos as patologias prematuras sob a forma de abatimento, deformação localizada, covas e peladas.

### **2.3. Estado dos Pavimentos**

O permanente conhecimento, por parte da entidade gestora, sobre o estado de um determinado pavimento é fundamental para que seja mantida a qualidade do serviço prestado aos utilizadores. Permitindo que sejam estabelecidas as melhores estratégias de conservação, de forma a conjugar uma boa relação em termos económicos da intervenção e qualidade das características do pavimento após intervenção.

As inspeções visuais regulares são uma parte bastante importante de um sistema de gestão da conservação de pavimentos rodoviários, permitindo manter um acompanhamento contínuo do nível de degradação do pavimento e, caso se verifique necessário, intervir atempadamente sobre degradações pontuais, de forma a evitar o seu agravamento e progressão da degradação para outras partes do pavimento, sem que seja necessária uma intervenção mais dispendiosa.

De modo a uniformizar a avaliação efetuada por cada operador, estes devem ser providos de um catálogo de patologias que lhes permita fazer uma avaliação idêntica.

A inspeção visual pode ser efetuada percorrendo a estrada a pé ou num veículo a baixa velocidade, fazendo o registo da observação num documento em papel ou digital, devidamente destinado ao efeito. Atualmente é possível utilizar software informático que permitem efetuar o registo das observações integrando diretamente a sua localização no pavimento através de registo GPS.

Porém, a circulação a pé ou de veículos a baixa velocidade coloca alguns problemas de segurança quer para os operadores ou próprios utilizadores da estrada, estando estes sujeitos ao

risco de ocorrência de acidentes. Pelo que, atualmente se considera mais adequado recorrer a equipamentos que permitam a circulação a velocidades mais regulares (40 a 60 km/h), com capacidade de detecção automática de degradações e equipamento de fotografia ou vídeo em alta resolução.

A utilização dos equipamentos de vídeo permite que as imagens recolhidas sejam posteriormente analisadas em gabinete, podendo ser visualizadas diversas vezes sem necessidade de deslocação ao local. Sendo que, tal como a inspeção visual “in situ”, a análise e tratamento dos dados está muito dependente da sensibilidade do(s) operador(es), além de que a produtividade é bastante afetada pelo tempo despendido neste tipo de operações.

De modo a aumentar o rendimento tem-se vindo a investir no desenvolvimento de equipamentos que permitam a detecção automática das degradações, ao nível de fendilhamento, regularidade longitudinal, regularidade transversal e condições de atrito.

Um parâmetro essencialmente necessário antes da realização de qualquer intervenção sobre pavimentos que apresentem fendilhamento e/ou deformação, é a capacidade estrutural do pavimento. Isto porque, a presença destas patologias pode indiciar a redução da capacidade estrutural do pavimento, pela afetação do conjunto das camadas que o compõem ou de alguma camada em particular, incluindo a solo de fundação.

Geralmente as desagregações estão associadas a problemas na camada de desgaste, não tendo uma afetação considerável sobre a capacidade estrutural do pavimento, no entanto a sua presença prolongada pode conduzir a essa afetação, nomeadamente através da infiltração de água para as camadas inferiores.

A capacidade estrutural do pavimento permite determinar a vida residual do pavimento e serve de caracterização ao pavimento existente para o projeto de uma intervenção, podendo ser avaliada com recurso aos seguintes parâmetros:

- Módulos de deformabilidade e espessuras das camadas constituintes do pavimento;
- Deformação vertical (deflexão) após solicitação por uma carga, permitindo com isso avaliar a capacidade de carga do conjunto do pavimento.

A permanente contagem do número e tipo de veículos que utilizam a estrada é um parâmetro fundamental para qualquer sistema de gestão rodoviária. Além de ser um parâmetro essencial para o dimensionamento das características e tipo de intervenção a efetuar, tem também a finalidade de se poder observar qualquer alteração no tráfego de projeto previsto para o

---

pavimento existente e se necessário efetuar uma intervenção antecipada e de acordo com as alterações no tráfego verificadas, prevenindo assim uma degradação prematura.

### 3. Reabilitação de Pavimentos

A degradação dos pavimentos rodoviários tem interferência imediata na qualidade dos mesmos, podendo afetá-los a dois níveis:

- Estrutural, reduzindo a capacidade do pavimento suportar as cargas dos veículos sob determinadas condições climáticas;
- Funcional, redução da qualidade de circulação prestada aos utilizadores do pavimento.

Para que a qualidade inicial seja reposta ou melhorada é necessário efetuar operações ou de conservação ou de reabilitação. As operações de conservação têm por objetivo repor a qualidade inicial (funcional e/ou estrutural) de um pavimento rodoviário ao nível da segurança, conforto e redução dos custos de circulação. As operações de reabilitação visam melhorar as características do pavimento de modo a prepará-lo para um novo período de vida útil.

É possível efetuar dois tipos de intervenção: estrutural e funcional, sendo que ambas acabam por dotar o pavimento de novas características superficiais.

A situação mais corrente consiste na adoção de intervenções a nível estrutural, **reabilitação estrutural**, de modo a aumentar a capacidade resistente do pavimento e adaptá-lo a novas exigências de tráfego relativamente às consideradas no período de vida útil anterior. Este tipo de reabilitação, além de dotar o pavimento de novas características estruturais, permite ainda adquirir novas e melhoradas características funcionais, uma vez que a camada superficial é inevitavelmente renovada através da execução de novas camadas.

Outro tipo de intervenção pode ser apenas superficial, **reabilitação funcional**, com o intuito de melhorar as características da superfície do pavimento existente em termos de textura e regularidade. Este tipo de intervenção acaba por beneficiar também as características estruturais, melhorando o modo de atuação das cargas e impermeabilizando o pavimento, resultando num melhor comportamento das camadas e solo de fundação.

O intervalo de ocorrência das intervenções deve ser determinado por um Plano de Conservação, onde são descritas as estratégias de conservação a adotar para um determinado pavimento incluindo operações de **conservação periódica** e **conservação corrente**.

Na **conservação periódica** devem estar previstas estratégias de intervenção com uma determinada periodicidade, passando por estratégias de *conservação preventiva* ou realização de *reforços periódicos*.

A *conservação preventiva* implica a execução de camadas betuminosas de reduzida espessura, com o intuito de atenuar a evolução das degradações que ainda se encontram em fase inicial, de modo a manter a qualidade do pavimento ao longo do seu período de vida útil. Este tipo de intervenção pode passar pela realização de uma camada de desgaste de reduzida espessura que permita recuperar ou reabilitar as características de textura ou pela realização de uma camada mais espessa que permita recuperar a regularidade transversal e longitudinal (conservação ou reabilitação funcional), qualquer uma destas intervenções tem também a propriedade de impermeabilizar o pavimento, impedindo que as infiltrações de água ajudem à evolução da degradação.

A conservação preventiva tem por benefício os pequenos custos para a administração e utentes, dado que são intervenções de curta duração, interferindo menos com o tempo de percurso para os utentes durante a realização dos trabalhos. No entanto, não são aconselháveis para estradas com elevado tráfego, porque os reduzidos intervalos entre as intervenções traduz-se num custo de tempo acumulado para os utentes e afeta a satisfação dos utentes. Nestes casos, a alternativa passa pela realização dos *reforços periódicos*, que se prendem pela execução de camada betuminosas relativamente espessuras e programadas para serem efetuadas em intervalos regulares de tempo (5 em 5 anos ou 10 em 10 anos).

Os reforços periódicos constituem a estratégia mais usual em Portugal, sendo que em grande parte das vezes não são cumpridos os intervalos periódicos, quer por falta de financiamento ou por falta de planeamento preventivo (Plano de Conservação). Assim, estas intervenções são realizadas numa fase de avançada degradação do pavimento rodoviário em que a qualidade estrutural se encontra seriamente afetada (reduzida à “vida residual”).

A **conservação corrente** implica a realização de operações de manutenção e correção de pequenas situações, tal como:

- Manutenção das bermas, de forma a manter a regularidade e impermeabilidade;
- Manutenção dos sistemas de drenagem;
- Manutenção da sinalização (sinalização vertical e marcar rodoviárias);
- Selagem de fendas ou realização de camadas de impermeabilização;
- Reparação de covas e realização de saneamentos de zonas particulares do pavimento.

Quando não existe a adoção de um Plano de Conservação que vise a conservação preventiva, recorre-se à conservação corrente na sua forma “curativa” de patologias pontuais. Esta consiste em operações de reparação ou reconstrução do pavimento em zonas pontuais que apresentam

uma determina patologia prematura passível de ser individualmente reparadas ou tratadas, tais como: covas, peladas, deformações localizadas, abatimentos e fendas isoladas. Estas reparações devem ser realizadas com rigor e qualidade, de forma a corrigir a origem da patologia e a evitar o reaparecimento da patologia prematura (como já foi referido no subcapítulo 2.2.6 do presente documento).

### **3.1. Reabilitação Funcional**

As técnicas de reabilitação funcionais atuam ao nível das características superficiais do pavimento, de modo a devolver ou melhorar as características iniciais.

As intervenções efetuadas a este nível servem para reabilitar as características que confirmam maior segurança, conforto, impermeabilidade, escoamento das águas sobre o pavimento ou que reduzam o ruído de circulação.

A reabilitação funcional não deve ser aplicada sobre pavimentos que apresentem problemas estruturais, como deformações, sendo apenas indicada para a reabilitação de pavimentos levemente fendilhados ou com desagregação.

No geral, as técnicas utilizadas na reabilitação funcional passam pela aplicação de finas camadas betuminosas com características que permitam funcionar como camada de desgaste e resolver problemas especificamente superficiais.

Algumas das misturas betuminosas utilizadas na construção de pavimentos novos ou reabilitações estruturais (camadas de regularização e camadas de base) podem também ser aplicadas neste campo da reabilitação, fundamentalmente as técnicas utilizadas em situações de reperfilamento.

No seguimento deste tema serão analisadas diversas técnicas, de entre as quais:

- Revestimentos Betuminosos Superficiais;
- Microaglomerado Betuminoso a frio;
- Lama Asfáltica;
- Microbetão Betuminoso Rugoso;
- Argamassa Betuminosa;
- Betão Betuminoso;
- Reparções Localizadas.

Existem ainda duas técnicas do domínio da reciclagem, termorregeração e termorreperfilamento, que permitem recuperar ou melhorar as características superficiais do pavimento com pouca ou nenhuma necessidade de utilização de novos materiais.

A técnica de termorregeração é algo mais complexa e envolve o aquecimento do pavimento, seguida da sua escarificação, adição de uma pequena percentagem de mistura nova, junção das duas misturas com adição de ligante e/ou rejuvenescedor (mistura nova e mistura escarificada), seguida da sua reposição, nivelamento e compactação.

A técnica de termorreperfilamento consiste apenas no aquecimento da camada de desgaste, seguido da sua compactação, eliminando o fendilhamento existente e repondo a regularidade longitudinal e transversal do pavimento.

Estas técnicas têm um elevado custo económico e ambiental, além de que não são viáveis para a dimensão da rede de estradas portuguesa, de qualquer forma serão abordadas de forma mais detalhada no subcapítulo referente à reciclagem.

Uma técnica que não implica qualquer adição de camadas ou ligantes é a “*ranhuragem*”. Esta técnica consiste na abertura, por serragem, de sulcos no pavimento que permitem o aumento da drenabilidade do pavimento, ou seja, facilitam a velocidade de escoamento da água de precipitação de modo a evitar a sua acumulação sobre o pavimento, que pode originar aquaplanagem.

Trata-se de uma técnica de uso pontual que em diversas ocasiões é aplicada em pavimentos novos, permitindo contornar o problema originado por defeitos de projeto/execução ou deformações ocorridas, sendo propício de ocorrer em zonas de pequena inclinação longitudinal e pequena ou nula inclinação transversal, como acontece em zonas de osculação de curvas em planta com sinal contrário (Branco et al., 2008).

Os sulcos da “*ranhuragem*” têm cerca de 2cm de largura com uma profundidade variável desde poucos milímetros, no bordo mais alto, até cerca de 3 a 4 cm, no bordo mais baixo. Devem fazer um ângulo de 60° com o eixo da estrada, ter um espaçamento igual ou inferior a 3m e estenderem-se por 30 metros para cada lado do ponto de inclinação nula.

### 3.1.1. Revestimentos Betuminosos Superficiais

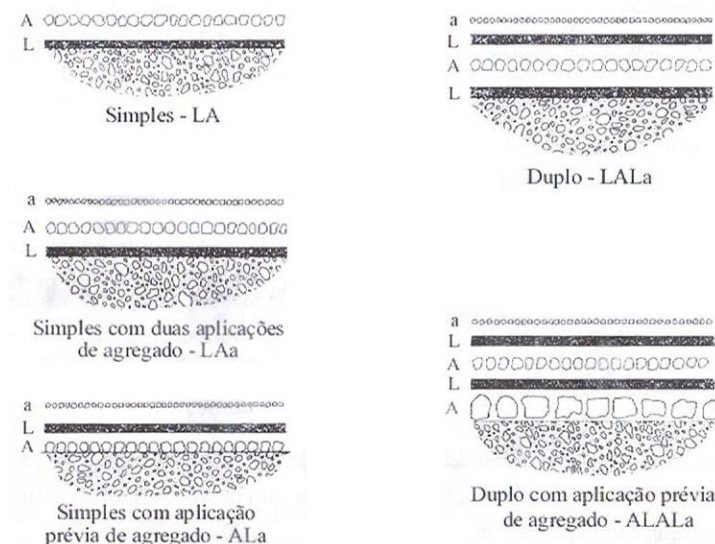
O revestimento betuminoso superficial consiste no espalhamento alternado de uma ou duas camadas de ligante betuminoso e agregado de baixa granulometria sobre o pavimento existente.

Esta técnica tem uma excelente relação custo-benefício no que diz respeito à reabilitação das características de impermeabilização e de rugosidade do pavimento, permitindo maior aderência entre os pneus-pavimento e pode também reduzir a acumulação de água que entra em contacto com os pneus.

Apesar de se tratar de uma técnica de reabilitação superficial, a sua capacidade de impermeabilização das camadas inferiores permite-lhe contribuir para a preservação estrutural do pavimento ao impedir o aceleramento da degradação provocada pelas infiltrações de água. Esta técnica é também ser utilizada como revestimento de pavimentos novos, se bem que com menor frequência.

Os revestimentos betuminosos superficiais apenas devem ser aplicados sobre pavimentos com boa capacidade de suporte, com pouco fendilhamento e deformação. São principalmente indicados para tráfego baixo a médio, sendo apenas aconselhada a aplicação para tráfego elevado quando utilizados ligantes modificados.

Existe um possível conjunto de combinações de aplicação deste tipo de revestimento, como se apresenta na figura 3.1 e a seguir descritos (Pereira & Miranda, 1999).



**Legenda:**

L: ligante;

A; a: agregado grosso; agregado fino.

Figura 3.1 - Tipos de revestimento betuminoso superficial (Pereira & Miranda, 1999).

**Revestimento simples (LA):** adapta-se a suportes homogêneos com tráfego reduzido (TMDA<300), embora não resista a esforços tangenciais.

**Revestimento simples com dupla aplicação de agregado (LAa):** adapta-se bem a situações de tráfego elevado e rápido, visto assegurar boa aderência e drenagem superficial elevada.

**Revestimento simples com aplicação prévia de agregado ou “Sandwich” (ALa):** é bem adaptado a suportes heterogêneos e com exsudação, no entanto proporciona uma impermeabilização baixa, pelo que tem sido preterido a favor do revestimento duplo.

**Revestimento duplo (LALa):** adapta-se a pavimentos heterogêneos com subdosagem de ligante e permeáveis, aos quais confere uma boa impermeabilização.

**Revestimento duplo com aplicação prévia de agregado (ALALa):** aplica-se o mesmo que dito em relação ao revestimento simples com aplicação prévia de agregado, só que para suportes ainda mais heterogêneos.

Como as camadas obtidas por esta técnica são de pequena espessa, é necessário tomar especial precaução para evitar desagregações. Deve-se escolher criteriosamente os agregados e o ligante, visando uma boa adesividade entre os dois.

De forma a melhorar a adesividade pode-se incorporar aditivos no ligante, limpar ou secar os agregados a quente, aplicar aditivos entre os agregados e o ligante e pré-envolver os agregados com emulsão betuminosa.

A adesividade ente o ligante e o suporte é um dos aspetos fundamentais para não haver a rejeição da camada, devendo por isso efetuar-se uma limpeza adequada do suporte (pavimento existente) e corrigir defeitos localizados, antes da aplicação do ligante.

O ligante deve ser doseado em função das condições de aplicação, do tipo de revestimento e agregado. Geralmente é utilizado o betume puro, tipo 180/200 aquecido a 160°C e as emulsões betuminosas tradicionais ou modificadas.

O betume a quente é inapropriado para aplicações sob baixas temperaturas ou elevada humidade, no entanto é preferível para revestimentos simples e quando existe a necessidade de abertura rápida ao tráfego.

As emulsões modificadas também possuem uma elevada coesão e maior resistência ao arranque, sendo adequadas a situações de tráfego severo e abertura rápida ao tráfego, quando utilizadas emulsões de rutura rápida.

Geralmente os agregados têm uma granulometria de 4/6 para revestimentos simples e 6/10 com 2/4 para revestimentos duplo, podendo como alternativa adotar-se o fuso 6/10 ou 10/14 em revestimentos simples e 10/14 com 4/6 em revestimentos duplos.

A escolha dos agregados deve considerar os seguintes fatores (Pereira & Miranda, 1999):

- tipo de estrutura do pavimento existente;
- tráfego;
- características do suporte;
- rugosidade a obter;
- diminuição do ruído;
- melhoria da aderência;
- obtenção de drenagem superficial, além de impermeabilização das camadas inferiores.

Os revestimentos duplos têm granulometria descontínua, para proporcionar melhor encaixe entre os agregados e redução dos vazios, melhorando a rugosidade e reduzindo o ruído. A presença de agregados de maior granulometria permite a utilização sob suportes irregulares e sob solicitação de tráfego elevado, proporcionam maior aderência e drenabilidade.

Apesar das características de diminuição do ruído, as técnicas de revestimento betuminoso superficial quando comparadas com outras técnicas de reabilitação superficial, são das mais ruidosas, as que provocam maior desgaste dos pneus e maior consumo de combustível.

Estas técnicas, quando bem executadas, sobre pavimentos de suporte em boas condições e com uma boa gestão da conservação, proporcionam um período de via de até 7 anos.

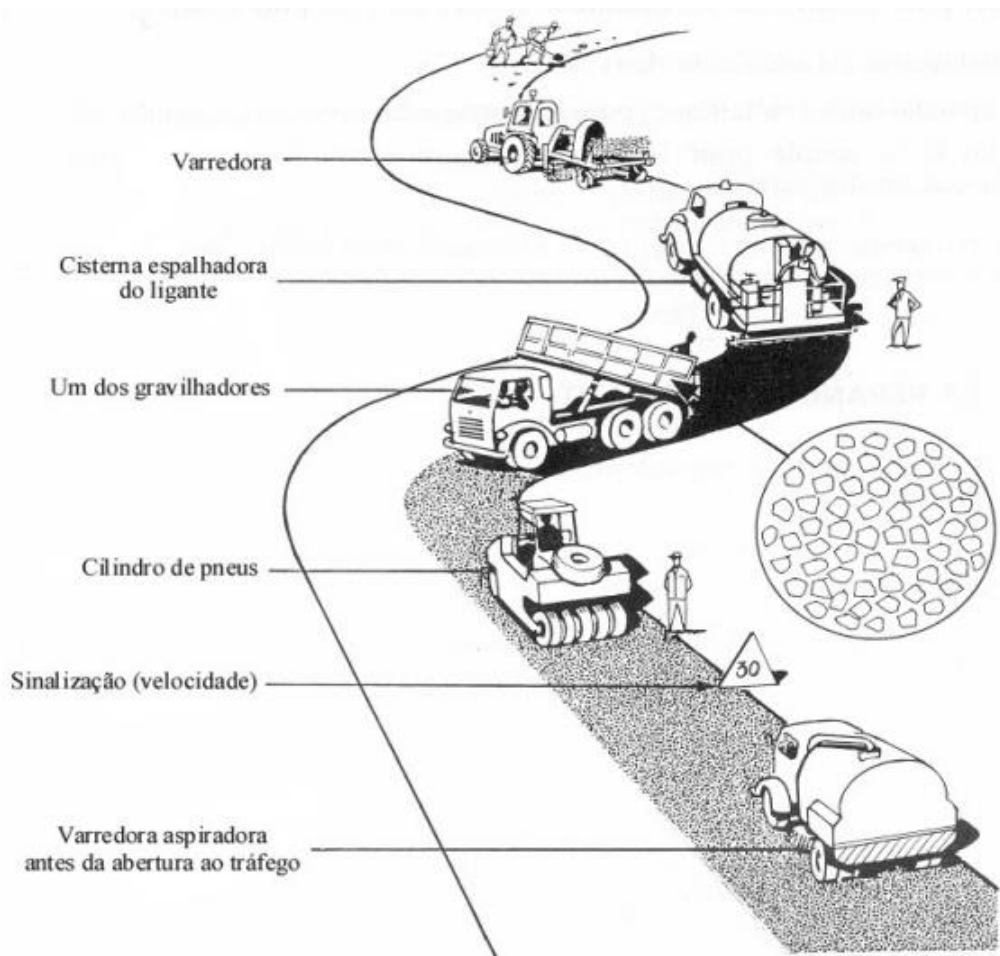
O seu processo de execução é ilustrado pela figura 3.2, onde se apresenta a inicial limpeza do pavimento, com possível correção de defeitos pontuais (reparação de deformações localizadas, covas e peladas).

Segue-se a aplicação do ligante ou da primeira camada de agregado, de acordo com a técnica escolhida. A distribuição do ligante é feita pela cisterna equipada de barras de espalhamento, que permitam uma distribuição homogênea e bem doseada. A aplicação do agregado é feita por uma gravilhadora que também ela permita uma distribuição homogênea.

Após a aplicação das camadas de ligante e agregado definidas pela técnica utilizada, é efetuada a compactação com cilindros de pneus que asseguram o correto encaixe entre os agregados e tornem a superfície regular.

Para finalizar os trabalhos é necessário efetuar uma operação de limpeza do revestimento colocado para remoção de agregados soltos e permitir a passagem do tráfego rodoviário.

Todas estas operações devem contar com equipamento adequado e com largura de aplicação compatível entre si, de modo a maximizar o rendimento das operações. O processo de aplicação segue um funcionamento em “comboio” que permite o avanço da intervenção acompanhado da imediata abertura ao tráfego, provocando o menor constrangimento possível aos utilizadores e sem necessidade de efetuar o corte prolongado da via.



*Figura 3.2 - Processo de aplicação dos revestimentos betuminosos superficiais (Pereira & Miranda, 1999).*

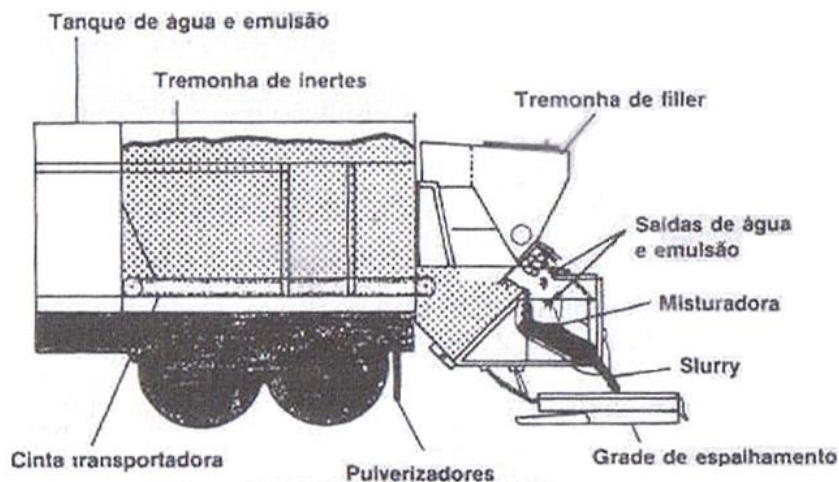
### 3.1.2. Microaglomerado Betuminoso a Frio

O microaglomerado betuminosa a frio é uma mistura betuminosa a frio com emulsão betuminosa, é executada “in situ” por um equipamento apropriado que permite fabricar e espalhar a mistura sobre o pavimento. O espalhamento é feito com a mistura em estado líquido, antes que se dê a rotura da emulsão.

Antes da aplicação é fundamental molhar o suporte, porém o equipamento mais recente já prevê este aspeto e ele próprio faz a molhagem.

O equipamento referido, é apresentado na figura 3.3, permite executar as tarefas de:

- armazenamento dos materiais (agregado, emulsão, água e aditivos);
- dosagem e mistura dos constituintes;
- pulverização com água sobre o suporte;
- espalhamento da mistura sobre o suporte.



*Figura 3.3 - Esquema de equipamento para fabrico e colocação em obra de microaglomerado betuminoso a frio ou lama asfáltica (Branco et al., 2008).*

A camada de microaglomerado betuminoso a frio ao fim de algum tempo, para que se dê a rotura da emulsão (aproximadamente 1 hora), fica pronta para receber o tráfego sem necessidade de compactação, constituindo uma camada de cerca de 1cm de espessura, com excelentes características de impermeabilização, boa rugosidade e aderência aos pneus.

Esta técnica utiliza agregados de britados de reduzida granulometria, geralmente 0/6 e emulsão betuminosa modificada com um teor de betume mínimo de 60% para aplicação simples e granulometria de 0/4 na primeira camada e 4/8 numa segunda camada para aplicação dupla (Branco et al., 2008).

A utilização em camada dupla confere-lhe melhores características de impermeabilização, suporte e rugosidade, o que conduz a uma melhor proteção contra a degradação das camadas inferiores, maior aderência dos pneus e redução na projeção de água.

A utilização de emulsões modificadas, incorporando fibra ou polímeros, traduz-se numa redução da suscetibilidade térmica da mistura, melhoria da adesividade dos agregados e ao suporte, maior resistência ao desgaste e aumento da resistência à deformabilidade e fadiga.

Tratando-se de uma técnica a frio, constitui uma opção que exige poucos recursos energéticos e apresenta um custo reduzido. É principalmente indicada para aplicação em zona urbana, uma vez que o aumento de espessura é muito reduzido e origina pouco ruído de circulação.

Esta técnica pode ainda ser utilizada para a selagem de fendas e para a reparação de desagregações superficiais.

### **3.1.3. Lama Asfáltica**

A lama asfáltica ou “slurry seal” é uma técnica em muito semelhante ao microalglomerado betuminoso a frio, apenas diferindo na menor dimensão dos agregados utilizados.

A granulometria dos agregados pertencendo ao fuso 0/4 com uma grande percentagem de agregados com dimensão inferior aos 2mm de diâmetro.

O fabrico e espalhamento da lama asfáltica é feito pelo mesmo equipamento que o microaglomerado betuminoso a frio, representado na figura 3.3, e também não necessita de compactação.

Esta técnica é essencialmente aplicada para a selagem de fendas com o intuito de impermeabilizar o pavimento.

Tem como vantagem a facilidade de espalhamento que lhe permite obter um grande rendimento, no entanto constitui camadas de reduzida rugosidade que diminuem a aderência dos pneus ao pavimento, sobretudo em piso molhado.

### **3.1.4. Microbetão Betuminoso Rugoso**

O microbetão betuminoso rugoso é uma técnica a quente utilizada para a realização de uma camada de desgaste com espessura compreendida entre os 2,5 a 3,5cm.

Esta técnica é aplicada sobre pavimentos com reduzida deformabilidade e boa capacidade de suporte, quando se desejam melhorar as características de regularidade e rugosidade para um período de durabilidade superior.

As misturas geralmente são constituídas por betume modificado e agregados de granulometria 0/2 e 6/10, resultando numa mistura com granulometria 0/10 mas com descontinuidade da fração 2/6.

Antes da aplicação da mistura betuminosa é necessário efetuar uma prévia limpeza do suporte e a aplicar uma rega de colagem com uma emulsão betuminosa a 60°C que permita conferir a impermeabilização das camadas inferiores, uma vez que a capacidade de impermeabilização do microbetão betuminoso rugoso é reduzida.

A aplicação e compactação da mistura apenas é feita após a rotura da emulsão betuminosa da rega de colagem, período durante o qual o pavimento deve estar fechado ao tráfego.

A mistura deve ser produzida em central a uma temperatura em cerca de 20°C superior à das misturas convencionais, devido à elevada viscosidade do betume modificado, no entanto a temperatura não pode exceder os 190°C sobe pena de “queimar” o betume modificado.

O seu espalhamento e compactação deve ser feito com a mistura a uma temperatura de próxima dos 140°C a 160°C, com temperatura ambiente superior a 10°C, sem ocorrência de precipitação e sem velocidades o vento superiores a 30km/h.

Deve-se ter em conta a proximidade da central à obra e a utilização de camiões com cobertura, para que o trajeto seja feito o mais rapidamente possível, evitando a segregação do material, o escorrimento do betume modificado e o arrefecimento da mistura. Isto porque, o facto de a mistura ser descontínua faz com que arrefeça mais rapidamente que as misturas convencionais.

O microbetão betuminoso rugoso não permite a utilização de cilindros de pneus, devendo apenas ser utilizados cilindros de rolo liso estático e molhado, de modo a evitar a adesividade do ligante betuminoso aos rolos.

Trata-se de uma técnica mais dispendiosa que as anteriores, porém apresenta maior durabilidade, ótimas características de regularidade e aderência. Peca pela falta de capacidade de impermeabilização que no entanto é compensada com a sobredosagem da rega de colagem.

Esta técnica é uma das mais utilizadas nalguns países europeus para a conservação de pavimentos sujeitos a tráfego elevado e rápido, justificada pelo baixo custo relativamente às melhorias oferecidas ao nível do conforto e segurança.

### **3.1.5. Argamassa Betuminosa**

A argamassa betuminosa é uma mistura betuminosa a quente usada na reabilitação como camada de reperfilamento ou camada de desgaste de pavimentos com tráfego leve. Pode ser aplicada como betume modificado para atuar como camada retardadora da propagação das fendas (SAMI).

---

A mistura é composta por betume puro ou modificado e agregado da granulometria 0/4 ou 0/6. É uma mistura que apresenta elevada deformabilidade, por isso não deve ser sujeita a tráfego muito severo.

Esta técnica é geralmente utilizada como solução a curto prazo em pavimentos fendilhados, com a necessidade de retardar uma intervenção estrutural, uma vez que a elevada deformabilidade que apresenta permite-lhe adaptar-se a essas condições.

### **3.1.6. Betão Betuminoso**

O betão betuminoso é umas das misturas betuminosas a quente mais utilizadas em camada de desgaste com espessura máxima de até 5cm.

O seu fabrico é feito em central a quente, pela junção do ligante de betume puro e agregados britados com a granulometria 0/4, 4/10 e 10/14.

Antes de receber a mistura o pavimento de suporte deve ser previamente regado com uma rega de colagem em emulsão betuminosa e só após esta atingir a rotura é que a nova mistura pode ser aplicada.

O transporte para a obra, o espalhamento e compactação devem ser realizados o mais rapidamente possível, para evitar que a mistura arrefeça em demasia. Devendo ser executadas com tempo seco e temperatura ambiente superior a 10°C.

A compactação da mistura implica a utilização de cilindros de rolo liso e cilindros de pneus, devendo estes estar munidos de sistemas de rega e “saías de proteção”.

A aplicação do betão betuminoso como camada de desgaste apenas deve ser feita quando o pavimento existente se apresentar pouco deformado, com boa capacidade estrutural e reduzido fendilhamento. Sendo que quando estas condições não se verificam, deve ser ponderada a realização de uma camada de regularização antes da aplicação do betão betuminoso como camada de desgaste.

Em caso de pavimentos fortemente fendilhados, será mais prudente passar para o campo da reabilitação estrutural com aplicação de uma técnica de retardamento da propagação de fendas e só depois a aplicação do betão betuminoso.

### 3.1.7. Betão Betuminoso Drenante

Ainda no campo do betão betuminoso é usual utilizar a técnica de Betão Betuminoso Drenante, que consiste na realização de uma camada com cerca de 4cm de espessura com uma percentagem de vazios de cerca de 22% a 30%.

A sua função é permitir o rápido escoamento das águas da superfície do pavimento e encaminhá-las para as bermas, através do interior poroso da mistura. Desta forma a aderência entre os pneus e o pavimento em períodos de precipitação é maximizada e as projeções de água muito reduzidas.

O betão betuminoso drenante tem de ser aplicado sobre pavimentos impermeáveis, com boa capacidade de suporte e sem deformações, para que não se formem zonas de estagnação e/ou entrada de água para as camadas inferiores.

A mistura é formada por betume modificado com fibras ou polímeros e agregados da granulometria 0/10 ou 0/14 com descontinuidade na fração 2/6 ou 2/10, respetivamente.

A utilização de betume modificado tem em vista o aumento da adesividade entre os agregados, uma vez que os pontos de contacto são significativamente reduzidos, comparativamente às misturas não porosas.

Por esse motivo, não se aconselha a utilização desta mistura em zonas de fácil colmatação (perda de permeabilidade), zonas de elevados esforços de corte (tendência à desagregação), zonas de declives acentuados e faixas de circulação muito largas (possibilidade de reaparecimento da água à superfície).

Os poros das camadas em betão betuminoso drenante têm propensão a colmatar com a acumulação de sujidade, sendo por vezes, necessário intervir com operações de limpeza numa tentativa de descolmatação dos poros da mistura. Essa tarefa é executada com o auxílio de um equipamento específico de tratamento hidromecânico, que atua pulverizando a superfície do pavimento com água a alta pressão seguida da sua aspiração. A necessidade de efetuar estas operações está diretamente relacionada com as condições locais do pavimentos e a sua propensão para o fecho dos poros, no entanto é aconselhada a limpeza periódica, com intervalos de tempo ajustados a essa propensão, de modo a evitar as colmatações e a maior dificuldade em as remover quando se acumulam em demasia.

É necessário criar uma zona de transição entre a camada drenante e as camadas de desgaste densas dos pavimentos existente, não devendo terminar numa zona de pendente longitudinal

---

significativa. A camada drenante deve terminar 30 a 50cm antes do limite do suporte para permitir um correto escoamento da água, devendo haver uma transição de 4 até 2 cm na espessura da camada antes de terminar, ver figura 3.4. Deve haver cuidado na junta longitudinal entre as diversas bandas realizadas em faixas largas, de modo a permitir o escoamento da água.

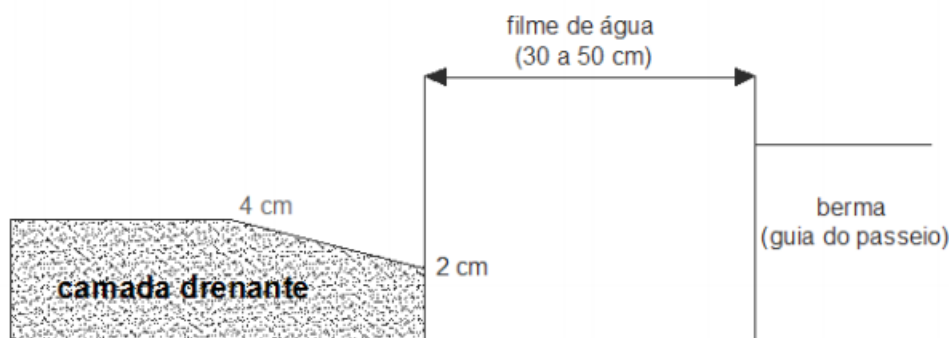


Figura 3.4 - Camada de desgaste drenante, transição entre faixa de rodagem e berma (Pereira & Miranda, 1999).

A utilização de betão betuminoso drenante traz uma grande vantagem ao nível da segurança sob condições de precipitação e também em tempo seco, com a melhoria da aderência, diminuição da projecção de água e baixa emissão de ruído.

As desvantagens passam pela propensão à colmatação dos vazios, com perda da sua funcionalidade drenante, e incapacidade de impermeabilizar as camadas inferiores, podendo contornar a situação com uma sobredosagem da rega de colagem antes da execução da camada drenante.

É possível optar por um esquema alternativa de revestimento drenante, que consiste na execução sobreposta de duas camadas de betão betuminoso drenante sobre o pavimento impermeável. Uma primeira camada com cerca de 4,5cm de espessura utilizando agregados de granulometria superior, do fuso 11/16, com uma porosidade de 25% e uma segunda camada com cerca de 1,5 a 2,5cm de espessura utilizando agregado de granulometria 0/10, com porosidade de 20%. O ligante utilizado é o mesmo que no esquema de apenas uma camada drenante, ou seja, o betume modificado com polímeros ou fibras.

As vantagens desta formulação passam pela redução do ruído, uma vez que a camada em contacto com os pneus tem uma granulometria mais regular e menor dimensão máxima do agregado. E a menor propensão à colmatação da porosidade entre períodos de limpeza, conferida pela maior dimensão dos vazios provocada pelos agregados de granulometria grossa.

A dupla camada em betão betuminoso drenante tem, naturalmente, um custo de construção mais elevado, no entanto permite que as operações de limpeza sejam espaçadas em períodos de tempo mais longos.

### **3.1.8. Betão Betuminoso de Alto Módulo**

O Betão Betuminoso de Alto Módulo, também pertencente à família das misturas de betão betuminoso, com a característica de apresentar excelentes propriedades mecânicas, como módulos de deformabilidade superiores a 8000MPa à temperatura de 25°C e resistência à fadiga, superiores ao betão betuminoso convencional.

Desta forma é possível construir reforços mais duráveis com excelente resistência à deformabilidade e à fadiga, com espessuras inferiores.

Estas misturas são constituídas por agregados da granulometria 0/14, para aplicação em camada de desgaste ou camada de regularização e granulometria 0/20 quando aplicada em camada de base. O ligante utilizado é um betume duro com um ponto de amolecimento anel e bola na ordem dos 60°C a 90°C.

Uma vez que se trata de um betume muito duro, a mistura deve ser fabricada a uma temperatura superior à das misturas convencionais, de modo a tornar o betume suficientemente mole para cobrir os agregados. Geralmente são utilizadas temperaturas de 160°C a 180°C no fabrico, 145°C a 165°C no espalhamento e até 140°C na compactação.

Esta técnica apesar de poder ser utilizada como camada de desgaste ou de reperfilamento, é considerada demasiado indeformável e muito suscetível às variações térmicas tendo propensão a fendilhar por retração térmica. Pelo que geralmente é mais utilizada no âmbito da reabilitação estrutural quando se pretendem camadas com elevada capacidade de suporte, nomeadamente para pavimentos com tráfego elevado e agressivo, sendo sobretudo utilizada como camada de base sobre fundações com deficiente capacidade de suporte, e também como camada de regularização acompanhada de uma camada de desgaste com características adequadas para resistir às ações climáticas (Pereira & Miranda, 1999).

### **3.1.9. Macadame Betuminoso**

O macadame betuminoso é uma mistura betuminosa a quente utilizada na reabilitação estrutural como camada de reperfilamento, porém a sua utilização mais corrente é na reabilitação estrutural onde é aplicada como camada de base.

O macadame betuminoso utilizado em camada de regularização ou reperfilamento é geralmente constituído por agregados da granulometria 0/4, 4/10 e 10/20. E em utilização como camada de base pode ser fabricado a com as frações 0/4, 4/20 e 20/40 ou em alternativa 0/6, 6/20 e 20/40. Em qualquer dos casos é utilizado um betume puro para a ligação dos agregados.

A aplicação desta mistura deve ser feita para espessuras superiores a 8cm até 15cm e não pode ser sujeita às ações do tráfego de obra durante um período significativo, sob o risco de sofrer danos nas características mecânicas e conseqüente comprometimento da sua capacidade estrutural.

Trata-se de uma mistura com boa capacidade de suporte mas com necessidade de elevadas espessuras, pelo que faz dela uma técnica preterida em termos de reabilitação funcional, mas muito utilizada em construções novas e reabilitações estruturais.

### **3.1.10. Reparações Localizadas**

As reparações localizadas são uma técnica de reabilitação superficial ou estrutural, por norma, utilizada na resolução de problemas pontuais de degradação ou aparecimento de patologias prematuras, que condicionam a segurança, conforto e manutenção dos veículos.

Outra utilização, esta mais corrente a nível urbano, refere-se à reconstrução do pavimento após abertura de valas para realização de infraestruturas.

Numa realidade muito presente nas estradas de menor importância do nosso país, as técnicas de reparação localizada são muitas vezes utilizadas para minimizar problemas de avançada degradação, quando não é financeiramente possível ou viável intervir o pavimento em toda a extensão degradada. É uma solução com mais custos quer para os utentes quer para a própria administração rodoviária.

Já anteriormente foi referido que as reparações localizadas podem constituir uma patologia quando não são bem executadas. A boa execução passa não só pela correta realização do “remendo” mas particularmente pela correção da origem da patologia.

Esta situação coloca-se especificamente quando se trata de patologias da família das deformações, em que a origem da patologia não está na própria manifestação do problema, ao contrário do que acontece nas desagregações.

Portanto, quando ocorre o aparecimento pontual de uma deformação (nomeadamente, abatimento ou deformação localizada) é fundamental estudar a origem do problema e tratá-lo de forma a evitar a possibilidade desta voltar a surgir após a reparação.

Relativamente às desagregações, deve-se seguir o seguinte procedimento:

- Preparação do suporte, realizando o corte vertical da camada na zona a reabilitar, de modo a retirar o material deteriorado e obter um suporte firme, ao qual a reparação possa aderir. A delimitação desta zona deve ser suficientemente afastada do bordo da zona deteriorada de modo a retirar todo o material degradado.
- Limpeza e secagem da “cova” originada pelo corte, para não haver problemas de aderência.
- Aplicação de uma rega de colagem adequada na superfície de contacto entre o suporte e a nova mistura betuminosa de reparação.
- Enchimento da “cova” com a mistura betuminosa escolhida, podendo ser um betão betuminoso a quente ou uma mistura betuminosa a frio.
- Compactação, que deve ser feita com equipamentos de compactação adequados à dimensão e à importância da reparação.
- Selagem das faces verticais da reparação, de modo a evitar a entrada de água. Os materiais de selagem podem ser vários, entre os quais uma lama asfáltica.

Os problemas geralmente associados às reparações são (Pereira & Miranda, 1999):

- a reduzida aderência entre a reparação e o suporte;
- a ocorrência de depressões ou elevações relativamente à superfície do restante pavimento, devido a problemas de compactação e resistência ao corte;
- o arranque do material de reparação, por falta de coesão da mistura usada e de compactação;
- problemas de drenagem superficial;
- reflexão de fendas;
- arranque de placas (peladas).

### 3.2. Reabilitação Estrutural

Uma das principais técnicas de reabilitação estrutural consiste na realização de um reforço, constituído por uma ou mais camadas betuminosas, precedido ou não, pela aplicação de uma técnica que limite o fendilhamento do pavimento existente de se propagar ao reforço.

Antes da execução do reforço, dependendo do caso e estado de degradação do pavimento, pode ser necessária a realização de reparações localizadas ou de camadas de pré-regularização (reperfilamento). Deve ainda aproveitar-se para realizar trabalhos de melhoria da drenagem, tais como execução/reparação/manutenção de valetas, drenos longitudinais de rebaixamento de nível freático, de passagens hidráulicas, de taludes e plataformas.

Os reforços são geralmente constituídos por misturas betuminosas a quente, deferindo nas suas características em função do tipo de reforço efetuado, em termos de número, espessura e função da camada. Algumas das misturas são também utilizadas na reabilitação funcional, como é o caso do macadame betuminoso, betão betuminoso e argamassa betuminosas (tendo sido descritas no subcapítulo anterior).

Na existência de condicionantes ao aumento da cota do pavimento, pode optar-se por uma das seguintes alternativas:

- Utilização de misturas betuminosas de alto módulo de deformabilidade, que permitem diminuir as espessuras das camadas a executar;
- Proceder à fresagem de parte ou totalidade da(s) camada(s) superior(es), de modo a reconstruí-la(s) com nova mistura betuminosa;
- Reciclagem de parte ou totalidade do pavimento.

Atualmente está em voga a utilização de Betume Modificado com Borracha (BMB) na constituição das misturas betuminosas e SAMI's. A adição de materiais poliméricos, para a modificação de betumes, traz, com eficácia, uma melhoria das propriedades do betume, nomeadamente na suscetibilidade térmica e na flexibilidade. No entanto os polímeros têm um elevado custo, que apenas se torna viável quando se trata de polímero proveniente de reciclagem, nomeadamente a reciclagem de pneus usados. A borracha de pneus triturados, para além de ser um bom polímero para adição ao betume, é mais barato e permite controlar o problema ambiental da acumulação de pneus usados sem utilidade e considerados como resíduo poluente.

As misturas betuminosas com BMB em reforços de pavimentos rodoviários flexíveis apresentam maior resistência ao fendilhamento e às deformações, mas principalmente na

---

resistência à reflexão de fendas, comparativamente às misturas betuminosas tradicionais (Way, 2003).

“Uma vez iniciado o fendilhamento no reforço, a sua propagação processa-se da sua base para a superfície do pavimento. Este fenómeno, designado por reflexão de fendas, é causado pela combinação do carregamento cíclico do tráfego com o efeito térmico das variações de temperatura.” (Minhoto, 2005)

Para evitar que as fendas existentes no pavimento antigo se propaguem ao reforço é necessário adotar medidas que retardem essa propagação ou que eliminem as fendas existentes, como se pode observar na figura 3.5.

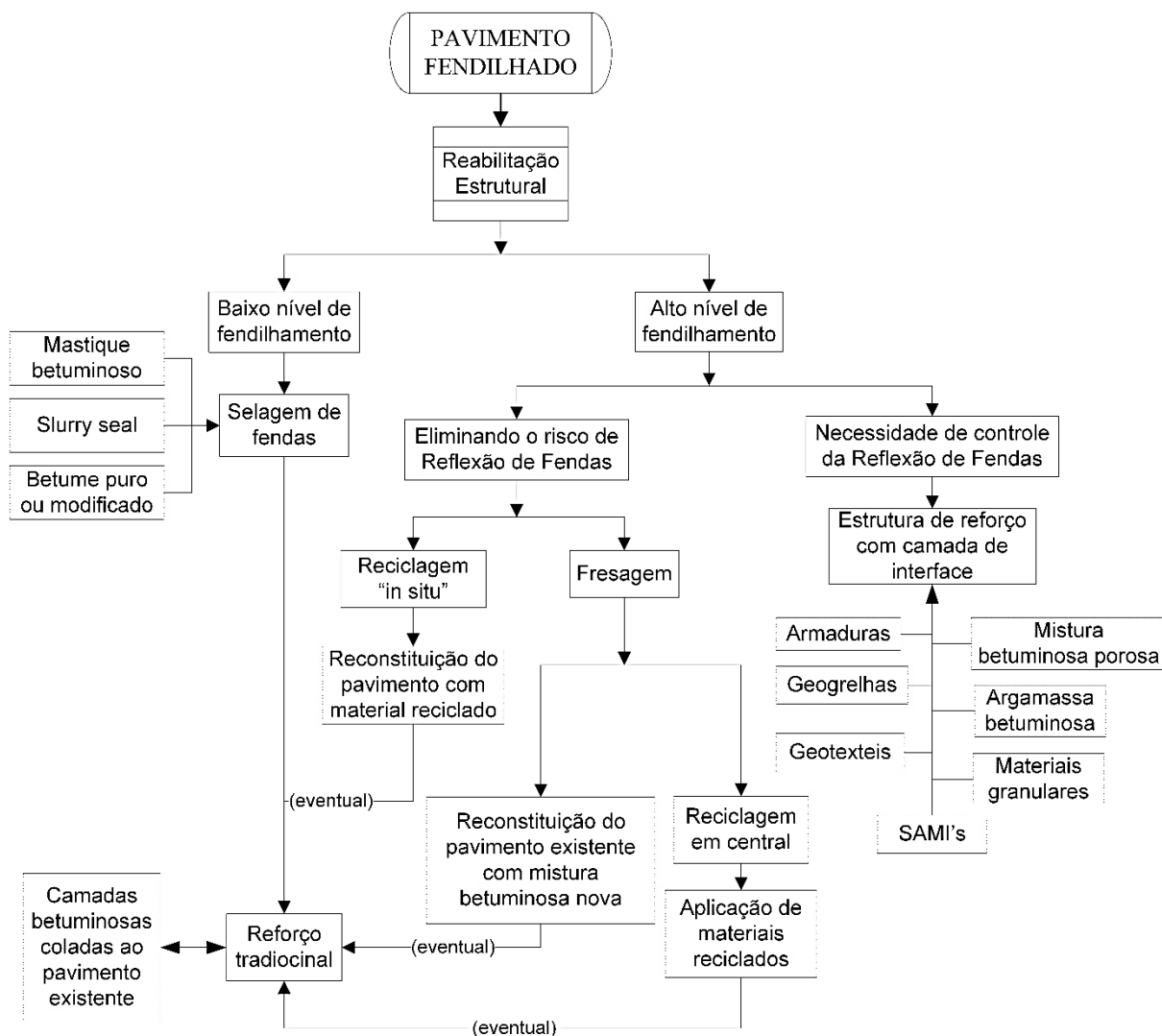


Figura 3.5 - Estratégias normalmente adotadas na reabilitação estrutural de pavimentos fendilhados (Minhoto, 2005)

De entre as técnicas retardadoras da propagação de fendas, destaca-se a aplicação de: geotêxtil impregnado em betume, SAMI's, armaduras ou grelhas e camadas betuminosas de elevada espessura.

Relativamente à eliminação das fendas existentes do pavimento pode optar-se pela fresagem, reciclagem e regeneração da(s) camada(s) fendilhada(s).

A escolha da utilização de geotêxtil, armaduras e grelhas deve ter em consideração que a sua aplicação inviabilizam futuras operações de reciclagem ou fresagem, uma vez que estes elementos não são desfragmentados pelos “dentes” do rotor do equipamento fresador.

### **3.2.1. SAMI's**

A SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) consiste numa camada de reduzida espessura, 1 a 2 cm, constituída por uma grande quantidade de betume modificado com polímeros e agregado de pequenas dimensões (granulometria 0/6). Esta camada é criada entre o pavimento fendilhado e o reforço, tendo a propriedade de ser bastante elástica e com isso absorver parte das tensões geradas na zona das fendas, deformando-se sem fendilhar e retardando a propagação das fendas ao reforço.

Pode em alguns casos ser efetuado apenas um tratamento superficial constituído por uma camada de betume modificado com polímeros sobre o pavimento fendilhado, seguida de uma camada de agregados uniformes sobre o betume (granulometria 6/9), esta técnica designa-se por SAM (Stress Absorbing Membrane) e é semelhante aos revestimentos superficiais abordados no subcapítulo anterior.

Esta última apesar de não ser uma técnica direta de reabilitação estrutural, mas sim superficial, acaba por ter um efeito retardador da propagação das fendas no pavimento existente e ainda confere impermeabilização às camadas inferiores, reduzindo assim o avanço da degradação no seu desempenho estrutural.

A SAMI quando integra polímeros provenientes da reciclagem de pneus usados é conhecida por SAMI-R (Rubberized Stress Absorbing Membrane Interlayer) ou ARAMI (Asphalt Rubber Aggregate Membrane Interlayers). Em função da sua composição, podem ser adquiridas diferentes propriedades, mais ou menos elásticas, como se mostra na tabela 3.1 para duas misturas ARAMI diferentes. As misturas mais elástica (Soft SAMI) conferem melhor

desempenho a pavimentos também eles mais elásticos e a mistura menos elástica (Hard SAMI) funciona melhor em pavimentos com maior rigidez (Shatnawi et al., 2011).

*Tabela 3.1 - Propriedades mecânicas de duas misturas SAMI (Shatnawi et al. 2011)*

	Módulo de Deformabilidade (E)		Módulo de Distorção (G)	
	$E_x = E_y$	$E_z$	$G_x = G_y$	$G_z$
<b>Soft SAMI</b>	10 MPa	80 MPa	4,17 MPa	33,33 MPa
<b>Hard SAMI</b>	35 MPa	100 MPa	14,58 MPa	41,67 MPa

### 3.2.2. Geotêxtil Impregnado com Betume

À semelhança da SAMI o geotêxtil impregnado com betume funciona como uma camada retardadora da propagação de fendas entre o pavimento fendilhado existente e a nova camada de reforço.

O geotêxtil já é um material conhecido na construção rodoviária usado em aterros, drenos, como elemento de separação entre as camadas betuminosas e granulares, etc. Este na sua forma original não dispõe de propriedades que o tornem benéfico no retardamento da reflexão de fendas, no entanto a sua capacidade de reter o betume dota-o de excelentes propriedades elásticas. A tabela 3.2 apresenta as propriedades de um dos geotêxtis impregnados com betume avaliados na dissertação efetuada por *Natália Correia, Universidade de São Paulo, 2010*.

*Tabela 3.2 - Propriedades mecânicas de um geotêxtil impregnado com betume (Correia, 2010).*

<b>Geotêxtil Impregnado com Betume</b> <i>(não tecido, 100% polipropileno, fibras curtas, 200 g/m<sup>2</sup>)</i>	Módulo de Deformabilidade (E)		Módulo de Distorção (G)	
	$E_x = E_y$	$E_z$	$G_x = G_y$	$G_z$
	0,9 MPa	9 MPa	0,38 MPa	3,8 MPa

No mercado existem diversos geotêxtis diferentes, com características físicas e mecânicas muito distintas, o que o torna num caso muito particular de estudo e portanto não é possível indicar um valor de referência das suas propriedades mecânicas. Isto porque, por exemplo em termos de geotêxtis em polipropileno, existe oferta de mercado desde 90g/m<sup>2</sup>, 0,7mm de

espessura e uma tensão de tração de 6,2kN/m até geotêxtis de 1200g/m<sup>2</sup>, 7mm de espessura e uma tensão de tração de 75kN/m.

As características mecânicas do geotêxtil sem impregnação, a espessura, a capacidade de reter o betume e as características do betume utilizado na impregnação vão sempre influenciar o seu desempenho no retardamento da propagação de fendas.

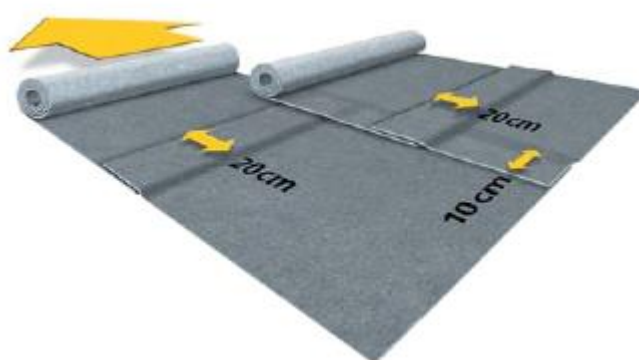
A aplicação de geotêxtil impregnado com betume na interface do reforço com o pavimento existente traz vantagens na impermeabilização, quer impedindo que a água se infiltre da superfície para as camadas granulares e fundação, mas também no sentido oposto sobre forma de vapor e capilaridade (manchas de humidade), tal como a SAMI.

O geotêxtil impregnado com betume tem a sua desvantagem na dificuldade de instalação.

Este deve apenas ser colocado sobre superfícies regulares, sendo necessário colocar uma fina camada betuminosa de regularização no caso de o pavimento estar muito degradado e apresentar algumas irregularidades.

Deve-se ter especial atenção em não deixar dobras no geotêxtil colocado sobre o pavimento, para isso, deve ser desenrolado em linha reta manualmente ou com auxílio de equipamento mecânico, sendo especialmente difícil de instalar em estradas sinuosas.

O desenrolar e as sobreposições longitudinais devem ser efetuados no sentido da pavimentação, para que as máquinas não arrastem e desposicionem geotêxtil. Aconselhando-se sobreposições de 10cm na longitudinal e 20cm na transversal, ver figura 3.6 (Fibertex Nonwovens).



*Figura 3.6 - Sobreposição longitudinal e transversal de geotêxtil para impregnação com betume (imagem Fibertex Nonwovens).*

### 3.2.3. Armaduras e Grelhas

As armaduras e grelhas atuam, tal como no betão armado, absorvendo as elevadas tensões de tração que surgem na parte inferior do pavimento, nomeadamente na zona das fendas, impedindo a mistura betuminosa de fendilhar.

As grelhas distinguem-se por serem constituídas por fibras de materiais sintéticos (polipropileno, poliéster, fibra de vidro e fibra de carbono), formando uma rede de malha quadrangular. As grelhas apresentam vantagens na facilidade de instalação por estarem disponíveis em rolos, serem leves e facilmente aderentes ao pavimento.

As armaduras são metálicas e estão disponíveis sob diversas formas (malha de aço, rede, grelha tridimensional tipo favos de mel).

A instalação das armaduras/grelhas compreende uma primeira rega de colagem, seguida da colocação das armaduras/grelhas sobre o pavimento fendilhado (com ou sem pregagem) e posteriormente cobertas pela mistura betuminosa de reforço. Caso se verifique necessário, pode ser executada uma camada de regularização antes da colocação das armaduras/grelhas.

As armaduras em aço sensíveis à corrosão devem ser regadas com betume de forma a ficarem protegidas contra a corrosão, devido à possível infiltração de água através de futuras fendas, micro-fendas ou porosidade da própria mistura betuminosa.

Trabalhos de investigação levados a cabo na Finlândia e na Suécia, apoiados em estudos experimentais realizados em estradas e laboratório, mostrou que a aplicação de malhas de aço nos pavimentos flexíveis durante a sua construção e reabilitação conferia às estradas as seguintes propriedades (Nuno Reis, 2009):

- aumento da capacidade de carga;
- aumento da resistência à formação de rodeiras;
- aumento da resistência ao aparecimento de fendas;
- aumento da resistência aos assentamentos laterais;
- diminuição do risco de aparecimento de fendas nas camadas de reforço;
- aumento da resistência ao fendilhamento devido ao gelo.

Devido ao seu elevado módulo de deformabilidade, as armaduras tipo malha de aço e as grelhas de carbono são técnicas indicadas para aplicação em casos de pavimento severamente fendilhados.

---

Na tabela 3.3, são apresentados os módulos de deformabilidade das grelhas ou armaduras, tendo em consideração uma redução imposta às grelhas constituídas por fibras, que devido ao facto da grelha ser composta por vários fios e esses mesmos fios serem compostos por fibras, o arranjo das fibras não é perfeito e não confere a total resistência permitida pela fibra. Pelo que, para efeitos de dimensionamento os principais autores e projetistas aconselham a afetação do módulo de deformabilidade das grelhas em fibra através de um coeficiente redutor que permita conferir uma considerável margem de segurança.

*Tabela 3.3 - Módulo de deformabilidade de armaduras e grelhas.*

<b>Armadura ou Grelha</b>	<b>Módulo de Deformabilidade da Fibra <math>E_f</math> (MPa)</b>	<b>Módulo de Deformabilidade <math>E</math> (MPa)</b>
<b>Aço</b>	-	210 000
<b>Fibra de Carbono</b>	240 000	160 000*
<b>Fibra de Vidro</b>	70 000	47 000*
<b>Fibra de Poliéster</b>	15 000	10 000*
<b>Fibra de Polipropileno</b>	12 000	8 000*

\* Tendo em consideração o deficiente arranjo das fibras, é recomendado um fator de redução de 1,5 do módulo de elasticidade teórico da fibra (S&P Clever Reinforcement Company).

### 3.2.4. Fresagem

A fresagem é um processo a frio de corte mecânico rotativo e contínuo das camadas betuminosas de um pavimento existente, no qual é permitido regular a profundidade a fresar. Esta técnica tem como finalidade a remoção do pavimento degradado antes de ser sobreposto um reforço betuminoso e traz como benefício a eliminação das patologias superficiais, eliminação total ou parcial do fendilhamento e ainda permite manter a cota do pavimento existente após aplicação do reforço betuminoso.

O equipamento fresador é constituído por um tambor rotativo dotado de “dentes” em carboneto de tungsténio para a remoção do betume e uma transportadora tipo tapete rolante para conduzir o material fresado até um camião que precede no avanço da fresa, dependendo da capacidade do equipamento é possível fresar a totalidade de uma via de trânsito até uma profundidade de 50cm.

Durante a fresagem deve-se manter uma rega do pavimento de modo a permitir o arrefecimento dos “dentes” da fresa e também para controlo da poeira.

Para finalizar a fresagem e de modo a deixar a superfície apta a receber o reforço, deve-se limpar a área fresada utilizando vassouras mecânicas com caixa de recolha e armazenamento do material varrido.

O material fresado é diretamente transportado para um camião que segue na frente, através do tapete rolante incorporado pelo próprio equipamento fresador, tendo depois a possibilidade de o entregar numa central de produção de misturas betuminosas com material reciclado ou depositado em local adequado, para utilização em camadas granulares em obras de expansão e construção nova.

O material oriundos da fresagem da camada de desgaste e da camada de regularização em mistura betuminoso, e mesmo o agregado das camadas granulares do pavimento, são materiais bastante adequados à reutilização na própria intervenção, mantendo o material em grande parte com as suas características, devendo, se necessário, ser corrigido com novos agregados e ligante (Cabeças, 2014).

A gestão de resíduos dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) prevê a possibilidade de reincorporação de resíduos de betuminosos em central, desde que sejam cumpridas as especificações técnicas elaboradas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), com o objetivo de diminuir a utilização de recursos naturais e de minimizar o recurso à deposição em aterro, permitindo assim um aumento do tempo de vida útil dos recursos naturais (Cabeças, 2014).

A fresagem é uma técnica muito utilizada na reabilitação de estradas com elevada importância e tráfego (como autoestradas), onde é possível reabilitar uma única via sem condicionar o trânsito das outras vias e fresando uma determinada espessura de betuminoso que em seguida pode ser reconstruído mantendo a mesma cota do pavimento relativamente às restantes vias. Esta intervenção tem vindo a ser muito utilizada com aplicação de grelhas em fibra de vidro ou carbono antes do reforço betuminoso, conferindo ao pavimento uma maior capacidade de suporte e resistência à fadiga, muito útil em vias de tráfego lento e de lentos.

Também se utiliza a fresagem para a remoção de pavimentos betuminosos em pontes, viadutos e outras obras de arte, assim como para melhorar o coeficiente de atrito em zonas demarcadas pela perda de aderência entre pneus-pavimento.

### 3.2.5. Reciclagem

A reciclagem é um processo que permite obter novas misturas a partir da fresagem dos próprios materiais do pavimento a reabilitar, quer sejam camadas betuminosas ou granulares. Com o material fresado é possível fabricar novas camadas betuminosas, granulares e granulares estabilizadas com ligantes hidráulicos. Sendo apenas necessário adicionar uma pequena parte de novos materiais: ligantes, agregados ou misturas betuminosas.

Esta técnica permite eliminar todas as patologias do pavimento existente e a construção de um pavimento totalmente novo com poucos gastos de recursos e com reduzido desperdício das materiais do pavimento existente. Desta forma é possível reduzir custos económicos e danos ambientais, não sendo necessário acumular as materiais fresados e reduzindo a quantidade de novos agregados e ligantes betuminosas.

Existem diversas técnicas de reciclagem, distinguindo-se pelo local de execução, temperatura de fabrico e tipo de ligante a adicionar:

- Local: o processo de reciclagem pode ser executado no local da intervenção (“in situ”) ou em central.
- Temperatura: o fabrico da mistura reciclada pode ser efetuado a quente, semi-quente ou frio (temperatura ambiente).
- Ligante: o ligante a adicionar à mistura reciclada pode ser o cimento, betume, betume espuma e emulsão betuminosa.

De acordo com as diferentes técnicas de reciclagem é possível optar pelos seguintes processos de reciclagem:

- reciclagem “in situ”, a frio, com cimento;
- reciclagem “in situ”, a frio, com emulsão betuminosa;
- reciclagem “in situ”, a frio, com betume espuma;
- reciclagem “in situ”, a frio com cimento e emulsão;
- reciclagem “in situ”, a quente com betume/rejuvenescedor;
- reciclagem em central, a frio, com emulsão betuminosa;
- reciclagem em central, a frio, com betume espuma;
- reciclagem em central, semi-quente, com emulsão betuminosa;
- reciclagem em central, a quente, com betume;
- reciclagem “in situ”, a quente, com betume.

A reciclagem “in situ” implica uma operação “em comboio” com diferentes composições em função do procedimento de reciclagem utilizado e adquire vantagem sobre a realizada em central, no que diz respeito à poupança, quer ambiental ou económica, no entanto peca pelo controlo de qualidade, que não pode ser assegurado como em central.

As vantagens da reciclagem “in situ” são as seguintes (Martinho, 2005):

- evita o transporte dos materiais fresados para outro local;
- reduz a degradação dos pavimentos das estradas utilizadas pela obra;
- dispensa os depósitos provisórios;
- menor tempo de execução;
- menores consumos energéticos (em alguns casos);
- menor ruído e poluição atmosférica (em alguns processos);
- menor investimento total em equipamentos (em alguns processos);
- aproveita na íntegra todos os materiais existentes no pavimento intervencionado.

No entanto, apresentam-se algumas desvantagens no uso da reciclagem “in situ”, que de qualquer modo podem ser atenuadas e compensadas:

- as condições locais de execução e a heterogeneidade das camadas existentes afetam a qualidade do trabalho e o rigor no tratamento ao longo da obra;
- alguns equipamentos mais complexos estão sujeitos a avarias no local da obra, onde o acesso às oficinas é mais lento;

A reciclagem em central obtém misturas com maior fiabilidade e qualidade no produto obtido, no entanto requer o transporte do material fresado até à central e de novo para o local da obra, sendo um problema acrescido em função do afastamento entre a central e a obra. Aumenta ainda o tráfego de veículos da obra, quer na zona de trabalho quer no trajeto entre a central e a obra, afetando tanto utilizadores da via intervencionada como os utilizadores do trajeto à central. Pode ainda dizer-se que, o elevado tráfego de veículos da obra, vai também contribuir para a degradação dos pavimentos no seu trajeto, assim como constituir um custo extra de combustíveis, aumento da poluição atmosférica e de ruído.

A reciclagem em central é realizada nas mesmas centrais de produção de misturas betuminosas novas, desde que esta esteja preparada para tratar o material fresado.

Ao contrário do que acontecia na reciclagem “in situ”, a reciclagem em central não utiliza a totalidade do material fresado, no entanto pode ser armazenado para incorporar em novas misturas de outras obras.

---

Em central apenas uma parte do material fresado é que pode ser incluído na produção da mistura betuminosa, podendo este variar entre os 10% a 70% em função do tipo de central, dos equipamentos que a constituem e dos métodos utilizados (Cunha, 2010).

O processo de reciclagem deve ser ponderado em função do ligante e das condições climáticas esperadas em obra, visto que estas vão condicionar a temperatura a que a mistura será realizada.

Os processos de reciclagem a frio exigem menor consumo energético e podem ser utilizados os seguintes ligantes: cal, cimento, emulsão betuminosa e betume espuma. Porém estes processos são bastante sensíveis às condições meteorológicas, pelo que a sua escolha deve ponderar a temperatura e o local de execução.

A reciclagem semi-quente, apesar de ser executada em central, permite reciclar a totalidade do material fresado a uma temperatura de 90°C, inferior às técnicas a quente. Tem ainda a vantagem de após ser fabricada, poder ser armazenada durante pelo menos 24h desde que a temperatura se mantenha acima dos 60°C, o que permite melhor qualidade em condições meteorológicas adversas e no caso de atrasos na sua colocação em obra.

A reciclagem a quente é uma técnica bastante dispendiosa e poluente, devido aos consumos energéticos quer no transporte até central ou no aquecimento das misturas em central ou “in situ”. A reabilitação “in situ” a quente necessita de equipamento muito específico para o aquecimento, fresagem e mistura, sendo que o aquecimento tem um elevado custo energético e poluidor.

### **3.2.5.1. Reciclagem “in situ”, a frio, com cimento**

A reciclagem com cimento é uma técnica há muito tempo utilizada na reabilitação de pavimentos rodoviários flexíveis, por se tratar da técnica mais económica e especialmente indicada para pavimentos com grande espessura de camadas granulares e pequena espessura de camadas betuminosas, situação muito comum em pavimentos antigos.

Esta técnica cria uma camada de base tipo agregado de granulometria extensa estabilizado com cimento (AGEC), a partir dos materiais fresados e da adição de cimento, transformando o pavimento em semirrígido com uma elevada capacidade resistente.

A camada resultante da reciclagem com cimento não é apta a receber as ações do tráfego, pelo que será sempre necessária a construção de uma camada betuminosa de desgaste sobre a camada reciclada.

Em tempos o cimento era manualmente espalhado sobre o pavimento a intervir, a uma relação de “x” número de sacos de cimento por área de pavimento, no entanto atualmente já existem equipamentos que permitem fazer a distribuição de acordo com as especificações do estudo de projeto, podendo ainda optar-se por equipamento de espalhamento a seco ou em calda.

O “comboio” deste processo pode ter a seguinte ordem, em função sistema de espalhamento do cimento, a seco ou calda, respetivamente:

- Espalhador de cimento, camião cisterna, recicladora, cilindro de pneus/rolo, motoniveladora e cilindro de pneus.
- Distribuidor de calda, recicladora, cilindro de pneus/rolo, motoniveladora e cilindro de pneus.

Em França propõem-se o dimensionamento de camadas recicladas com cimento que compreenda os seus módulos de deformabilidade ao fim de um ano entre 11000 e 20000 MPa, valores estes algo elevados comparados com os utilizados noutros países. (Jofré, 2003).

É necessário ser algo conservador a este aspeto, uma vez que a rigidez obtida na camada reciclada está dependente das propriedades do material fresado no pavimento, das propriedades e quantidade do cimento adicionado, da maquinaria utilizada e ainda do tempo de cura da mistura. Pelo que em algumas situações práticas se verificam módulos de deformabilidade inferiores, definindo-se assim uma gama possível de módulos de deformabilidade de 5000 MPa a 20000 MPa.

Existe a vantagem de que os módulos de deformabilidade da mistura reciclada com cimento não são suscetíveis às variações de temperatura, ou seja, o seu módulo de deformabilidade é constante a altas ou baixas temperaturas.

No entanto em intervenções de reciclagem com cimento onde a camada reciclada é concebida para ter um módulo de deformabilidade bastante elevado (> 10000 MPa) é aconselhada a aplicação de uma técnica retardadora da propagação de fendas entre a camada reciclada e as camadas betuminosas novas. Isto porque com a elevada rigidez da camada reciclada e a sua propensão à retração, esta tende a fendilhar e caso não haja meio de impedir a propagação das fendas, elas irão refletir-se na mistura betuminosa e condicionar o seu estado de qualidade. Por isso aconselha-se a aplicação de uma camada de SAMI, geotêxtil impregnado em betume ou a utilização de BMB na camada de reforço.

### **3.2.5.2. Reciclagem “in situ”, a frio, com emulsão betuminosa**

Esta técnica caracteriza-se pelo ligante utilizado, a emulsão betuminosa, e tem como principal restrição o elevado tempo de cura e suscetibilidade às condições meteorológicas.

A mistura efetuada por uma fresa-misturadora e é composta pelo material fresado, emulsão betuminosa e água. Caso se considere necessário corrigir a granulometria, é previamente espalhado sobre o pavimento o agregado de correção, ver figura 3.5.

A reciclagem a frio com emulsão betuminosa não permite grandes espessuras da camada reciclada, uma vez que o processo de cura implica a evaporação da água, o que se torna mais moroso com o aumento da profundidade.

O tempo de cura pode estar compreendido entre as duas a três semanas, durante o qual não é permitido executar outras camadas (Nunes, 2008).

Por este motivo esta técnica é utilizada para a reabilitação das camadas betuminosas superficiais, devendo ser tida especial atenção ao clima em que as operações são executadas, necessitando de um clima quente e pouco húmido.

Este tipo de reciclagem visa sobretudo recuperar camadas de desgaste envelhecidas em pavimentos com valor estrutural adequado às condições de tráfego, abrangendo regra geral a espessura da camada de desgaste, acrescida de 3cm de forma a englobar a interface com a camada adjacente, que seria seriamente afetada pela violenta operação de fresagem. Não excedendo a espessura total de 15cm (Santos et al., 2008).

A reciclagem “in situ” a frio com emulsão betuminosa permite alcançar módulos de deformabilidade de 2000 a 5000 MPa em função dos materiais fresados incluídos na mistura, da quantidade de emulsão betuminosa utilizada e da temperatura da mistura (Cunha, 2010).

Esta técnica, relativamente à reciclagem com cimento, apresenta a desvantagem do elevado tempo de cura, maior custo do ligante e limitação na espessura de reciclagem do pavimento. No entanto, apresenta maior flexibilidade e não exige a execução de uma nova camada betuminosa de reforço apesar de ser recomendada.

Caso se pretenda manter a cota inicial do pavimento, pode ser retirada uma parte do material fresado, equivalente à espessura da camada de desgaste. Isto permite que o processo seja utilizado em faixas com várias vias, sem que o nível do pavimento seja alterado e sem impedir a circulação dos utilizadores pelas outras vias, ideal para aplicar em reabilitações de vias da direita ou vias de lentos (Branco et al., 2008).

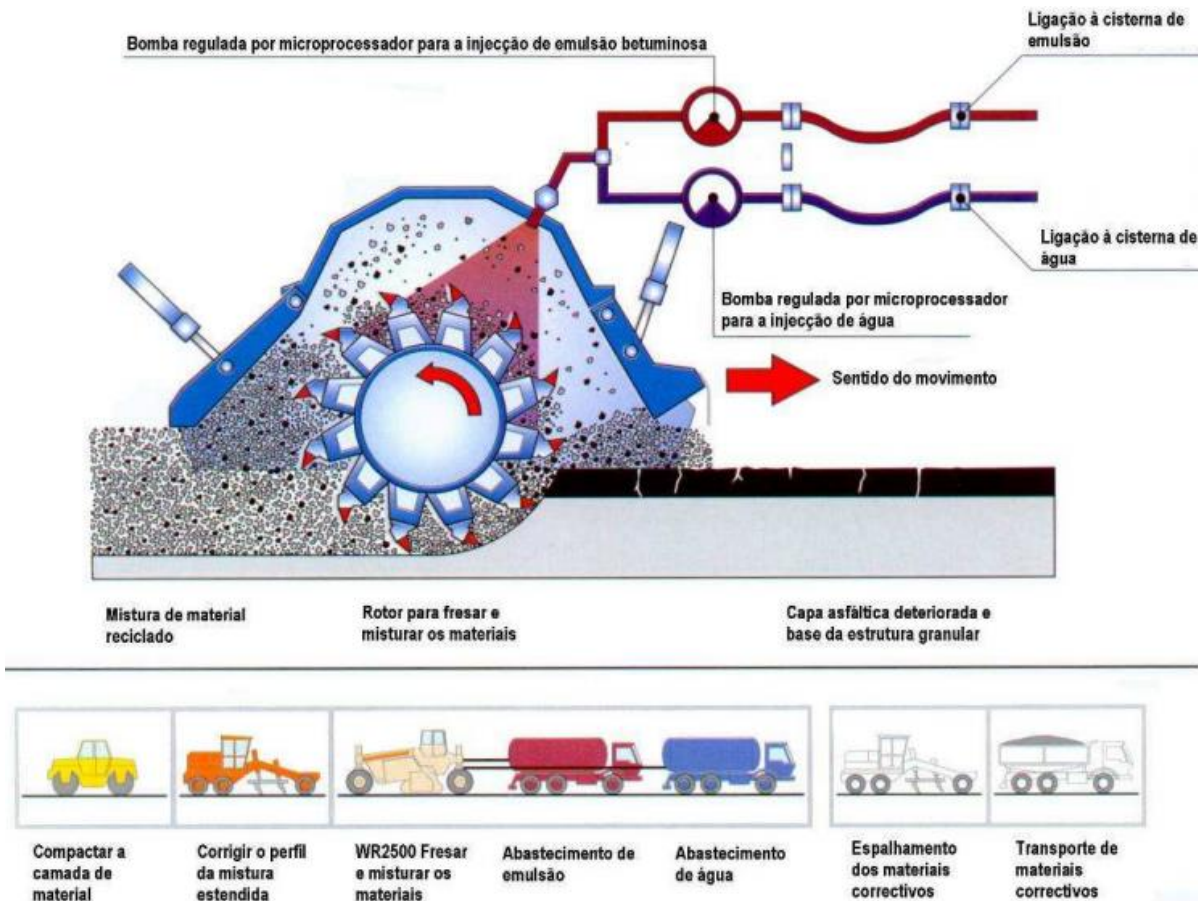


Figura 3.7 - Esquema da operação de reciclagem "in situ" a frio com emulsão betuminosa, esquema de misturadora e "comboio" de intervenção (Batista, 2009 - imagens Wirtgen)

### 3.2.5.3. Reciclagem “in situ”, a frio, com betume espuma

Este procedimento é muito parecido ao anterior, sendo que este obtém um processo de cura muito mais rápido que o anterior.

O betume espuma é formado pela expansão do betume, provocada pela adição de água fria (1% a 2%) ao betume quente (160°C a 180°C), este processo acontece num conjunto de camaras de expansão presentes numa barra de aspersão que ocupa toda a largura da recicladora de modo a processar a quantidade de betume espuma adequado à mistura, ver figura 3.6.

O betume expande em aproximadamente 15 vezes o volume inicial, e reduz novamente para metade do valor em aproximadamente 25 segundos, obrigando a que a mistura com os agregados seja imediata e por isso efetuada junto do rotor de fresagem.

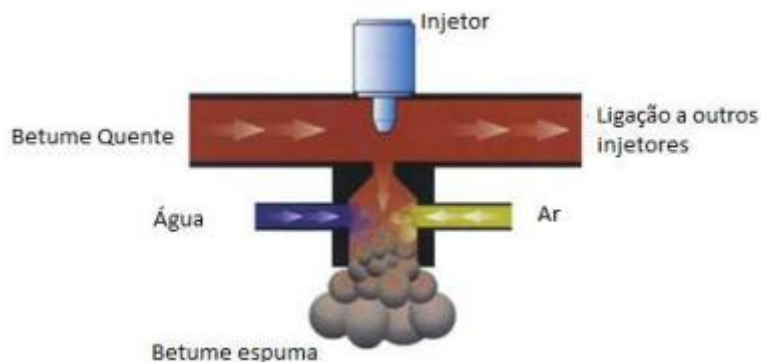


Figura 3.8 – Câmara de expansão para obtenção do betume espuma (adaptado de Wirtgen, 2001).

O betume espuma torna-se extremamente adequado à mistura a frio, pois este adquire uma viscosidade muito reduzida, próxima da viscosidade da água, o que permite o total envolvimento dos agregados e como a quantidade de água é pequena, evapora rapidamente e permite a rápida fixação ao agregado (Merighi, 2003).

O esquema de “comboio” é idêntico ao do processo de reciclagem com emulsão betuminosa, sendo que o camião cisterna de emulsão betuminosa é neste caso substituído pelo camião cisterna de betume, ver figura 3.7.

As principais vantagens da reciclagem com betume espuma são (Merighi, 2003):

- facilidade de aplicação;
- baixa permeabilidade;
- obtenção de uma camada flexível com elevada resistência à fadiga;
- permite reciclar todas as camadas do pavimento, betuminosas e granulares;
- permite reciclar camadas tipicamente granulares e torná-las em camada de sub-base.

Para que a cura seja completa, recomenda-se que apenas seja aplicado o revestimento betuminoso após 15 dias da reciclagem, para que haja uma evaporação completa da água utilizada na execução da camada. Não sendo possível, pode optar-se por aplicar um revestimento superficial duplo e assim permitir a abertura imediata ao tráfego (Ribeiro, 2003).

O módulo de deformabilidade das misturas recicladas com betume espuma, varia em função com a quantidade de betume e com os agregados utilizados (Ribeiro, 2003):

- 2500 a 5000 MPa, para misturas com reciclado e agregado britados (mistura 50/50).
- 3000 a 6000 MPa, para misturas de agregados britados.
- 2000 a 4000 MPa, para misturas de agregados naturais (IP<10, CBR>30).

### 3.2.5.4. Reciclagem “in situ”, a quente, com betume/rejuvenescedor

A reciclagem “in situ” a quente é um processo em muito diferente dos anteriores, em termos de temperatura, de ligantes e dos próprios equipamentos envolvidos no processo de execução.

Esta técnica de reciclagem pode ter dois processos que intervêm em diferentes características do pavimento: termorreperfilamento e termorregeneração.

O termorreperfilamento consiste apenas em aquecer o pavimento existente e em seguida compactá-lo, este processo não necessita da adição de novos materiais ou misturas, tendo apenas como função o fecho das fendas e a regularização do perfil.

A termorregeneração consiste no aquecimento do pavimento existente, seguida da sua escarificação, recomposição e compactação, ver figura 3.9. Permite melhorar as características funcionais do pavimento e, com a recomposição, aumentar a sua capacidade estrutural, no entanto não é aplicável em pavimentos com problemas estruturais (que apresentem deformações).

Inicialmente esta técnica necessita de que o pavimento a interencionar seja aquecido e fresado de modo a ficar compatível com a mistura betuminosa nova. Isto envolve equipamentos muito específicos, dispendiosos e de grandes dimensões, tais como: pré-aquecedores, aquecedor-fresados e aquecedor-misturador.

O aquecimento funciona através de uma elevado número de jatos de ar quente a uma temperatura de cerca de 600°C sob elevada pressão, com atuação simultânea de um sistema de aspiração que permite recuperar o ar já aquecido e mantê-lo em circulação, poupando recursos no seu aquecimento. Mesmo assim os custos de aquecimentos são muito avultados, principalmente em condições climatéricas desfavoráveis.



Figura 3.9 - Esquema do “comboio” de intervenção no processo de reciclagem "in situ" a quente com betume/rejuvenescedor (Martinho, 2005).

A mistura betuminosa nova é adicionada numa relação de 40 a 50 kg/m<sup>2</sup> de pavimento interencionado. Sendo que a incorporação da nova mistura corretiva está limitada a 30% do material da mistura escarificada.

No caso se pretenda manter a mesma cota de pavimento, é necessário rejeitar uma quantidade de material fresado semelhante à quantidade da nova mistura corretiva, ideal para a reabilitação faixas de rodagem com múltiplas vias, em que apenas se pretenda reabilitar uma das vias (normalmente a via da direita ou via de lentos).

A utilização da reciclagem “in situ” a quente está limitada a profundidades máximas da ordem dos 7 cm, uma vez que para se conseguirem temperaturas suficientemente elevadas em profundidade existiria um aquecimento excessivo na superfície, que teria como consequência o envelhecimento do betume, precisamente o contrário daquilo que se pretende com a utilização deste tipo de reciclagem (Cunha, 2010).

Tendo em consideração a necessidade de equipamentos tão específico e as suas dimensões, esta técnica apenas se torna viável em países com grandes redes rodoviárias e com largura de faixa considerável, para não perturbar em demasia o tráfego rodoviário. As características do equipamento não permitem efetuar traçados sinuosos nem evitar obstáculos do pavimento.

Uma das principais condicionantes do processo de reciclagem “in situ” a quente é a grande quantidade de combustíveis utilizados para o aquecimento do pavimento e misturas, que provocam a libertação de substâncias nocivas para a atmosfera.

#### **3.2.5.5. Reciclagem em central, a frio, com emulsão betuminosa ou betume espuma**

A reciclagem em central a frio com emulsão betuminosa apenas difere da reciclagem em central a frio com betume espuma, no que diz respeito ao ligante.

O pavimento a intervir é fresado com carregamento para um camião transportador (como indicado no subcapítulo 3.2.4), em seguida o material fresado é transportado até uma central de produção de betuminoso onde este é tratado e utilizado no fabrico à temperatura ambiente da mistura reciclada, sendo depois novamente transportado para a obra, onde é aplicado como um pavimento novo, através da pavimentadora e compactado por um conjunto de cilindros de rolos e pneus.

Ao contrário do que acontece nos processos a frio com estes ligantes, em central a mistura fresada não pode ser completamente incorporada no fabrico da nova mistura. A incorporação de materiais fresados em misturas recicladas em central a frio está limitada a 50% para centrais contínuas e 30% para centrais descontínuas (Gomes, 2005).

A sua composição granulométrica, que originalmente pode ser muito variável, é corrigida com a adição de novos agregados britados ou naturais que aumentarão a capacidade resistente da mistura, com valores idênticos aos indicados nos subcapítulos 3.2.5.2 e 3.2.5.3, respetivamente correspondentes à utilização do ligante de emulsão betuminosa e de betume espuma.

O facto de a mistura ser produzida em central não permite contornar a suscetibilidade que a mistura reciclada a frio com emulsão betuminosa tem em relação à ocorrência de precipitação durante o seu processo de cura em obra.

Pode se concluir, que em central existe maior controlo na qualidade da mistura reciclada final, nomeadamente no processo de adição do ligante, no entanto deve-se ponderar em função dos custos de transporte entre a obra e a central.

Relembra-se que a utilização de misturas recicladas em central a frio, com adição de emulsão betuminosa ou betume espuma, pode ser aplicada na construção de pavimentos novos ou na construção dos reforços em mistura betuminosa, sem que para isso seja necessário transportar material fresado da própria obra. Isto porque a central pode incorporar material fresado que exista em armazenamento e que seja proveniente de outras obras de reabilitação onde se utilizou a fresagem.

#### **3.2.5.6. Reciclagem em central, semi-quente, com emulsão betuminosa**

Tal como acontece com os processos de reciclagem em central a frio, este processo comporta a necessidade de o pavimento ser fresado e o material resultante ser transportado até à central.

No entanto a reciclagem semi-quente permite aproveitar todo o material fresado, sendo apenas necessário adicionar novo material para corrigir a granulometria da mistura.

A reciclagem semi-quente é fabricada a uma temperatura de 90°C, inferior às técnicas a quente que incorpora uma temperatura na ordem dos 150°C. O fabrico da mistura à temperatura de 90°C permite diminuir a viscosidade da emulsão betuminosa para que esta cubra a totalidade dos agregados e lhes confira uma elevada adesividade.

Tem ainda a vantagem de após ser fabricada, a mistura poder ser armazenada e compactada num período de pelo menos 24 horas desde que a temperatura se mantenha acima dos 60°C. O que permite melhorar a qualidade em condições meteorológicas adversas e contornar casos de atraso na sua colocação em obra.

O processo é finalizado com o transporte da mistura reciclada para a obra, onde é aplicada por meio de uma pavimentadora e compactada por cilindros de pneus e rolos.

Na escolha do processo de reciclagem semi-quente com emulsão betuminosa deve ser tido em consideração o gasto implícito pelo transporte do material fresado para a central e da mistura reciclada para a obra.

Pode dizer-se que a reciclagem em central semi-quente é uma solução intermédia entre a reciclagem em central e frio e quente.

Relativamente às misturas recicladas em central a frio, a reciclagem semi-quente com emulsão betuminosa permite obter misturas com reciclagem total do material fresado e com qualidade e fiabilidade controlada, maior folga temporal para a sua aplicação em obra e melhor qualidade em condições meteorológicas adversas, pecando pelo superior custo de fabrico devido ao aquecimento da mistura.

Comparativamente às misturas recicladas a quente, o custo da técnica semi-quente é inferior e permite reciclar a totalidade do material fresado, no entanto a sua qualidade também é naturalmente inferior à da técnica a quente.

### **3.2.5.7. Reciclagem em central, a quente, com betume**

O processo de reciclagem a quente apenas difere das anteriores reciclagens em central, pela temperatura e ligante utilizado. E em relação às misturas betuminosas novas produzidas em central, apenas difere pela componente da fresagem, transporte do material fresado até à central e pela utilização de materiais reciclados.

A técnica de reciclagem em central, a quente, com betume, consiste no fabrico de uma nova mistura betuminosa a quente, incorporando os materiais fresados, na própria obra ou noutras obras, de modo a conseguir bons resultados técnico-económicos e ambientais. A qualidade de uma mistura betuminosa com materiais reciclados deve ser comparada à das realizadas com materiais novos (Branco et al., 2008).

As misturas obtidas da reciclagem a quente apresentam desempenhos aproximadamente equivalentes às misturas novas, produzidas em central a quente. Portanto podem ser utilizadas nos diversos fins das misturas betuminosas, como camada de base, regularização e desgaste. Podendo mesmo, ser aplicadas como reforço ou camada de desgaste de outro processo de reabilitação incluindo a reciclagem por outras técnicas.

O processo de reciclagem em central fixa a quente incorpora as seguintes fases (Pereira & Miranda, 1999):

- recuperação por fresagem do material do pavimento degradado;
- armazenamento e preparação do material recuperado, devendo diminuir-se o tamanho do material por fragmentação e homogeneizá-lo;
- fabrico da nova mistura betuminosa utilizando o material recuperado;
- colocação em obra da mistura betuminosa obtida, sendo esta colocação feita pelos métodos e com os equipamentos tradicionais de aplicação de misturas betuminosas quentes (pavimentadora, cilindros de rolo e cilindros de pneus).

A técnica de reciclagem em central a quente, não permite incorporar a totalidade da mistura fresada, sendo limitada em função do tipo de central, sistemas que a constituem e qualidade do material fresado. As centrais contínuas podem atingir uma taxa de reciclagem de 50% e as centrais descontínuas 70% (Gomes, 2005).

A taxa de reciclagem em central contínua a quente pode ser aumentada até 70% se o material fresado for previamente aquecido a 90°C.

### 3.2.5.8. Reciclagem “in situ”, a quente, com betume

A reciclagem a quente pode ser realizada “in situ” através de uma central móvel de reciclagem a quente, ver figura 3.10.

Esta central incorpora um processo em “comboio”, que se inicia com a fresagem, seguida da colocação do material fresado numa tremonha doseadora, onde o material fresado é filtrado e os agregados novos para a correção da granulometria da mistura são adicionados. Segue-se secagem, aquecimento e mistura com o betume. Por último a nova mistura reciclada é despejada na pavimentadora e compactada pelos cilindros.

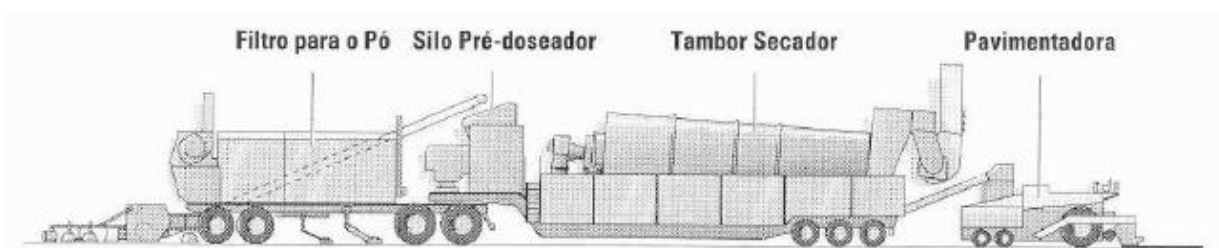


Figura 3.10 - Central móvel de reciclagem a quente (Pereira & Miranda, 1999 – EAPA).

Esta técnica permite taxas de reciclagem de 90%, no entanto e como é natural, a qualidade da mistura obtida é inferior à das misturas realizadas em central fixa, uma vez que o tratamento e dosagens dos materiais não podem ter o mesmo controlo que em central fixa. De qualquer forma, supera a qualidade das misturas recicladas a frio.

Esta técnica exige ser bem estudada e executada, principalmente para taxas de reciclagem superiores a 45% em que se pretende usar o material reciclado como camada de desgaste. Sendo por isso, preferencialmente utilizada em camada de regularização.

Um dos contras desta técnica prende-se pela falta de controlo da emissão de gases e poeiras do tambor para o meio ambiente, uma vez que a central móvel não comporta os equipamentos de purificação do ar como em central fixa.

Para um aproveitamento total do material fresado, pode-se combinar a reciclagem “in situ” a quente com a reciclagem em central a quente, ambas utilizando o betume como ligante, obtendo assim duas misturas de boa qualidade sem desperdício de material.

Para isso sugere-se que a reciclagem “in situ” utilize uma determinada percentagem dos materiais fresados ( $\leq 60\%$ ) para a realização de uma camada de regularização e a restante parte do material fresado seja enviado para central fixa ( $\geq 40\%$ ) onde se fabrica a camada de desgaste.

A combinação destas duas técnicas de reciclagem apresenta as seguintes vantagens:

- total utilização dos materiais fresados, sem necessidade de armazenamento prolongado ou vazadouro;
- redução no número de viagens entre central e obra, uma vez que a quantidade de material fresado e mistura nova a transportar é menor;
- otimização da qualidade da mistura reciclada “in situ” e em central;
- eliminação das patologias do pavimento;
- camadas betuminosas com elevada capacidade suporte e resistência à fadiga;
- pavimento mais duradouro, com as características semelhantes a um pavimento novo.

## 4. Análise de Soluções de Reabilitação sobre Pavimentos Fendilhados

No presente capítulo apresenta-se um breve esclarecimento sobre o fenómeno da reflexão de fendas em reforços de pavimentos, são dadas a conhecer as características das soluções que se pretende estudar e são expostos os principais parâmetros considerados na construção dum modelo numérico baseado no método dos elementos finitos que permita traduzir o comportamento mecânico das respetivas soluções de reabilitação a estudar.

De modo a se poder obter as devidas conclusões, relativamente ao desempenho das soluções de reabilitação, é apresentada a metodologia de tratamento dos dados obtidos através das simulações efetuadas pelo modelo numérico e as expressões de cálculo que permitiram determinar a vida previsível para cada solução de reabilitação estudada, fazendo-se a apresentação e análise dos resultados obtidos.

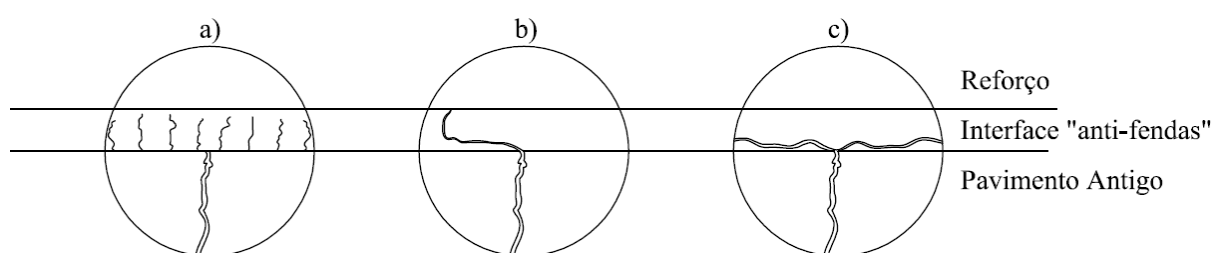
### 4.1. Reflexão de Fendas

Um dos principais mecanismos de ruína dos reforços de pavimento, quando aplicados sobre pavimentos fendilhados, é expresso pela reflexão de fendas, ou seja, um processo de transmissão de fendas do pavimento antigo para o reforço. A reflexão de fendas inicia-se na base do reforço, na zona do rebordo das fendas em interface entre o reforço e a antiga camada fendilhada. Uma vez iniciado o fendilhamento da base do reforço, as fendas progredem até à superfície do pavimento, reduzindo progressivamente a capacidade resistente do reforço.

O início e progressão do fendilhamento no reforço está dependente de um conjunto de fatores, tais como:

- Tráfego rodoviário: as ações do tráfego rodoviário representam o principal fator ativo de degradação, as tensões geradas pela repetitiva passagem do tráfego induzem um excesso de tensões de tração no reforço em torno da fenda, levando ao fendilhamento do reforço quer por ser excedido a tensão de tração admissível quer por fadiga. O efeito é tanto mais agravado quanto mais lento e pesado for o tráfego rodoviário, bem como, quanto mais desfavoráveis forem os fatores seguintes.
- Variações térmicas: as variações térmicas provocam ciclos de compressão e tração que podem levar o reforço à rotura por fadiga térmica, ou numa situação de rápida redução de temperatura por ser excedida a máxima tensão de tração admissível.

- Características da mistura betuminosa do reforço: as diferentes características das misturas betuminosas determinam a sua suscetibilidade ao fendilhamento. Misturas tradicionais com elevada rigidez têm uma forte tendência a fendilhar, enquanto misturas modificadas com polímeros e fibras têm uma maior resistência ao fendilhamento e menor suscetibilidade às variações térmicas.
- Capacidade de suporte das camadas inferiores: a capacidade de suporte das camadas inferiores tem uma grande influência na propagação de fendas, uma vez que os assentamentos na zona das fendas podem induzir esforços de corte ou um acréscimo de esforços de tração por flexão excessiva do reforço.
- Características da interface entre o reforço e o pavimento: a interface entre as misturas betuminosas determina a forma de atuação do pavimento, assim como o modo de progressão das fendas. A realização de um reforço sem colagem ao pavimento antigo, representa uma atuação independente entre as duas camadas, sendo que o reforço ficará sujeito a elevados esforços de tração resultantes da solicitação do tráfego rodoviário. A colagem direta entre reforço e pavimento antigo, compreende uma atuação em conjunto quando o pavimento é solicitado, os esforços de tração podem ser inferiores, mas existe uma forte tendência para que as fendas progridam para o novo reforço. A colagem entre o reforço e o pavimento antigo através de uma interface “anti-fendas” proporciona um semelhante comportamento em conjunto, no entanto a camada “anti-fendas” permite retardar a propagação das fendas, através da colocação de SAMI, geotêxtil impregnado em betume, grelhas ou armaduras, como se apresenta na figura 4.1.



- Subdivisão da fenda em inúmeras micro-fendas.
- Desvio da trajetória da fenda.
- Reflexão horizontal da fenda.

*Figura 4.1 - Modo de atuação das interfaces "anti-fendas".*

Quando as fendas atingem a superfície do pavimento, desencadeia-se um processo acelerado da degradação do pavimento, com o progressivo avanço das fendas, em aspeto e extensão (as fendas lineares evoluem para ramificadas e de seguida para entrelaçadas, assim como, o

fendilhamento isolado progride para múltiplo e “pele de crocodilo”), e permitindo a infiltrações de água para as camadas inferiores.

A reflexão de fendas é uma grande condicionante na escolha da técnica de reabilitação e no dimensionamento dos reforços. Dado que um reforço que não tenha em consideração esta problemática detém de uma elevada probabilidade de vir a sofrer uma degradação prematura e uma redução da sua vida útil prevista.

As soluções para evitar a degradação prematura dos reforços passam pelo aumento da espessura do reforço, aplicação de uma técnica anti propagação de fendas, ou eliminação das fendas por fresagem ou reciclagem.

#### 4.2. Soluções de Reabilitação

As soluções estudadas já foram referenciadas no capítulo anterior, relativamente às técnicas de reabilitação estrutural. De entre as quais é possível formar dois grupos de atuação distintos, compostos pelas técnicas que permitem eliminar ou retardar a reflexão das fendas.

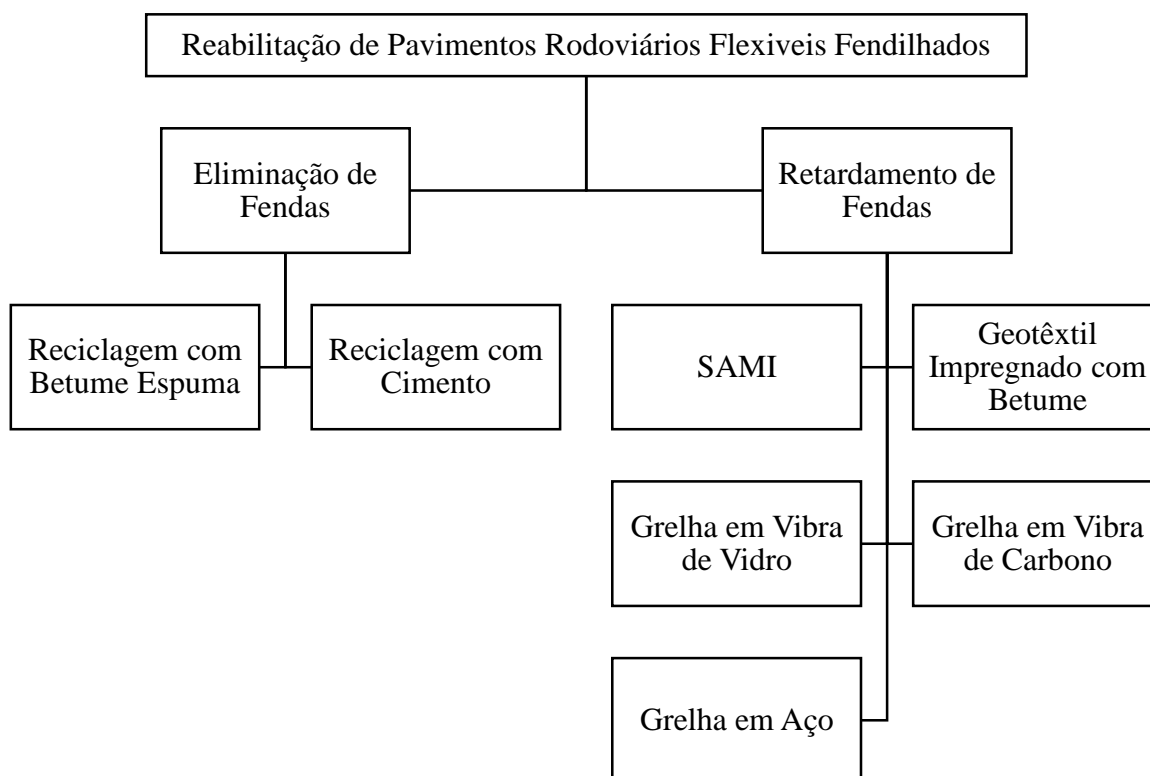


Figura 4.2 – Soluções de reabilitação estrutural estudadas para um pavimento flexível fendilhado.

As técnicas de eliminação de fendas, no que diz respeito ao seu comportamento mecânico, não permitem distinguir entre fabrico das misturas “in situ” ou em central. Dado que os valores da

componente mecânica podem admitir comportamentos idênticos para misturas fabricadas “in situ” ou em central, embora a sua qualidade de fabrico e aplicação em obra influencie esses mesmos valores.

Importa salientar que as técnicas de fresagem e reciclagem, apesar de apresentarem procedimentos de execução diferentes, podem no entanto permitir o mesmo desempenho mecânico. Estando a sua distinção limitada à escolha dos ligantes, por não serem compatíveis com a utilização em camadas de base de elevada espessura. Como é o caso do betume e das emulsões betuminosas que não comportam espessuras superiores a 15cm, pelo que se optou por estudar os processos de reabilitação estrutural, passíveis de apresentar uma estrutura que os permita relacionar e comparar entre si, como apresentado pela figura 4.2.

Para se poder estudar o comportamento das soluções de reabilitação com utilização de técnicas retardadoras da propagação de fendas (interface “anti-fendas”), adotaram-se as características das camadas constituintes do pavimento apresentadas na tabela 4.1.

*Tabela 4.1 - Propriedades das camadas constituintes dos pavimentos com utilização de técnicas retardadoras da propagação de fendas.*

	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Módulo de Deformabilidade (MPa)</b>
<b>Mistura Betuminosa de Reforço</b>	25, 75 e 125	2000, 4000 e 10000
<b>Técnica retardadora de fendas</b>	<i>Tabela 4.2</i>	
<b>Pavimento Fendilhado</b>	75 e 150	2000 e 4000
<b>Base</b>	100	150
<b>Sub-Base</b>	150	100
<b>Fundação</b>	-	50

As espessuras da camada de mistura betuminosa de reforço pretendem representar uma gama de valores usuais na reabilitação de pavimentos rodoviários flexíveis e os respetivos módulos de deformabilidade, representam uma gama de valores possíveis de observar na região de Bragança sob determinadas condições de temperatura (Minhoto, 2005).

O mesmo acontece com o pavimento fendilhado, adotando-se espessuras e módulos de deformabilidade representativos de uma gama de valores passíveis de encontrar em pavimentos degradados existentes.

De modo a que as variações no comportamento das diferentes soluções de reabilitação sejam o mais perceptíveis possível, adotaram-se os valores mínimos admissíveis para as camadas granulares e solo de fundação. De entre uma gama de valores usuais em camadas granulares e solo de fundação, indicados pelo Manual de Dimensionamento do Reforço de Pavimentos Flexíveis (MDRPF) da JAE, adotaram-se os mínimos previstos.

Uma vez definidos os módulos de deformabilidade das camadas não-ligadas, são definidas as respetivas espessuras por aproximação dos valores obtidos pelas seguintes expressões, que permite relacionar os módulos de deformabilidade de duas camadas não-ligadas contíguas:

$$E_{base} = k_{base} \cdot E_{sub-base} \qquad E_{sub-base} = k_{sub-base} \cdot E_{fundação} \qquad (4.1)$$

$$k_{base} = 0,2 \cdot h_{base}^{0,45} \qquad k_{sub-base} = 0,2 \cdot h_{sub-base}^{0,45} \qquad (4.2)$$

As propriedades das técnicas retardadoras da propagação de fendas já foram referenciadas nos respetivos subcapítulos anteriores, sendo agora agrupadas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Propriedades das técnicas retardadoras da propagação de fendas.

<b>Soft SAMI</b>	Espessura		10 e 20 mm
	Módulo de Deformabilidade (E)		Ex = Ey = 10 MPa Ez = 80 MPa
	Módulo de Distorção (G)		Gx = Gy = 4.17 MPa Gz = 33.33 MPa
<b>Hard SAMI</b>	Espessura		10 e 20 mm
	Módulo de Deformabilidade (E)		Ex = Ey = 35 MPa Ez = 100 MPa
	Módulo de Distorção (G)		Gx = Gy = 14.58 MPa Gz = 41.67 MPa
<b>Geotêxtil Impregnado com Betume</b>	Espessura		2 mm e 4 mm
	Módulo de Deformabilidade (E)		Ex= Ey= 0.9 MPa Ez= 9 MPa
	Módulo de Distorção (G)		Gx= Gy= 0.38 MPa Gz= 3.8MPa
<b>Aço</b>	Área equivalente	AQ30	2,356 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>
		AQ38	3,780 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>
		AQ50	6,545 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>
	Módulo de Deformabilidade		210 000 MPa
<b>Fibra de Vidro</b>	Área equivalente		6,250 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>
	Módulo de Deformabilidade		47 000 MPa
<b>Fibra de Carbono</b>	Área equivalente		6,250 x 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup>
	Módulo de Deformabilidade		160 000 MPa

No que diz respeito à eliminação de fendas, considerou-se a reciclagem de toda a espessura betuminosa fendilhada e camada de base granular, fabricando uma camada reciclada com espessura equivalente às eliminadas. Isto para que seja possível manter uma estrutura semelhante à obtida com as técnicas de retardamento da propagação de fendas e para que ambas possam ser comparadas sem alteração dessa mesma estrutura.

Esta imposição de reciclagem, limita à utilização de dois tipos de ligante, emulsão betuminosa ou cimento, e dá preferência a um procedimento de reciclagem “in situ” para comportar a reciclagem total do material fresado.

As propriedades das camadas que compõem as soluções de reabilitação com eliminação de fendas são apresentadas na tabela 4.3.

*Tabela 4.3 - Propriedades das camadas constituintes dos pavimentos com utilização de técnicas eliminadoras de fendas.*

		<b>Espessura (mm)</b>	<b>Módulo de Deformabilidade (MPa)</b>
<b>Mistura Betuminosa de Reforço</b>		25, 75 e 125	2000, 4000 e 10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Emulsão betuminosa</b>	175 e 250	2500 e 5000
	<b>Cimento</b>		5000, 10000 e 15000
<b>Sub-Base</b>		150	100
<b>Fundação</b>		-	50

A caracterização do comportamento mecânico das componentes do pavimento reabilitado, compreende a definição dos seguintes coeficientes de Poisson:

- Fundação: 0,35
- Materiais Granulares: 0,30
- Materiais Betuminosos: 0,35
- Soft SAMI: 0,20
- Hard SAMI: 0,30
- Geotêxtil impregnado com betume: 0,19
- Aço: 0,3
- Fibra de vidro/carbono: 0,35
- Reciclagem com betume espuma/cimento: 0.30

O módulo de deformabilidade de 5000 MPa, da mistura reciclada com betume espuma e da mistura reciclada com cimento, ditam que independentemente do ligante o seu comportamento estrutural obtido na simulação será idêntico, pelo que é possível agrupar estes dois procedimentos de reciclagem num único modelo de simulação.

A combinação dos referidos parâmetros de caracterização das camadas do pavimento reabilitado, em termos de espessuras, módulos de deformabilidade e técnicas utilizadas, resulta num conjunto de 432 situações de reabilitação com técnicas retardadoras da propagação de fendas e 72 situações de reabilitação com técnicas de eliminação de fendas.

Todas as situações estudadas e os respetivos parâmetros adotados, podem ser consultados no anexo A.1, onde são cada situação é representada pelas letras de *a* a *g*, de acordo com a seguinte denominação:

- a. Reforço com Mistura Betuminosa
- b. SAMI + Reforço com Mistura Betuminosa
- c. Geotêxtil Impregnado com Betume + Reforço com Mistura Betuminosa
- d. Grelha em Aço + Reforço com Mistura Betuminosa
- e. Grelha em Fibra de Vidro + Reforço com Mistura Betuminosa
- f. Grelha em Fibra de Carbono + Reforço com Mistura Betuminosa
- g. Reciclagem com Betume Espuma ou Cimento + Reforço com Mistura Betuminosa

### **4.3. Modelo Numérico**

A simulação das soluções de reabilitação foi realizada através de uma análise numérica com base no método dos elementos finitos recorrendo ao software ANSYS®.

É possível atribuir diferentes malhas regulares de fendilhamento ao referido modelo numérico, desde a consideração de apenas 1 fendas até à consideração de uma malha de fendilhamento com espaçamento compreendido entre 10 a 90 cm de largura da quadrícula, sendo que das várias situações estudadas se concluiu que o fendilhamento que conduz aos piores resultados de desempenho do pavimento reforçado é a malha com 10cm de espaçamento entre fendas e abertura das fendas com 3mm (Freitas, 2012).

Por questões de performance do modelo numérico adotado evitaram-se malhas de fendilhamento inferiores a 10cm. Por um lado, tornaria o modelo demasiado “pesado” e por outro lado, em termos práticos, um pavimento com tal nível de fendilhamento não seria

aconselhável a execução de um reforço estrutural, pelo que se devia optar pela fresagem e possível reciclagem.

Por sua vez, a consideração de um fendilhamento com malha regular de 10cm e abertura de fendas de 3mm é representativo de um pavimento rodoviário severamente degradado, já considerado em estado de ruína ou muito próximo disso.

O modelo utilizado para o desenvolvimento deste trabalho é uma versão tridimensional do modelo numérico apresentado nos estudos de Shatnawi et al. (2011) e utilizado no Trabalho de Projeto de Márcia Freitas (2012), sendo posteriormente aperfeiçoado para utilização no presente trabalho tendo em vista a simulação de SAMI's e de reforços com grelhas ou armaduras. Para a utilização deste modelo no presente trabalho, foi aplicada uma malhagem mais densa na zona representativa das camadas do pavimento, sobretudo nas camadas de interface e reforço, e foi necessário proceder a algumas alterações no âmbito das necessidades específicas das situações estudadas, nomeadamente:

- geometria das camadas (número e espessura de camadas);
- propriedades mecânicas das camadas (módulo de deformabilidade, módulo de distorção e coeficiente de Poisson);
- ajustes no espaçamento da malha dos elementos (de forma a tornar a malha regular e compatível com as camadas consideradas);
- definição dos ficheiros de resultados pretendidos após a resolução da simulação .

#### **4.3.1. Modelo Geométrico**

Na figura 4.3, está representado no plano um pavimento rodoviário flexível, sobre o qual atua um eixo de rodado duplo, cujo contacto dos pneus com o pavimento é representado pelas quatro quadrículas com preenchimento de cor total.

A área de influência de cada rodado (retângulo maior) é definida pela mediatriz entre os dois rodados, sendo depois definida a mesma distância em  $xx$  para cada lado dos rodados. Sendo a distância em  $yy$  definida pela soma da totalidade da distância em  $xx$  para cada lado dos rodados, ou seja, a distância total em  $yy$  corresponde ao dobro da distância total em  $xx$ .

Dada a simetria da área de influência de cada rodado, é possível reduzir a complexidade do modelo ao reduzir essa área a uma, simetricamente representativa, constituída por 25% da área

de influência de um rodado, como se representa na figura 4.3 pelo retângulo menor coberto por uma malha quadricular apertada.

Em profundidade, o modelo geométrico é definido pelo conjunto das camadas que constituem o pavimento, com as espessuras e propriedades mecânicas definidas nas tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, em função de cada situação estudada como indicado no anexo A.1. Sendo a profundidade do solo de fundação constante para qualquer situação estudada. Profundidade essa, definida através dum processo iterativo de convergência, de modo a que o pavimento não fendilhado apresentasse um comportamento idêntico aos modelos correntes que consideram a fundação como uma camada semi-definida e semi-infinita, tendo-se efetuado a referida convergência a partir dos resultados do referido modelo numérico sem fendilhamento executado no software ANSYS® em comparação com os resultados da mesma formulação no software BISAR®.

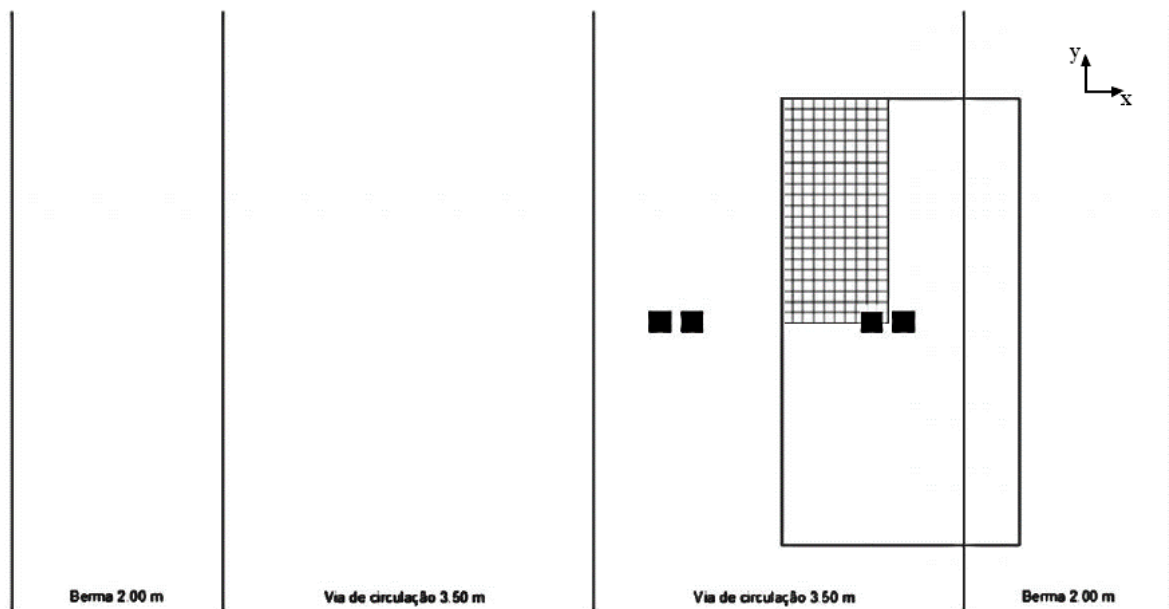


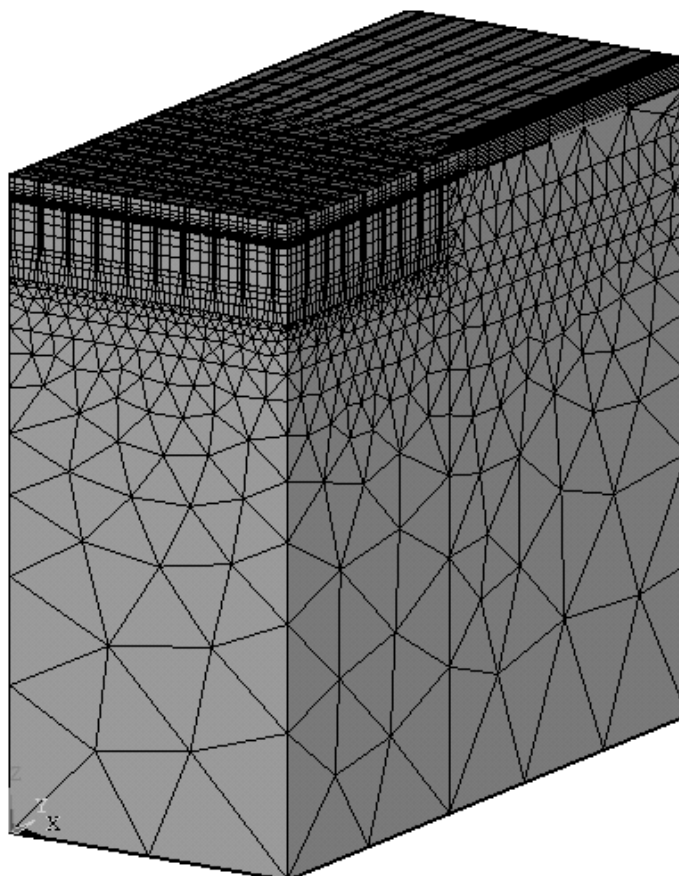
Figura 4.3 - Esquemática da área do pavimento a analisar (adaptado de Freitas, 2012).

#### 4.3.2. Modelo Mecânico - malhagem e elementos

Após a definição do modelo geométrico, o processo de criação do modelo passa para a criação da malha que compõe os elementos. O modelo padrão é formado por dois tipos de malhagem, a malhagem regular e a malhagem livre. A malhagem regular é uma malha criteriosamente definida pelos parâmetros geométricos e pelas disposições de espaçamento da malhagem que se pretendem aplicar ao modelo, tendo em consideração que uma malhagem muito “apertada” (com pouco espaçamento) constitui um modelo mais “pesado” e, até certo ponto, mais rigoroso nos resultados obtidos (uma vez que após um determinado erro considerado desprezável não é

viável a diminuição do espaçamento da malha). A malhagem livre constitui uma forma irregular de preenchimento que é utilizada nas zonas de menor interesse para o modelo e de onde não se pretende retirar quaisquer dados de resultados.

Como é possível observar na figura 4.4, a malhagem regular foi utilizada em todas as camadas betuminosas da zona fendilhada e nas camadas de reforço da zona onde o fendilhamento não tem influência sobre o comportamento do pavimento à solicitação do rodado.



*Figura 4.4 - Aspeto final do modelo em elementos finitos.*

A criação do modelo incorpora três tipos de elementos. O primeiro tipo de elemento, utilizado na modelação da malhagem regular, é um elemento estrutural, elástico, tridimensional de 8 nós (com interpolação linear), com três graus de liberdade por cada nó, designado por SOLID185 no software ANSYS®. O segundo tipo de elemento, utilizado na modelação da malhagem livre, é um elemento estrutural, elástico, tridimensional de 20 nós (com interpolação quadrática), com três graus de liberdade por cada nó, designado por SOLID186 no software ANSYS®. O terceiro tipo de elemento, utilizado na modelação das grelhas/armaduras, é um elemento tridimensional estrutural, do tipo bilinear uniaxial, com comportamento apenas à tração, com 2 nós com três graus de liberdade por cada nó, designado por LINK180 (3D spar element) no software ANSYS®.

Os elementos SOLID185 e SOLID186 permitem a modelação de materiais isotrópicos e ortotrópicos, sendo necessário introduzir os parâmetros que em cada caso os caracterizam, como se indica:

- Materiais ortotrópicos (SAMI e Geotêxtil impregnado com betume): módulo de deformabilidade, coeficiente de Poisson e módulo de distorção;
- Materiais isotrópicos (todos os restantes não incluídos na alínea anterior): módulo de deformabilidade e coeficiente de Poisson.

A modelação das fendas foi realizada de forma a constituir uma malha regular quadrangular com 10cm de espaçamento em cada orientação xx e yy. No modelo em elementos finitos são criadas através da eliminação dos elementos que as constituem, com uma espessura de 3mm e altura total da camada betuminosa existente fendilhada.

Nos modelos representativos da reciclagem, as fendas não são criadas e as camadas do pavimento existente, nomeadamente a camada betuminosa “fendilhada” e camada de base granular, adotam os parâmetros mecânicos da camada reciclada.

Os modelos representativos das técnicas com grelhas necessitam da criação de uma malha formada pelos elementos LINK180, ligada pelos seus nós aos elementos da camada fendilhada e do reforço. Os elementos LINK180 são caracterizados pela introdução do módulo de deformabilidade, coeficiente de Poisson e área da secção.

A malha das grelhas está limitada ao posicionamento regular dos nós das referidas camadas a que liga, pelo que não é possível adaptar à real malha das grelhas de fibras e grelhas de aço, sem que seja alterado todo o modelo. Essa alteração seria possível, no entanto iria tornar o modelo mais “pesado” e implicaria a mesma alteração para todas as restantes situações estudadas, de modo a que os resultados pudessem ser comparados de igual forma.

Deste modo, a solução passa por considerar uma área da secção do elemento LINK180 equivalente à área da secção das grelhas para uma determinada extensão:

- 3 fios da malha formada pelos elementos  $\Leftrightarrow$  1 fio da grelha de aço (10x10cm)
- 3 fios da malha formada pelos elementos  $\Leftrightarrow$  4 fios da grelha de fibras (2,5x2,5cm)

Sendo:

$$A_{\text{fio da grelha de fibras}} = \text{espessura} \times (3 \times \text{espessura}) \quad (4.3)$$

$$A_{\text{fio da grelha de aço}} = \frac{\pi \times r^2}{2} \quad (4.4)$$

Então:

$$A_{\text{equivalente da malha das grelhas de fibras}} = \frac{4 \cdot [\text{espessura} \times (3 \times \text{espessura})]}{3} \quad (4.5)$$

$$A_{\text{equivalente da malha das grelhas de aço}} = \frac{\left(\frac{\pi \times r^2}{2}\right)}{3} \quad (4.6)$$

Os resultados respetivos a cada grelha foram já apresentados na tabela 5.2.

### 4.3.3. Condições Fronteira e Solicitação

Na modelação numérica é necessário estabelecer as condições fronteira, que permitam reproduzir as condições reais de apoio do pavimento, nos limites dos contornos onde termina a criação do modelo, tendo em consideração a continuidade do pavimento e atendendo à simetria considerada na criação do próprio modelo em elementos finitos.

As condições fronteira a aplicar resumem-se à restrição de deslocamentos horizontais e rotações em todos os nós no limite dos contornos do modelo, à exceção dos nós no contorno correspondente à superfície livre do pavimento.

Por último, é aplicada a solicitação ao pavimento correspondente à carga induzida pelo rodado, tendo sempre em consideração a simetria aplicada à criação do modelo.

A carga é aplicada sob a forma de pressão, numa área correspondente a 25% da área de contacto com o pavimento e o rodado duplo, tal como a simetria da área de influência considerada na criação do próprio modelo.

O rodado considerado foi o rodado duplo correspondente a um eixo padrão da Shell de 80kN.

Sabe-se que a área de contacto entre pneus e pavimento é normalmente arredonda e influenciada pela pressão de enchimento dos pneus. No entanto no caso da modelação em elementos finitos, por motivos de compatibilização com os elementos do modelo, tem de ser considerada uma área quadrada com a dimensão permitida pelo espaçamento da malha dos elementos, como se pode verificar pela figura 4.3, o que obriga à compatibilização da pressão aplicada na área quadrada permitida pela malha do modelo em função da pressão aplicada numa área arredondada correspondente ao eixo padrão de 80kN da Shell. Deste modo, a carga aplicada sobre os elementos à superfície do pavimento, que representam o contacto com o pneu, traduz-se pela aplicação de uma pressão de 0,827MPa à face superficial do elemento.

#### 4.4. Procedimento de Simulação

O procedimento de simulação para cada situação de referência segue o fluxograma representado pela figura 4.5. Uma vez que algumas das propostas de reabilitação apresentam uma estrutura semelhante, é possível utilizar o mesmo procedimento de modelação sem necessidade de efetuar alterações significativas nos seguintes 4 grupos de propostas:

- Reforço com Mistura Betuminosa;
- SAMI e Geotêxtil Impregnado com Betume;
- Grelhas em Aço, Grelha em Fibra de Vidro e Grelha em Fibra de Carbono;
- Reciclagem com Betume Espuma ou Cimento.

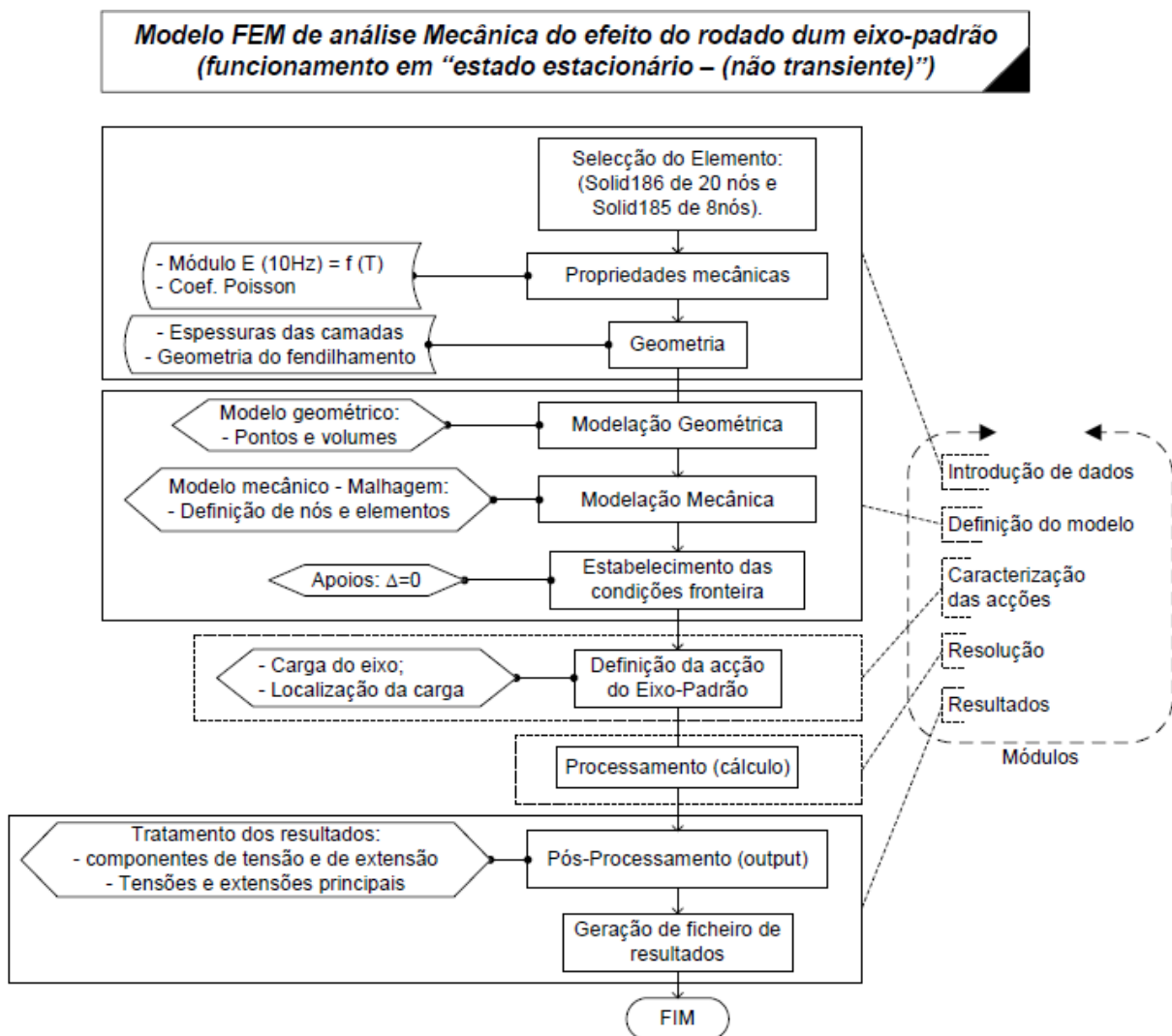


Figura 4.5 - Fluxograma do procedimento de modelação em elementos finitos para aplicação no software ANSYS (Freitas, 2012).

A análise realizada pelo modelo em elementos finitos pressupõe a aplicação estacionária da carga proveniente da solicitação dos rodados, de forma a permitir abordar o problema considerando o comportamento elástico dos materiais, traduzindo o efeito mecânico provocado pela passagem do rodado sobre o pavimento.

As situações de simulação de dentro de cada um dos grupos de propostas de reabilitação, referidos no parágrafo anterior, servem-se da mesma estrutura de modelo, pelo que no procedimento de modelação apenas é necessário efetuar alterações ao nível dos módulos correspondentes à **introdução de dados e obtenção de resultados**.

Dentro de cada um dos grupos de propostas, é depois necessário seguir o procedimento representado na figura 4.6, para a realização das simulações correspondentes a cada uma das situações em estudo apresentadas no Anexo A.1.

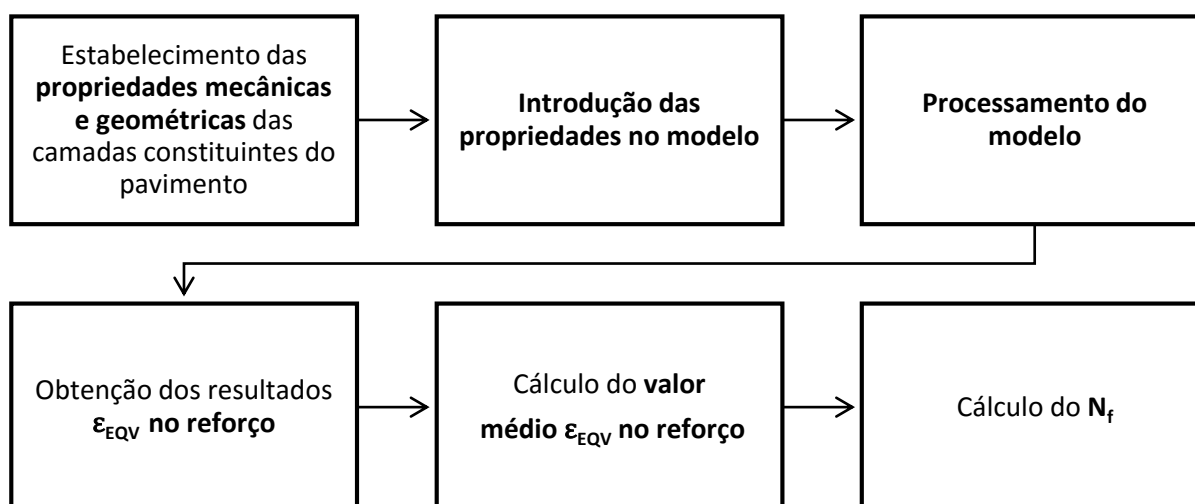


Figura 4.6 - Procedimento de simulação para cada situação em estudo.

Os efeitos da aplicação da carga do rodado sobre o pavimento podem ser traduzidos pelas tensões e extensões principais infligidas às camadas betuminosas do reforço. Da simulação efetuada em ANSYS® é possível obter, para cada nó da malha de elementos do reforço acima da fenda, os valores das extensões equivalentes,  $\epsilon_{EQV}$ , ou também designada extensões de Von Mises do ANSYS,  $\epsilon_{VM}^{ANSYS}$ .

Em cada situação de reabilitação definida no Anexo A.1, são obtidos 204 valores das extensões equivalentes instaladas em diferentes pontos do reforço acima da fenda, a partir dos quais se determina o valor médio que permita caracterizar o comportamento representativo de toda camada do reforço.

A extensão de Von Mises é determinada em função das extensões principais instaladas num determinado ponto, de acordo com a expressão 4.7:

$$\varepsilon_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}((\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2)} \quad (4.7)$$

Em que:

$\varepsilon_{VM}$  – Extensão de Von Mises;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$  e  $\varepsilon_3$  – Extensões principais.

Um estudo levado a cabo por Sousa et al. (2002), baseado na metodologia de elementos finitos calibrados por medições “in situ” sobre pavimentos reais fendilhados e com recurso a ensaios laboratoriais para a validação dos resultados, propõe um modelo empírico-mecanicista de conceção de reforços de pavimentos rodoviários flexíveis atentando à reflexão de fendas onde foi possível concluir que a média das extensões de Von Mises dos elementos do reforço acima da fenda, obtida a partir da modelação em elementos finitos, pode ser relacionada com a extensão de tração, em função da lei da fadiga, através da expressão 4.8:

$$\varepsilon_{VM} = \varepsilon_f(1 + \nu) \quad (4.8)$$

Onde:

$\varepsilon_{VM}$  – Extensão de Von Mises;

$\varepsilon_f$  – Extensão de tração referente à fadiga por flexão;

$\nu$  – Coeficiente de Poisson.

A modelação em ANSYS® foi parametrizada de forma obter a extensão equivalente, que resulta da conjugação das duas últimas expressões, 4.7 e 4.8, formando a expressão que determina a extensão de tração referente à fadiga, como é possível verificar pela expressão 4.9:

$$\varepsilon_{EQV} = \varepsilon_{VM}^{ANSYS} = \varepsilon_f = \left(\frac{1}{1 + \nu}\right) \sqrt{\frac{1}{2}((\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2)} \quad (4.9)$$

A partir do valor médio das extensões de tração instaladas no reforço de cada situação estudada, é possível determinar o número previsto de eixos padrão a que o reforço vai resistir antes de atingir a fadiga,  $N_f$ .

Ao calcular a resistência à fadiga da camada betuminosa de reforço, está-se a assumir que o pavimento vai sofrer a rotura por fadiga da mistura betuminosa do reforço e não por rotura do

solo de fundação. Porém, isso pode não ser verdade, principalmente considerando que para as camadas granulares e solo de fundação foram considerados os valores de rigidez mínimos admitidos pelo MDRPF, tendo estas uma forte probabilidade de não resistir ao número acumular de passagens do eixo padrão e atingirem a rotura antes da fadiga da mistura betuminosa.

A avaliação da resistência à fadiga é proposta pelo método da Shell, que relaciona a resistência à fadiga através do número de ciclos dum eixo padrão de 80kN que conduz à ruína do pavimento por fadiga (vida previsível), com a extensão de tração, a percentagem volumétrica de betume e o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa, através da expressão 4.10:

$$N_f = \left( \frac{\varepsilon_f}{(0,856V_b + 1,08)E^{-0,36}} \right)^{-5} \quad (4.10)$$

Onde:

$N_f$  – Resistência à fadiga (número de eixos padrão de 80kN conducente ao fendilhamento por fadiga);

$\varepsilon_f$  – Extensão de tração referente à fadiga por flexão;

$V_b$  – Volume de betume da mistura betuminosa;

$E$  – Módulo de deformabilidade da mistura betuminosa.

Porém através de um estudo baseado em ensaios laboratoriais de uma mistura betuminosa específica, foi permitido ajustar uma expressão geral de cálculo dos valores da resistência à fadiga da mistura betuminosa estudada. A expressão geral a que se chegou implica o ajuste dos coeficientes do modelo da Shell, tal como se apresenta na expressão 4.11 (Minhoto, 2005):

$$N_f = \left( \frac{\varepsilon_f}{(aV_b + b)E^{-c}} \right)^{-d} \quad (4.11)$$

Onde:

$N_f$  – Resistência à fadiga (número de eixos padrão de 80kN conducente ao fendilhamento por fadiga);

$\varepsilon_f$  – Extensão de tração referente à fadiga por flexão;

$V_b$  – Volume de betume da mistura betuminosa;

$E$  – Módulo de deformabilidade da mistura betuminosa;

$a, b, c$  e  $d$  – Coeficientes adimensionais ajustáveis aos ensaios laboratoriais (tabela 4.4).

*Tabela 4.4 - Volume de betume e coeficientes da lei da Shell adotados para a mistura betuminosa estudada (Minhoto, 2005).*

	<b>V<sub>b</sub> (%)</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
<b>MC</b>	10.8	1.009	0.9283	0.3372	3.961
<b>BMB</b>	17.5	1.957	0.9258	0.4344	6.941

#### **4.5. Análise das Expressões de Cálculo da Vida Previsível**

Após obter os valores médios das extensões equivalentes a partir da simulação da solução de reabilitação constituída pela execução de uma camada de reforço sobre o pavimento fendilhado, denominada por “*a*”, procedeu-se ao cálculo da vida previsível através das duas expressões indicadas anteriormente (expressão 4.10 e 4.11). Tendo como principais objetivos a determinação da expressão que melhor traduz o comportamento das misturas betuminosas, de forma a definir qual será utilizada na análise das diversas soluções de reabilitação, e determinar quais dos parâmetros mecânicos ou geométricos que maior influência têm sobre a vida previsível da intervenção.

Para uma melhor e mais detalhada observação, é possível consultar a tabela de resultados da vida previsível no anexo A.2, utilizados para a construção das figuras do presente capítulo 4.5.

Da análise das figuras 4.7 e 4.8, respetivamente, correspondente a um pavimento fendilhado com  $E=2000\text{MPa}$  e  $E=4000\text{MPa}$ , é possível constatar que apesar da duplicação do valor do módulo de deformabilidade o comportamento mecânico apresenta a mesma tendência de evolução com valores da vida previsível muito semelhantes.

Destaca-se que os valores da vida previsível calculada pela expressão de Minhoto (2005) para os reforços com camadas de 2,5cm de BMB sobre pavimentos fendilhados com 7,5cm de espessura, se aproximam em demasia dos valores obtidos pela expressão da Shell e Minhoto (2005) considerando a utilização de MC sobre pavimento fendilhado com 15cm de espessura.

A expressão de Minhoto (2005) aplicada a BMB em reforços com 2,5cm de espessura, chega a apresentar uma vida previsível inferior à obtida com a MC e muito próximos dos valores obtidos pela expressão da Shell também para a MC.

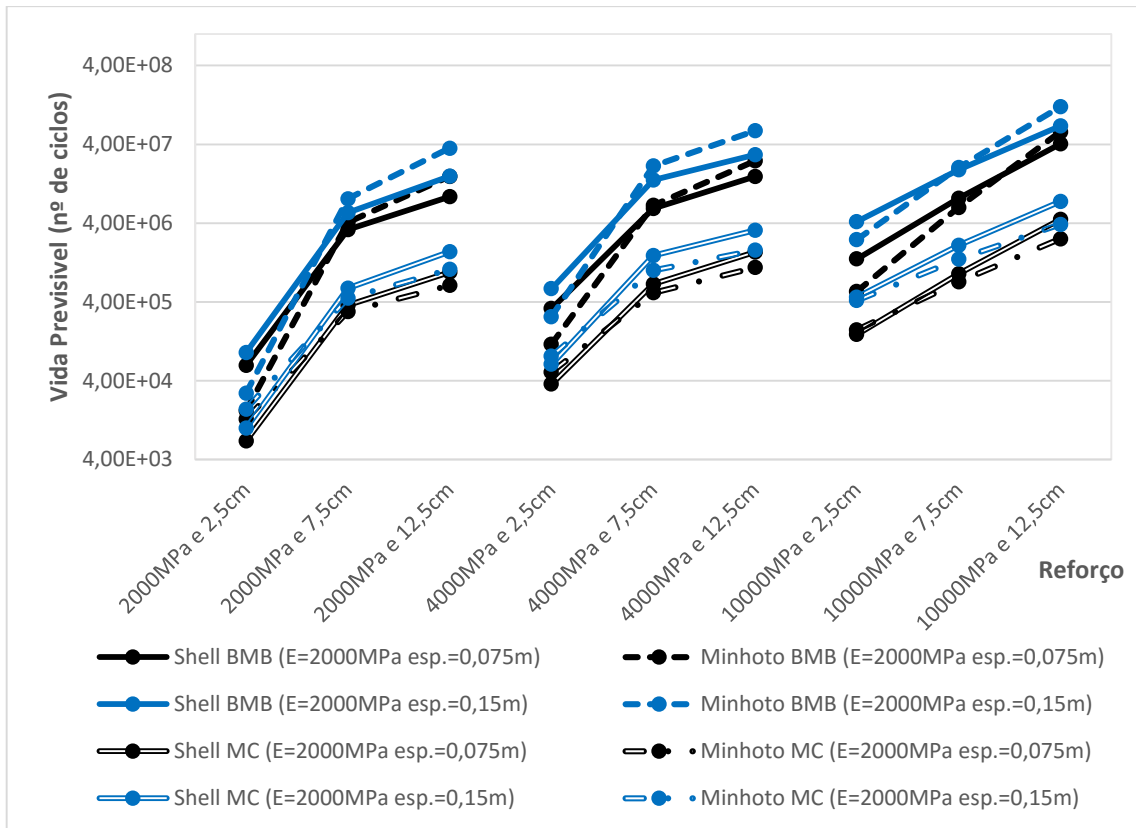


Figura 4.7 – Vida previsível obtida pelas expressões da Shell e Minhoto (2005) para a situação “a” sobre pavimento fendilhado com E=2000MPa.

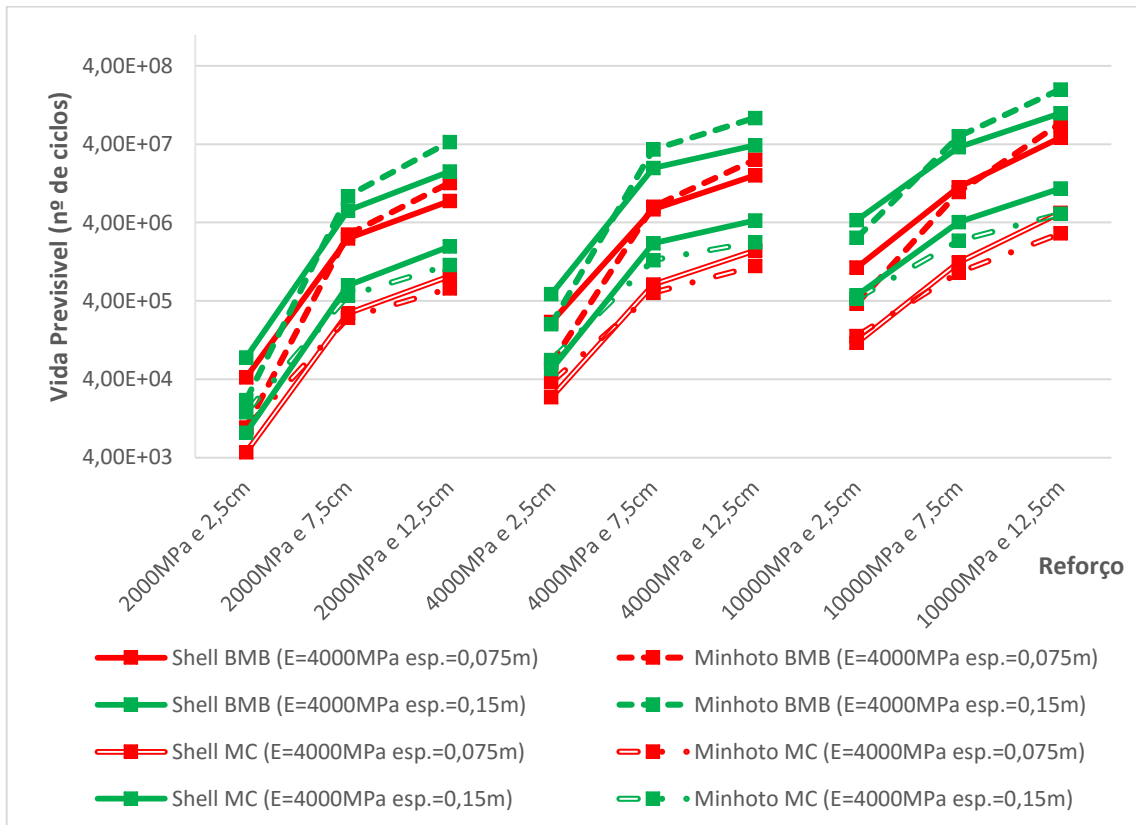


Figura 4.8 - Vida previsível obtida pelas expressões da Shell e Minhoto (2005) para a situação “a” sobre pavimento fendilhado com E=2000MPa.

Considerando a utilização de MC, as duas expressões apresentam maior proximidade no reforço de 2,5cm com módulo de deformabilidade e 10000MPa, tendendo a perder essa proximidade com a diminuição do módulo de deformabilidade da camada de reforço e com o aumento da espessura da mesma. As duas expressões mantêm-se também próximas e com maior consistência nas situações em que é aplicado um reforço de 7,5cm de espessura, com maior evidência em pavimentos fendilhados com  $E=4000\text{MPa}$ .

Considerando a utilização de BMB, as situações de maior aproximação entre as duas expressões é precisamente na consideração de reforços com 7,5cm de espessura, com maior evidência em pavimentos fendilhados com  $E=4000\text{MPa}$ .

As figuras 4.9 e 4.10 correspondem, respectivamente, a um pavimento fendilhado com 7,5cm e 15cm de espessura, sendo perceptível a mesma tendência de variações comportamentais verificadas nas figuras 4.7 e 4.8.

É possível observar que as expressões encontram maior proximidade entre si quando aplicadas a reforços com espessuras compreendidas entre 7,5 e 12,5cm, independentemente da utilização de MC ou BMB.

Verifica-se que para os reforços com MC a expressão da Shell é mais conservadora nas espessuras de 2,5cm e a expressão ajustada por Minhoto (2005) é mais conservadora para as espessuras superiores. Porém, quando se analisa os reforços com BMB, verifica-se uma tendência precisamente contrária, passando a expressão de Minhoto (2005) a ser a mais conservadora nas espessuras de 2,5cm e a expressão da Shell a mais conservadora nas espessuras superiores.

Constata-se que a variação do módulo de deformabilidade da camada fendilhada, praticamente não surte alterações à vida previsível do reforço. No entanto, as variações de espessura da camada fendilhada apresentam alterações significativas na vida previsível do reforço. Sendo que para uma maior vida previsível do reforço, é preferível ter uma camada fendilhada com maior espessura do que com maior módulo de deformabilidade.

No que diz respeito à própria camada de reforço, tanto o aumento do módulo de deformabilidade da mistura como o aumento da espessura da camada são significativos no aumento da vida previsível do reforço. Porém, continua a observar-se uma maior influência por parte da espessura.

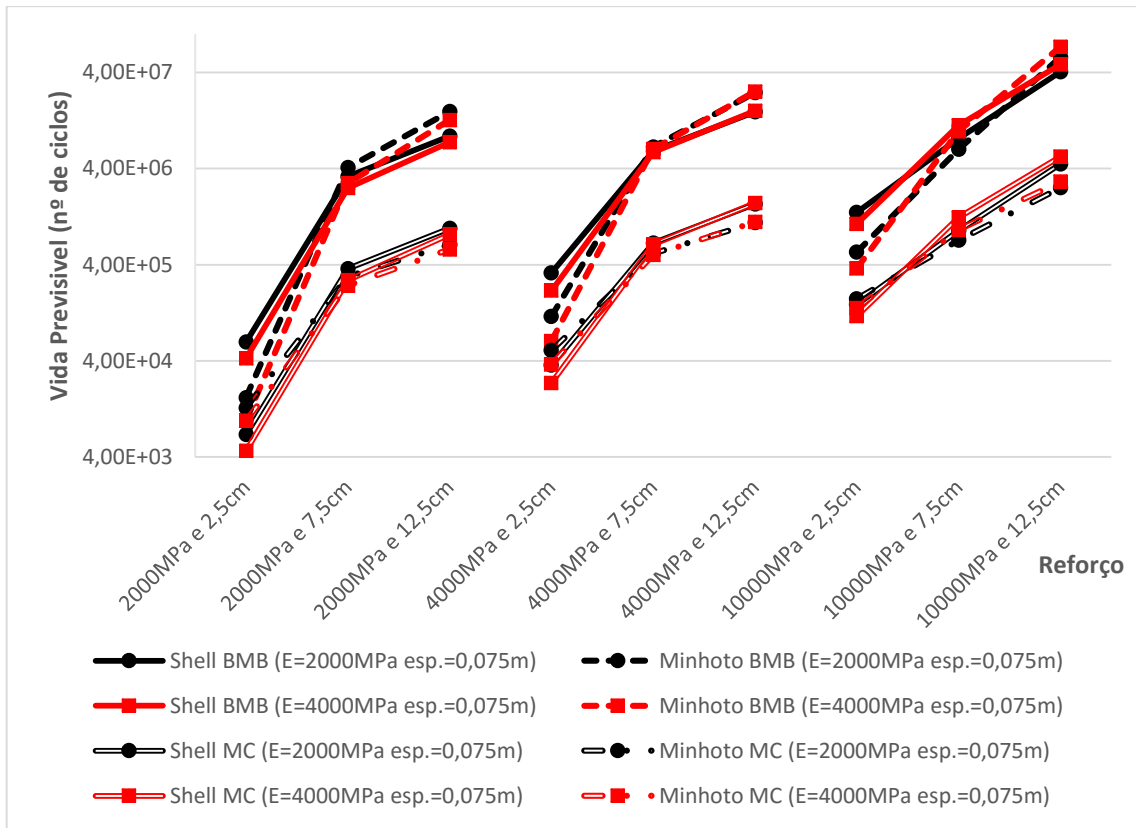


Figura 4.9 - Vida previsível obtida pelas expressões da Shell e Minhoto (2005) para a situação “a” sobre pavimento fendilhado com 7,5cm de espessura.

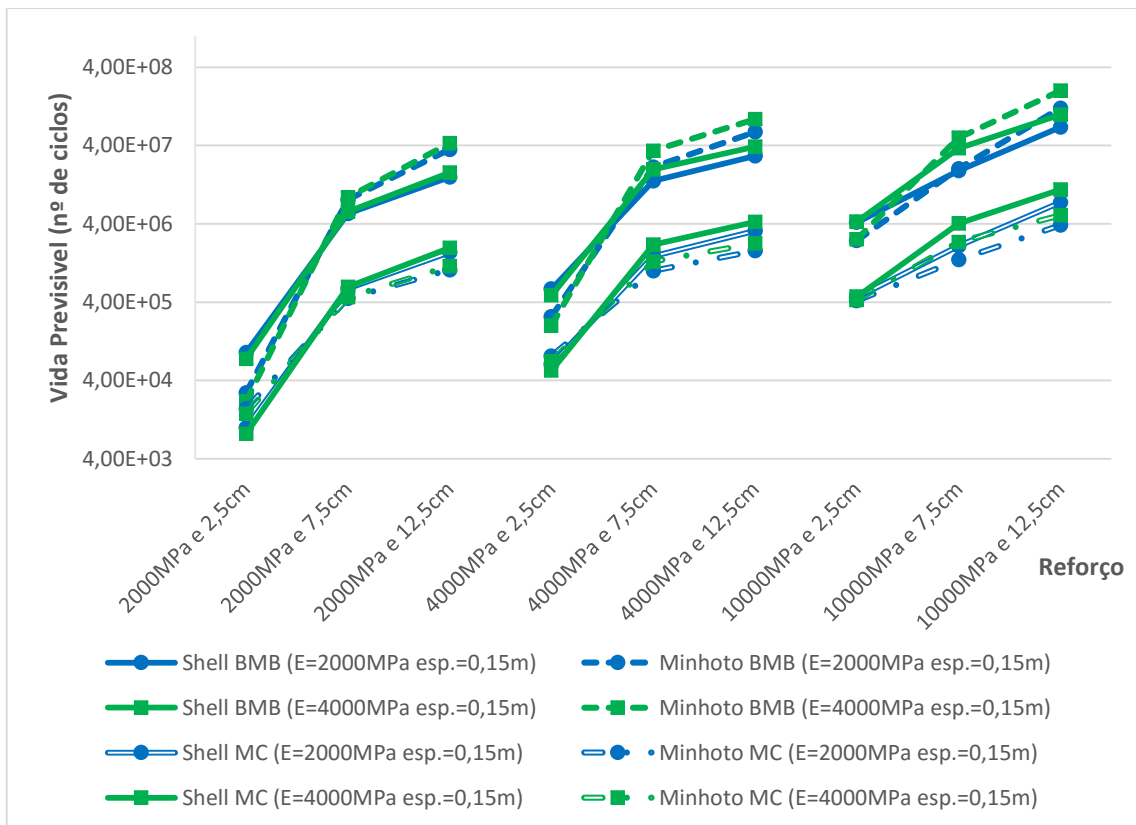


Figura 4.10 - Vida previsível obtida pelas expressões da Shell e Minhoto (2005) para a situação “a” sobre pavimento fendilhado com 15cm de espessura.

É possível observar como diferentes combinações entre espessuras e módulos de deformabilidade da camada de reforços permitem proporcionar uma vida útil previsível relativamente semelhante.

A figura 4.11 agrupa os valores da vida previsível determinada pela expressão de Minhoto (2005), a partir da qual é possível verificar que em camadas de reforço de reduzida espessura a utilização de misturas betuminosas convencionais ou modificadas traduz-se praticamente no mesmo número de ciclos de carregamento. Porém para reforços com espessura igual ou superior a 7,5cm, a utilização de BMB confere um grande incremento no número de ciclos que levam o reforço a atingir a fadiga, tendendo ainda a aumentar em proporção com o aumento de espessura da camada de reforço.

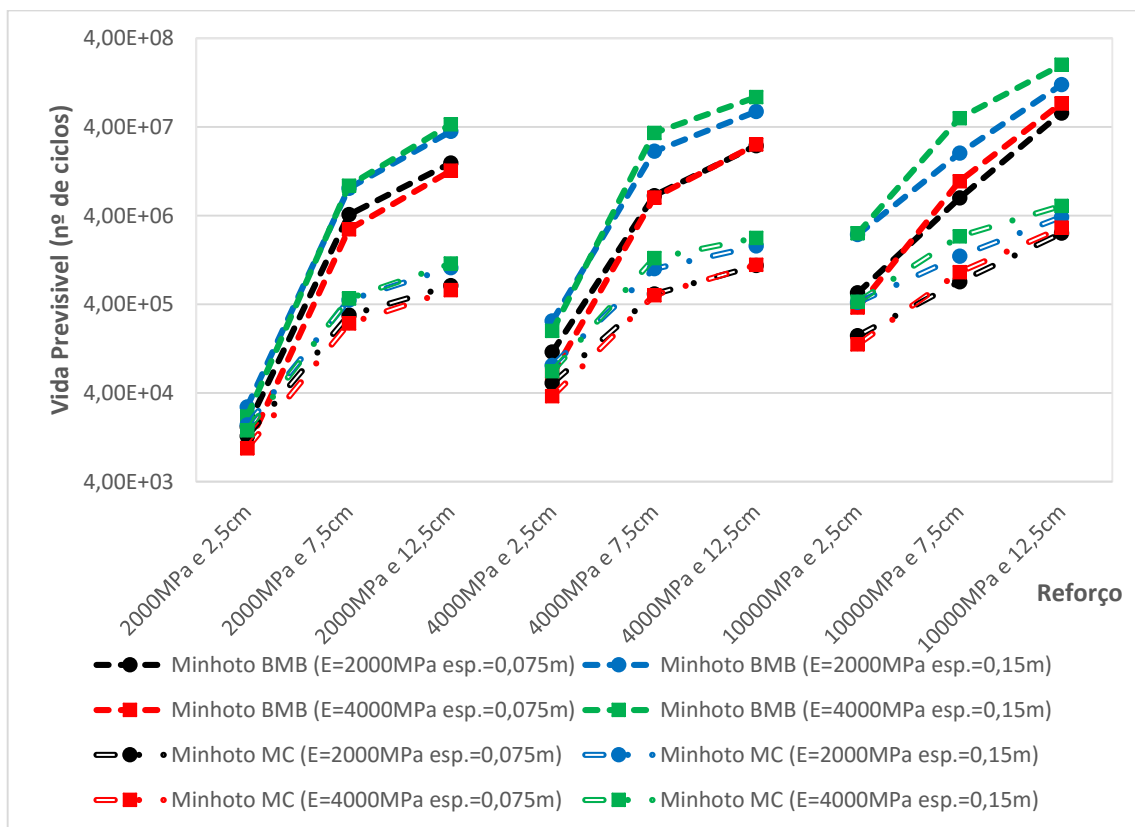


Figura 4.11 - Vida previsível obtida pela expressão de Minhoto (2005) aplicada à solução de reabilitação “a”.

Na figura 4.12 são agrupados os valores da vida previsível determinada pela expressão da Shell, onde se constata que na utilização desta expressão a aplicação de camadas de reforço constituídas por BMB é sempre vantajosa, induzindo um incremento na vida previsível linear paralelo à MC e praticamente constante em proporção com o aumento da espessura e módulo de deformabilidade da camada de reforço. Verificando-se apenas uma redução, desse

incremento, nas situações com camadas elevadamente espessas e rígidas (4000MPa com 12,5cm de espessura e ainda 10000MPa com 7,5 a 12,5cm de espessura).

O motivo pelo qual a expressão da Shell apresenta um aumento da vida previsível do reforço com uma progressão linear e paralela, prende-se pelo facto de a expressão da Shell apenas ter em consideração o maior volume de betume e módulo de deformabilidade da mistura, sem fazer a discriminação das diferenças comportamentais entre a BMB e MC, relativamente à suscetibilidade a variação da temperatura e a reflexão de fendas, situação essa que é contemplada na expressão de Minhoto (2005) através dos coeficientes de ajustamento da expressão. Pelo que se considera mais adequado utilizar a expressão ajustada por Minhoto (2005) para todos os cálculos da vida previsível efetuados no decorrer deste trabalho.

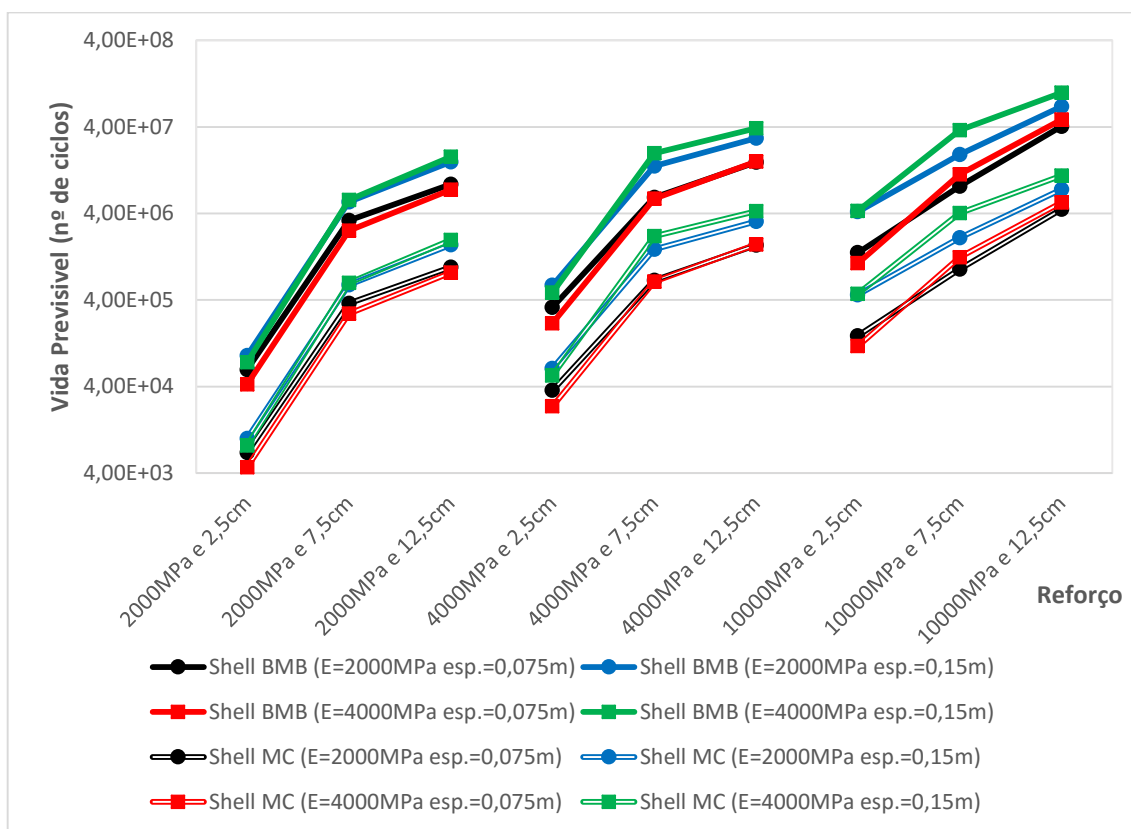


Figura 4.12 - Vida previsível obtida pela expressão da Shell aplicada à solução de reabilitação “a”.

#### 4.6. Análise das Soluções de Reabilitação em termos de Extensões

Após a criação de todos os modelos necessários para a simulação das situações descritas, procedeu-se à resolução informática de forma a se obterem as extensões necessárias à avaliação da vida previsível associada a cada situação estudada. A partir das extensões equivalentes é

possível analisar e retirar as devidas conclusões sobre o comportamento das soluções de reabilitação, independentemente da mistura betuminosa utilizada na constituição das camadas de reforço.

*No anexo A.3 são apresentadas as tabelas com a totalidade das situações estudadas.*

Nas tabelas 4.5 e 4.6, são apresentados os resultados das extensões equivalentes registadas nas propostas de reabilitação com técnicas retardadoras da propagação de fendas, sobre pavimentos fendilhados com módulo de deformabilidade igual a 2000MPa e espessuras de 7,5 e 15cm, considerando diversas combinações entre as espessuras e módulo de deformabilidade da camada de reforço.

Nas situações com módulo de deformabilidade igual a 4000MPa o comportamento evidenciado é semelhante ao apresentado na tabela 4.5, limitando-se, para estes casos, a obter um pequeno incremento de melhoria na capacidade resistente do pavimento (menores extensões equivalentes). Incremento esse que ronda a casa dos 1 a 2% para as situações que incorporam grelhas ou armaduras e 6 a 10% para as situações que incorporam SAMI ou geotêxtil impregnado com betume.

Considerando a tabela 4.5 verifica-se que as técnicas do tipo SAMI apenas são eficazes quando aplicadas sob reforços de reduzida espessura e rigidez, constatação também observada por Freitas (2012).

As camadas “anti-fendas” como elevada elasticidade são as que apresentam piores resultados, melhorando com a diminuição da elasticidade dessas camadas. Tal como se pode verificar pelo geotêxtil impregnado com betume (coluna c), que apesar de nas suas características mecânicas apresentar a maior elasticidade e capacidade de adaptação às deformações, representa a pior das soluções.

Ambas as SAMI apresentam melhorias para os reforços de reduzida espessura e rigidez, nomeadamente para espessuras de 2,5cm e com módulo de deformabilidade de 2000MPa a 4000MPa. Sendo que a Hard SAMI (b2) permite melhores resultados, uma vez que é caracterizada por ser mais rígida e portanto apresentar menor elasticidade que a Soft SAMI (b1) e naturalmente o geotêxtil impregnado com betume (c).

A Hard SAMI permite conferir melhorias significativas nos reforços com  $E=4000\text{MPa}$  e espessura de 2,5cm, com uma redução das extensões equivalentes que rondam os 17 a 39% no entanto a Soft SAMI não confere praticamente qualquer melhoria a reforços com essas

características, restringindo-se à melhoria de 1% em pavimentos fendilhados com 7,5cm de espessura e atingindo os 25% em pavimentos fendilhados com 15cm de espessura.

*Tabela 4.5 - Extensões equivalentes registadas nas técnicas do tipo SAMI aplicadas sobre pavimento fendilhado com E=2000MPa.*

Camada de Reforço				Camada Fendilhada				Diferença percentual das extensões equivalentes ( $\epsilon_{EQV}$ ) comparativamente à situação "a"							
								a ( $\epsilon_{EQV}$ )		b1		b2		c	
								esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.002m	esp. 0.004m		
2000	0.025	2000	0.075	7.91E-04	-26%	-27%	-40%	-42%	-2%	3%					
2000	0.075	2000	0.075	3.57E-04	36%	54%	16%	33%	52%	69%					
2000	0.125	2000	0.075	2.95E-04	28%	40%	15%	26%	38%	50%					
4000	0.025	2000	0.075	4.42E-04	-1%	5%	-22%	-17%	28%	37%					
4000	0.075	2000	0.075	2.46E-04	41%	55%	24%	37%	55%	69%					
4000	0.125	2000	0.075	2.04E-04	22%	30%	13%	21%	30%	39%					
10000	0.025	2000	0.075	2.38E-04	35%	45%	9%	20%	63%	76%					
10000	0.075	2000	0.075	1.67E-04	29%	36%	19%	26%	38%	46%					
10000	0.125	2000	0.075	1.21E-04	14%	18%	9%	13%	19%	23%					
2000	0.025	2000	0.15	7.34E-04	-37%	-37%	-45%	-46%	-13%	-6%					
2000	0.075	2000	0.15	3.24E-04	35%	56%	19%	37%	48%	71%					
2000	0.125	2000	0.15	2.62E-04	35%	50%	23%	36%	43%	59%					
4000	0.025	2000	0.15	3.94E-04	-16%	-8%	-30%	-22%	15%	31%					
4000	0.075	2000	0.15	2.09E-04	48%	67%	33%	49%	63%	83%					
4000	0.125	2000	0.15	1.80E-04	30%	40%	21%	30%	37%	49%					
10000	0.025	2000	0.15	1.91E-04	28%	45%	6%	24%	65%	90%					
10000	0.075	2000	0.15	1.41E-04	37%	48%	26%	37%	48%	61%					
10000	0.125	2000	0.15	1.09E-04	19%	25%	14%	19%	25%	32%					

Relativamente às espessuras das camadas do tipo SAMI, verifica-se que para reforços mais flexíveis (2,5cm e 2000MPa), o melhor desempenho é dado pelas maiores espessuras de SAMI, com uma redução das extensões equivalentes na ordem dos 42% a 52%. Porém para os reforços menos flexíveis (2,5cm e 4000MPa), a tendência é contrária e aí as menores espessuras de SAMI obtêm melhor desempenho, reduzindo as extensões equivalentes em 22% a 39%. No que diz respeito ao geotêxtil, o melhor desempenho é sempre dado pela menor espessura e principalmente sobre pavimentos fendilhados menos deformáveis (mais espessos ou com maior módulo de deformabilidade), proporcionando uma redução na ordem dos 2% a 19%.

Quando as técnicas tipo SAMI são aplicadas sob reforços mais espessos ou rígidos, o desempenho do reforço é afetado e este perde capacidade resistente, na tabela 4.5 observa-se que em todas as situações que saem fora da gama de funcionamento perfeito da SAMI, o reforço é afetado pelo aumento das extensões equivalentes comparativamente com os casos de não

colocação das camadas SAMI. Este efeito pode ser explicado pela quebra de rigidez que as técnicas do tipo SAMI introduzem no pavimento, até porque com o aumento de espessura da SAMI aumenta também a afetação do desempenho desses reforços.

Todas as técnicas apresentam melhor desempenho quando aplicadas sobre camadas de pavimento fendilhado com maior espessura, situação essa que também é verificada no caso do maior módulo de elasticidade do pavimento fendilhado (ver anexo A.3).

Este comportamento traduz que o desempenho, das técnicas tipo SAMI, é positivamente influenciado por camadas inferiores pouco deformáveis e camadas superiores bastante deformáveis.

O aspeto negativo da aplicação das técnicas tipo SAMI encontra-se na necessidade de uma boa conjugação entre a deformabilidade das camadas do reforço, a rigidez das camadas inferiores e a rigidez da própria camada retardadora da propagação das fendas.

*Tabela 4.6 - Extensões equivalentes registadas nas técnicas do tipo grelhas ou armaduras sobre pavimento fendilhado com  $E=2000\text{MPa}$ .*

Camada de Reforço				Camada Fendilhada				Diferença percentual das extensões equivalentes ( $\epsilon\text{EQV}$ ) comparativamente à situação "a"				
								$a$ ( $\epsilon\text{EQV}$ )	$d1$	$d2$	$d3$	$e$
E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)									
2000	0.025	2000	0.075	7.91E-04	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
2000	0.075	2000	0.075	3.57E-04	-5%	-8%	-11%	-3%	-9%			
2000	0.125	2000	0.075	2.95E-04	-9%	-12%	-17%	-6%	-14%			
4000	0.025	2000	0.075	4.42E-04	-1%	-1%	-1%	0%	-1%			
4000	0.075	2000	0.075	2.46E-04	-5%	-7%	-11%	-3%	-8%			
4000	0.125	2000	0.075	2.04E-04	-4%	-7%	-11%	-2%	-8%			
10000	0.025	2000	0.075	2.38E-04	-2%	-2%	-3%	-1%	-2%			
10000	0.075	2000	0.075	1.67E-04	-2%	-4%	-7%	-1%	-5%			
10000	0.125	2000	0.075	1.21E-04	0%	-1%	-4%	0%	-2%			
2000	0.025	2000	0.15	7.34E-04	0%	0%	0%	0%	0%			
2000	0.075	2000	0.15	3.24E-04	-5%	-7%	-10%	-3%	-8%			
2000	0.125	2000	0.15	2.62E-04	-8%	-12%	-17%	-5%	-14%			
4000	0.025	2000	0.15	3.94E-04	0%	-1%	-1%	0%	-1%			
4000	0.075	2000	0.15	2.09E-04	-4%	-7%	-10%	-3%	-8%			
4000	0.125	2000	0.15	1.80E-04	-4%	-6%	-10%	-2%	-8%			
10000	0.025	2000	0.15	1.91E-04	-1%	-1%	-2%	-1%	-2%			
10000	0.075	2000	0.15	1.41E-04	-2%	-4%	-6%	-1%	-5%			
10000	0.125	2000	0.15	1.09E-04	0%	-1%	-4%	0%	-2%			

Da aplicação de grelhas ou armaduras verifica-se a existência dum ganho de desempenho do reforço em função do aumento da capacidade resistente das grelhas, ou seja, grelhas com maior

módulo de deformabilidade e maior área de secção, conduzem a melhores resultados no desempenho do reforço.

As grelhas AQ30 apresentam um comportamento semelhante ao das grelhas em fibra de vidro, as grelhas AQ38 apresentam um comportamento semelhante ao das grelhas em fibra de carbono e as grelhas AQ50 são as que apresentam o melhor desempenho possível. Isto deve-se à relação entre área de secção e módulo de deformabilidade.

A situação de melhor desempenho das grelhas ou armaduras encontra-se em reforços com módulo de deformabilidade de 2000MPa e espessura 12,5cm.

No entanto, e ainda que com menor efeito, as grelhas apresentam bom desempenho em reforços com módulo de deformabilidade de 2000MPa a 4000MPa e espessuras compreendidas entre os 7,5cm a 12,5cm.

A grande vantagem das técnicas de grelhas e armaduras entortar-se no facto de nunca influenciarem negativamente o comportamento do reforço, na pior das situações apenas não contribui para a melhoria do desempenho.

Os casos em que as grelhas/armaduras não conferem maior resistência ao reforço ocorrem em situações extremas de reforços muito flexíveis ou muito rígidos. Nas situações de reforços muito flexíveis, entende-se que as grelhas sejam “chamadas a agir” em primazia relativamente à camada betuminosa de reforço, permitindo maiores deformações que levam a camada betuminosa a ter um início de fendilhamento semelhante à não existência de armaduras. Por outro lado, em camadas de reforço com elevada rigidez, devido à sua rigidez, não permitem que as grelhas/armaduras sejam “chamadas a agir” levando com isso a que o fendilhamento se inicie numa vida previsível semelhante à não existência de grelhas/armaduras.

A figura 5.13 permite visualizar as variações das extensões equivalentes registadas nas diferentes propostas de reabilitação e considerando as diferentes camadas de reforços indicadas na legenda do gráfico.

Destaca-se a atuação das técnicas tipo SAMI que só favorecem o reforço com 2,5cm de espessura e 2000MPa e ainda o reforço com 2,5cm de espessura e 4000MPa, com menor influência. Nas restantes situações denota-se uma piora das extensões equivalentes.

As grelhas ou armaduras têm um comportamento muito regular e praticamente linear, à exceção das situações com 2000MPa e 4000MPa com espessuras de 7,5cm e 12,5cm onde as grelhas atingem o seu melhor desempenho.

Em todas as situações, as menores extensões equivalentes são obtidas pelas técnicas de reciclagem, obtendo uma redução das extensões equivalentes na ordem dos 55 a 85%, com melhor desempenho em reforços com 2,5cm de espessura para qualquer que seja o módulo de deformabilidade e em reforços com 7,5 a 12,5cm de espessura com  $E \geq 10000\text{MPa}$ .

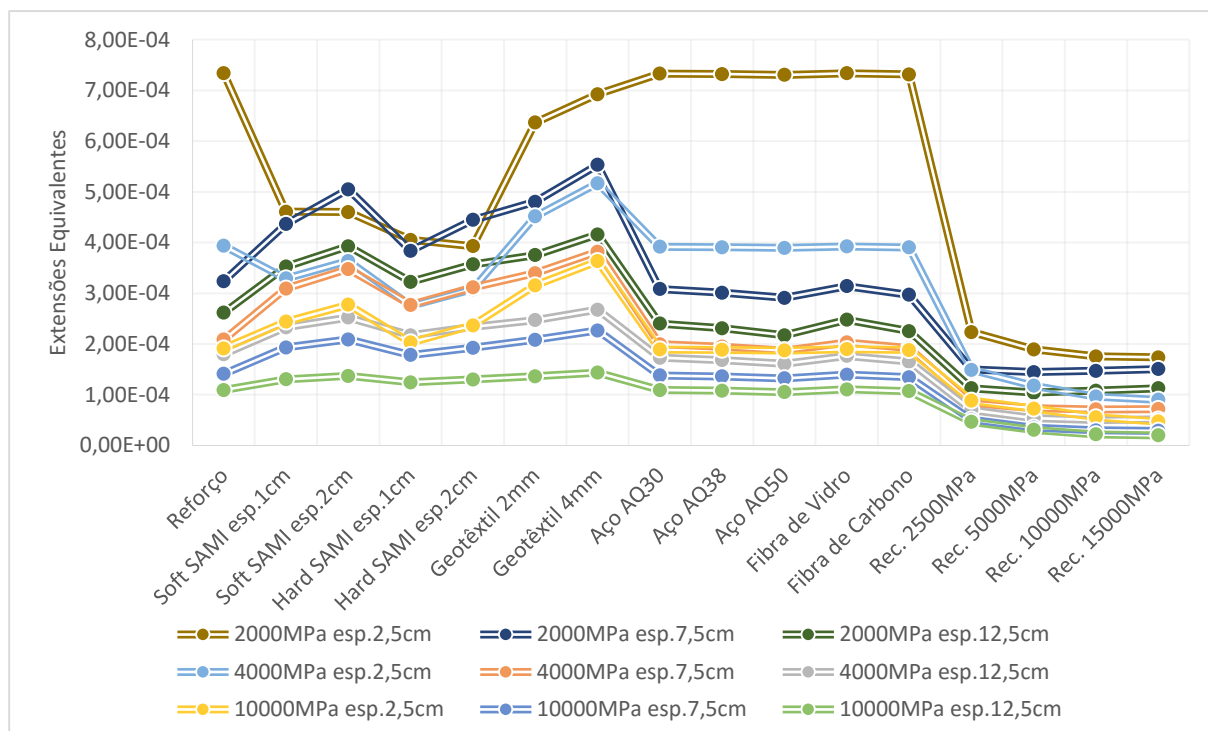


Figura 4.13 – Representação gráfica das extensões equivalentes registadas nas propostas de reabilitação sobre pavimento fendilhado com  $E=2000\text{MPa}$  e espessura de 15cm.

#### 4.7. Análise das Soluções de Reabilitação em termos de Vida Previsível

A partir dos valores das extensões equivalentes anteriormente registados fez-se uso da expressão 4.11 (expressão de Minhoto, 2005) para determinar a vida previsível da camada de reforço, traduzida em número de passagens do eixo padrão de 80kN. O uso da expressão de Minhoto (2005) em detrimento da expressão da Shell é fundamentado pela análise efetuada no subcapítulo 4.5.

No anexo A.4 são apresentadas as tabelas com a totalidade das situações estudadas.

Nas tabelas 4.7 e 4.8 são apresentados os resultados da vida previsível para a camada de reforço com utilização de MC aplicada sobre as propostas de reabilitação com técnicas retardadoras da propagação de fendas, em pavimentos fendilhados com módulo de deformabilidade igual a 2000MPa com espessuras de 7,5 e 15cm. Nas situações com módulo de deformabilidade igual

a 4000MPa, o comportamento evidenciado é semelhante ao aqui apresentado, sendo que existe um considerável incremento no número de passagens do eixo padrão de 80kN.

Tabela 4.7 – Vida previsível do reforço em MC com aplicação das técnicas do tipo SAMI aplicadas sobre pavimento fendilhado com E=2000MPa.

Camada de Reforço				Camada Fendilhada				Diferença percentual da vida previsível comparativamente à situação "a"							
								a (eixos padrão)		b1		b2		c	
								E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)	esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.01m	esp. 0.02m
2000	0.025	2000	0.075	1.30E+04	231%	241%	658%	787%	6%	-10%					
2000	0.075	2000	0.075	3.02E+05	-71%	-82%	-44%	-67%	-81%	-88%					
2000	0.125	2000	0.075	6.48E+05	-62%	-74%	-42%	-60%	-72%	-80%					
4000	0.025	2000	0.075	5.14E+04	3%	-17%	172%	106%	-63%	-71%					
4000	0.075	2000	0.075	5.22E+05	-74%	-82%	-58%	-72%	-82%	-87%					
4000	0.125	2000	0.075	1.10E+06	-55%	-65%	-39%	-52%	-65%	-72%					
10000	0.025	2000	0.075	1.76E+05	-69%	-77%	-29%	-51%	-86%	-89%					
10000	0.075	2000	0.075	7.18E+05	-63%	-70%	-49%	-59%	-72%	-78%					
10000	0.125	2000	0.075	2.53E+06	-40%	-48%	-29%	-37%	-50%	-57%					
2000	0.025	2000	0.15	1.74E+04	532%	535%	952%	1088%	76%	26%					
2000	0.075	2000	0.15	4.46E+05	-69%	-83%	-49%	-72%	-79%	-88%					
2000	0.125	2000	0.15	1.04E+06	-69%	-80%	-56%	-71%	-76%	-84%					
4000	0.025	2000	0.15	8.15E+04	103%	37%	313%	164%	-42%	-66%					
4000	0.075	2000	0.15	1.01E+06	-79%	-87%	-67%	-80%	-85%	-91%					
4000	0.125	2000	0.15	1.81E+06	-64%	-74%	-53%	-65%	-72%	-79%					
10000	0.025	2000	0.15	4.18E+05	-62%	-77%	-21%	-57%	-86%	-92%					
10000	0.075	2000	0.15	1.40E+06	-71%	-79%	-61%	-71%	-79%	-85%					
10000	0.125	2000	0.15	3.85E+06	-50%	-59%	-40%	-50%	-58%	-66%					

A redução das extensões equivalentes verificadas nas situações de reabilitação incorporando Hard SAMI, nomeadamente em reforços com E=4000MPa e espessura de 2,5cm, onde a redução das extensões equivalentes atingia os 17 a 39%, traduz-se num incremento no número de passagens do eixo padrão a que o pavimento pode resistir, no valor de 106% a 1088% sobre pavimentos fendilhados com E=2000MPa e pode chegar aos 1750% em pavimentos fendilhados com E=4000MPa.

A percentagem de 1750% é verificada numa situação de aplicação de um reforço com E=2000MPa e 2,5cm de espessura, com camada intermédia de Hard SAMI e sobre um pavimento fendilhado com E=4000MPa e 15cm de espessura. Onde se constata o incremento da vida previsível, num reforço simples em **mistura convencional** de valor igual a **1,51E+04** passagens do eixo-padrão, para **2,79E+05** passagens do eixo-padrão, quando aplicado a camada Hard SAMI, ou seja, existe **um aumento de 2,64E+5 no número de eixos-padrão**.

Quando aplicada uma mistura modificada com borracha, na mesma situação, a percentagem sobre para os 16508%, sendo a vida previsível do reforço simples em **mistura modificada com borracha** de valor igual a **2,16E+04** passagens do eixo-padrão aumentada para **3,59E+06** passagens do eixo-padrão, quando aplicado a camada Hard SAMI, ou seja, existe **um aumento de 3,57E+6 no número de eixos-padrão**. Assim, nesta situação específica, a utilização de uma BMB concede mais 3,31E+6 passagens do eixo padrão de 80kN relativamente à utilização de uma MC.

A utilização de uma Soft SAMI confere incrementos inferiores a metade dos oferecidos pela Hard SAMI quando aplicada sob reforços de 2000MPa e 2,5cm de espessura, e bem mais reduzidos quando aplicada sob reforço de 4000MPa e 2,5cm.

O geotêxtil impregnado com betume, que proporciona uma redução das extensões equivalentes de 2% a 19%, quando aplicado numa única camada, confere um incremento no número de passagens do eixo-padrão correspondente a 6 a 127% quando utilizados reforços em MC e 11% a 321% quando utilizados reforços em BMB.

A percentagem de 127% equivale a um incremento de 1,9E+4 passagens do eixo padrão e a percentagem de 321% equivale a um incremento de 6,9E+4 passagens do eixo padrão. O que por sua vez, indica uma diferença de 5,0E+4 passagem do eixo padrão entre a utilização de uma mistura convencional ou a utilização de mistura modificada com borracha.

As situações de reforço com aplicação de grelhas em aço AQ50, cuja redução das extensões equivalentes se traduzia em 17 a 19%, reflete-se num incremento da vida previsível entre 113% a 127%, considerando a utilização de MC e 276% a 321% considerando a utilização de BMB. Na utilização de MC, considerando o incremento de 127%, resulta o aumento do número de passagens do eixo padrão de **5.77E+05** para **1.31E+06 (aumento de 1,03E+6)**. Na utilização de BMB, considerando o incremento de 321%, resulta o aumento do número de passagens do eixo padrão de **1.28E+07** para **5.38E+07 (aumento de 4,10E+7)**.

A situação mais usual será utilizar-se as grelhas em fibra de carbono em que o incremento da resistência à fadiga ronda os 40% a 50% na utilização de MC, atingindo os 80% a 94% na situação específica de utilização de uma camada de reforços com E=2000MPa e 12,5cm de espessura. Esses mesmos valores sobem para 80% a 106% na utilização de BMB e atingem os 180% a 220% nas mesmas condições anteriores.

Tabela 4.8 - Vida previsível do reforço em MC com aplicação das técnicas do tipo grelhas ou armaduras aplicadas sobre pavimento fendilhado com E=2000MPa.

				Diferença percentual da vida previsível comparativamente à situação "a"					
Camada de Reforço		Camada Fendilhada		a (εEQV)	d1	d2	d3	e	f
E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)						
2000	0.025	2000	0.075	1.30E+04	1%	1%	1%	0%	1%
2000	0.075	2000	0.075	3.02E+05	24%	36%	56%	15%	44%
2000	0.125	2000	0.075	6.48E+05	43%	67%	113%	26%	83%
4000	0.025	2000	0.075	5.14E+04	2%	3%	4%	2%	3%
4000	0.075	2000	0.075	5.22E+05	21%	34%	57%	12%	42%
4000	0.125	2000	0.075	1.10E+06	19%	32%	58%	9%	41%
10000	0.025	2000	0.075	1.76E+05	6%	8%	11%	5%	9%
10000	0.075	2000	0.075	7.18E+05	10%	17%	31%	5%	22%
10000	0.125	2000	0.075	2.53E+06	0%	6%	17%	0%	10%
2000	0.025	2000	0.15	1.74E+04	0%	1%	2%	0%	1%
2000	0.075	2000	0.15	4.46E+05	22%	33%	53%	13%	41%
2000	0.125	2000	0.15	1.04E+06	40%	64%	110%	24%	80%
4000	0.025	2000	0.15	8.15E+04	2%	3%	4%	1%	3%
4000	0.075	2000	0.15	1.01E+06	20%	31%	53%	11%	39%
4000	0.125	2000	0.15	1.81E+06	17%	30%	55%	8%	39%
10000	0.025	2000	0.15	4.18E+05	5%	6%	9%	4%	7%
10000	0.075	2000	0.15	1.40E+06	9%	16%	29%	4%	20%
10000	0.125	2000	0.15	3.85E+06	0%	5%	16%	0%	9%

Como se pode observar pela tabela 4.9, a vida previsível obtida pelas técnicas de eliminação de fendas assemelham-se à vida útil de um pavimento novo, tal como era esperado.

Devido às elevadas espessuras da camada reciclada são obtidos valores da vida útil previsível extremamente exagerados, até para pavimentos novos. Esta situação é agravada com a utilização de misturas modificadas com borracha.

Constata-se que para as camadas recicladas com módulos de deformabilidade de 2500MPa e 5000MPa a melhor vida previsível é dada pela maior espessura da camada reciclada (25cm), porém para os módulos de deformabilidade superiores a melhor vida previsível é dada pela menor espessura da camada reciclada (17,5cm).

Percebe-se que as técnicas com eliminação de fendas apresentam uma vida útil previsível maior do que as técnicas de retardamento da propagação das fendas, mesmo para espessuras menores, quer da camada reciclada quer da camada de mistura betuminosa. É viável deduzir que a

redução da espessura da camada reciclada permita obter um desempenho igualmente bom e comparável ao de um pavimento novo.

Tabela 4.9 – Vida previsível das situações de reciclagem.

Camada de Reforço		Esp. Camada Reciclada (m)	Vida Previsível (nº de ciclos)							
E (Mpa)	Esp. (m)		Reforço com Mistura Convencionais (MC)				Reforço com Mistura Modificada com Borracha (BMB)			
2000	0.025	0.175	1.03E+06	2.58E+06	5.02E+06	5.95E+06	3.51E+07	1.76E+08	5.67E+08	7.63E+08
2000	0.075	0.175	1.12E+07	1.40E+07	1.44E+07	1.33E+07	2.31E+09	3.42E+09	3.58E+09	3.12E+09
2000	0.125	0.175	3.73E+07	6.88E+07	6.43E+07	5.27E+07	1.90E+10	5.55E+10	4.94E+10	3.48E+10
4000	0.025	0.175	1.56E+06	3.86E+06	1.18E+07	2.10E+07	4.56E+07	2.24E+08	1.59E+09	4.34E+09
4000	0.075	0.175	3.86E+07	6.95E+07	8.62E+07	9.26E+07	1.26E+10	3.54E+10	5.17E+10	5.86E+10
4000	0.125	0.175	6.58E+07	2.84E+08	5.37E+08	5.31E+08	3.22E+10	4.18E+11	1.28E+12	1.25E+12
10000	0.025	0.175	3.84E+06	6.21E+06	1.54E+07	3.17E+07	1.19E+08	2.77E+08	1.36E+09	4.84E+09
10000	0.075	0.175	5.33E+07	3.05E+08	6.26E+08	7.17E+08	1.20E+10	2.55E+11	9.00E+11	1.14E+12
10000	0.125	0.175	6.61E+07	4.11E+08	2.46E+09	5.07E+09	1.75E+10	4.31E+11	9.88E+12	3.51E+13
2000	0.025	0.25	1.94E+06	3.72E+06	5.04E+06	5.28E+06	1.07E+08	3.35E+08	5.71E+08	6.17E+08
2000	0.075	0.25	9.40E+06	1.08E+07	1.01E+07	9.27E+06	1.70E+09	2.18E+09	1.94E+09	1.66E+09
2000	0.125	0.25	2.92E+07	3.98E+07	3.44E+07	2.92E+07	1.24E+10	2.13E+10	1.65E+10	1.24E+10
4000	0.025	0.25	3.81E+06	9.72E+06	2.15E+07	2.83E+07	2.19E+08	1.13E+09	4.55E+09	7.33E+09
4000	0.075	0.25	3.79E+07	6.32E+07	7.16E+07	6.96E+07	1.22E+10	3.00E+10	3.73E+10	3.55E+10
4000	0.125	0.25	7.75E+07	2.17E+08	2.86E+08	2.62E+08	4.29E+10	2.61E+11	4.23E+11	3.62E+11
10000	0.025	0.25	8.89E+06	1.94E+07	5.59E+07	1.08E+08	5.20E+08	2.05E+09	1.30E+10	4.16E+10
10000	0.075	0.25	8.01E+07	3.47E+08	6.67E+08	7.71E+08	2.45E+10	3.20E+11	1.00E+12	1.30E+12
10000	0.125	0.25	1.15E+08	5.99E+08	2.21E+09	3.28E+09	4.63E+10	8.31E+11	8.22E+12	1.64E+13
Módulo de Deformabilidade da Camada Reciclada (MPa) →			2500	5000	10000	15000	2500	5000	10000	15000

Nas figuras 4.14 e 4.15 observa-se o comportamento provocado pelas diferentes técnicas de reabilitação no conjunto das situações de reforço aplicado sobre um pavimento fendilhado com módulo de deformabilidade de 2000MPa e 15cm de espessura, em concordância com as extensões equivalentes apresentadas pela figura 4.13.

É possível observar um comportamento extremamente semelhante entre os dois tipos de mistura betuminosa, MC e BMB, sendo notório a maior vida previsível conferida pela mistura BMB.

Verifica-se que na utilização de BMB as melhores soluções são dadas pelos reforços de maior espessura, 12cm, à exceção das técnicas de reciclagem. Situação que nem sempre acontece aquando da utilização de MC.

Constata-se, principalmente nas técnicas que utilizam SAMI's, que as camadas com 2,5cm de espessura superam as camadas com 7,5cm de espessura quando se utilizam misturas MC, no entanto o mesmo não se verifica quando se utilizam misturas BMB.

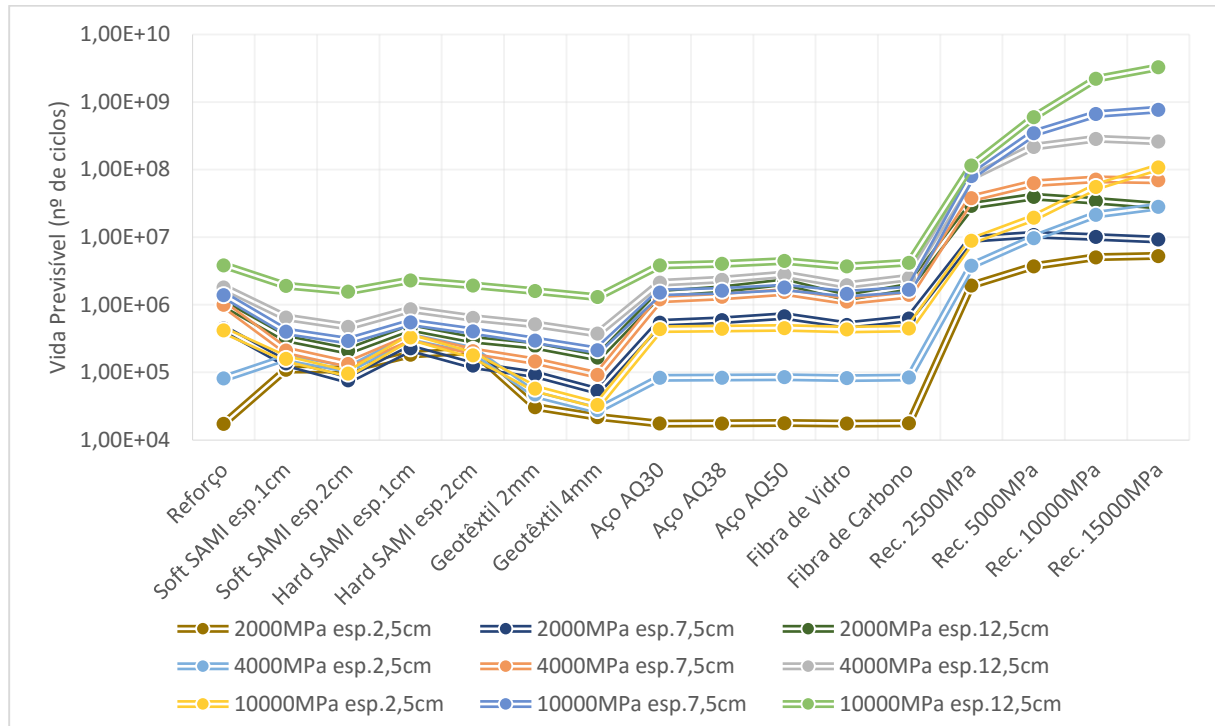


Figura 4.15 - Representação gráfica da vida previsível das propostas de reabilitação sobre pavimento fendilhado com E=2000MPa e espessura de 15cm, na utilização de MC.

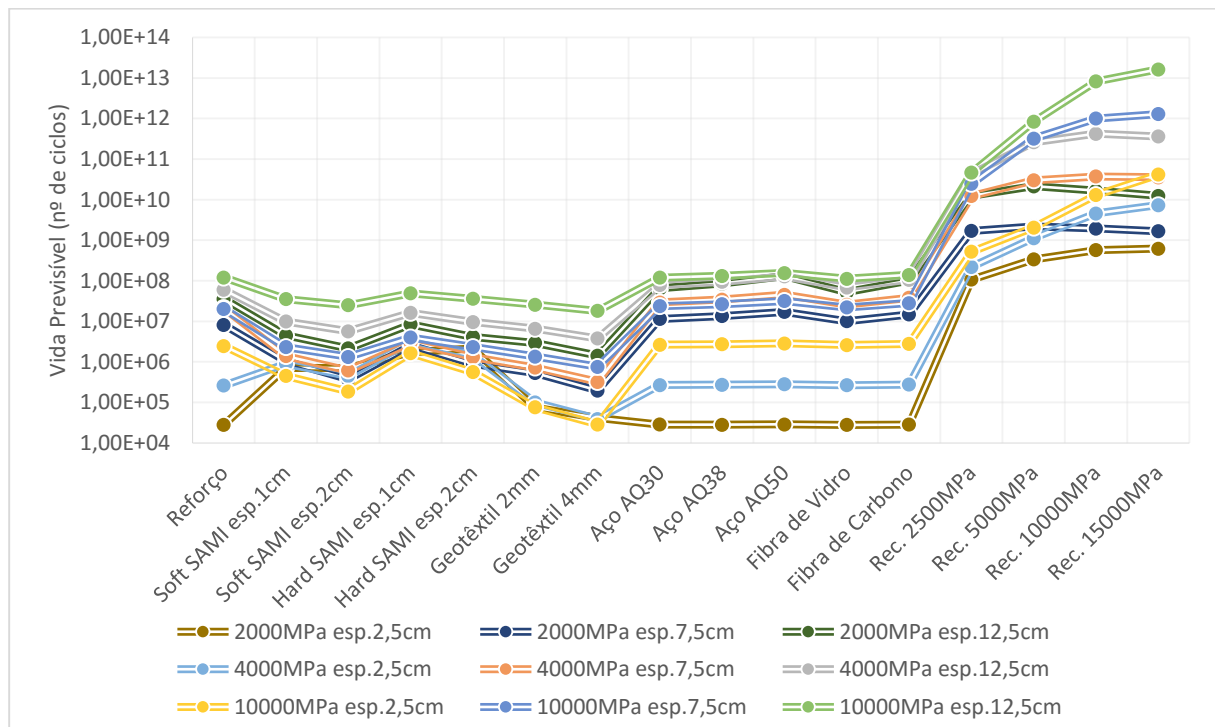


Figura 4.14 - Representação gráfica da vida previsível das propostas de reabilitação sobre pavimento fendilhado com E=2000MPa e espessura de 15cm, na utilização de BMB.

## 5. Considerações Finais

### 5.1. Síntese do Trabalho e Principais Conclusões

Os pavimentos degradados ao nível da sua capacidade estrutural têm de ser intervencionados ao nível estrutural, constando-se que existe um considerável número de soluções que o permitem fazer tendo em atenção o fenómeno da reflexão de fendas, o qual constitui o principal fator de degradação prematura de uma reabilitação estrutural do tipo reforço sobre pavimentos fendilhados.

De modo a refletir sobre as situações em que cada técnica de reabilitação estrutural é mais eficiente, foi realizado um estudo que permite reproduzir o comportamento mecânico do pavimento reforçado através da modelação numérica baseada no método dos elementos finitos. Das simulações efetuadas com o modelo numérico, obtiveram-se um conjunto de valores das extensões de Von Mises “equivalentes”, que quando utilizadas em valor médio podem ser aplicadas às expressões de cálculo da resistência à fadiga por flexão a que a camada betuminosa de reforço está sujeita na sua face inferior, para que com isso seja possível determinar a vida útil previsível das diferentes soluções de reabilitação.

Inicialmente analisaram-se os resultados obtidos para um reforço sobre pavimento fendilhado, através da expressão da Shell e expressão de Minhoto (2005), constatando-se que a expressão de Minhoto (2005) traduz melhor o comportamento das duas misturas betuminosas consideradas (mistura convencional e mistura modificada com borracha).

Quando se observa a influência dos parâmetros, módulo de deformabilidade e espessura das camadas, sobre o comportamento mecânico, constata-se que:

- Na camada fendilhada, é preferível ter uma maior espessura do que um maior módulo de deformabilidade, ou seja, a espessura tem um contributo mais benéfico do que o módulo de deformabilidade;
- Na camada de reforço, é igualmente preferível aumentar a espessura em vez do módulo de deformabilidade, o que se pode revelar menos económico;
- Nas técnicas de eliminação de fendas (reciclagem), é preferível o aumento do módulo de deformabilidade em vez da espessura (contrariamente às situações anteriores).

Quando se observa o comportamento das diferentes técnicas de reabilitação constata-se as seguintes características:

- **Técnicas do tipo SAMI** (Soft SAMI, Hard SAMI e Geotêxtil Impregnado com Betume):

- Apenas têm ação benéfica em situações bastante específicas, sendo que nas situações em que não oferecem um contributo benéfico têm uma influência negativa, reduzindo a vida útil previsível do reforço, quando comparadas às situações de reforço sem aplicação da intercamada do tipo SAMI. Indiciando um comportamento de camadas “descoladas”.
- Apenas são eficazes quando aplicadas sob reforços de reduzida espessura e rigidez, nomeadamente em situações de reforço com espessura de 2,5cm e módulo de deformabilidade de 2000MPa e 4000MPa, o que corrobora com o estudo efetuado por Freitas (2012). Sendo que a eficácia da técnica melhora quando aplicada sobre camadas fendilhadas com maior rigidez.
- A melhor eficácia é sempre dada pela Hard SAMI, situação que não se verifica no estudo de Shatnawi et al. (2011) em que a Soft SAMI se apresenta mais benéfica que a Hard SAMI quando aplicada sob reforços de 2cm de espessura. Esta situação pode dever-se às extensões de Von Mises consideradas, uma vez que no estudo efetuado por Shatnawi et al. (2011) as extensões foram consideradas apenas em dois pontos acima da fenda enquanto no presente trabalho se considerou um conjunto de pontos da totalidade da camada de reforço acima da fenda.
- **Grelhas/armaduras:**
  - A resistência à fadiga aumenta com o respetivo aumento da área da secção e/ou aumento do módulo de deformabilidade das grelhas.
  - Em situações extremas de reforços muito flexíveis ou muito rígidos, as armaduras não conferem um aumento significativo na resistência à fadiga.
  - A melhor eficácia é obtida em situações de reforço com módulo de deformabilidade na ordem dos 2000MPa a 4000MPa e em espessuras de 7,5 a 12,5cm.
- **Reciclagem:**
  - Conferem uma vida útil previsível idêntica à dos pavimentos novos, podendo até ser considerada bastante exagerada aquando da utilização de BMB, pelo que é possível reduzir as espessuras das camadas recicladas de forma a obter uma vida previsível mais “modesta”.
  - Para as camadas recicladas com módulos de deformabilidade de 2500MPa e 5000MPa a melhor resistência à fadiga é dada pela maior espessura da camada reciclada (25cm).

- Para as camadas com módulos de deformabilidade de 10000MPa e 15000MPa a melhor resistência à fadiga é dada pela menor espessura da camada reciclada (17,5cm).

O facto das técnicas do tipo SAMI serem bastante eficazes sobre camadas com elevada rigidez e sob camadas com bastante flexibilidade, demonstra o porquê de serem ideais e aconselhadas para aplicação em intercamada anti propagação de fendas entre a camada betuminosa de desgaste e a camada reciclada com adição de cimento que compreenda um módulo de deformabilidade superior a 10000MPa.

As técnicas de reciclagem, uma vez que removem a totalidade das patologias e os resultados do estudo comprovam a sua elevada resistência à fadiga, permitem a sua comparação à construção de pavimentos novos. Prevendo-se que é possível reduzir as espessuras das camadas recicladas ou das camadas em mistura betuminosa e mesmo assim obter uma vida útil previsível idêntica à dos pavimentos novos.

## **5.2. Desenvolvimentos Futuros**

Apesar de o trabalho efetuado ter conduzido a resultados e conclusões bastante uteis para uma escolha mais consciente das intervenções a efetuar em diferentes casos de reabilitação, vê-se como pertinente o desenvolvimento de trabalhos futuros que visem estudar estas e outras situações de reabilitação, onde sejam implementadas: variações dos parâmetros do solo de fundação, camadas granulares, camadas fendilhadas, camadas de reforço e camadas recicladas.

Uma vez que as situações do tipo SAMI apresentam divergências relativamente a outros estudos, considera-se relevante a elaboração de estudos que incidam sobre o comportamento destas técnicas usando outras abordagens, como por exemplo a Mecânica da Fratura, ou ainda o desenvolvimento de estudos numérico que permita determinar a melhor forma de consideração das extensões de Von Mises, na realização de ensaios “in situ” através de amostras ou trechos de estrada experimentais.



## Referências Bibliográficas

- ANSYS®. (s.d.). Academic Teaching Introductory, Release 15.0 *ANSYS Help Viewer*.
- Baptista, A. M., 2006. *Misturas Betuminosas Recicladas a Quente em Central – Contribuição para o seu Estudo e Aplicação*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Batista, F. G., 2009. *Reabilitação de Pavimentos Flexíveis através de Reciclagem com Cimento*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- BP Bitumen, 2014. *Guide to Bituminous Binders in Asphalt and Sprayed Sealing Applications*.
- Branco, F., Paulo, F., & Santos, L. P. (2008). *Pavimentos Rodoviários*. Almedina.
- Cabeças, H. Z., 2014. *Reciclagem de Pavimentos na Engenharia Rodoviária*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Rural, Escola de Ciências e Tecnologia, Universidade de Évora. Évora.
- Colombier, G., 1997. *Cracking in pavements: nature and origin of cracks*. Vanelstrate, A., Francken, L. (eds). RILEM report 18, Prevention of reflective cracking in pavements. E & FM Spon. London, UK.
- Costa, H. M., 2008. *Análise de Custos de Ciclo de Vida Relativa a Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Correia, N., 2010. *Comportamento de geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica usados como sistema anti-reflexão de trincas*. Dissertação de mestrado em Ciências, Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.
- Cunha, C., 2010. *Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis - Diferentes Tipos de Reciclagem*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Dourado, F., Scherer, J. *Uso de novos materiais em forma de grelhas “Pré-betuminadas” para reforço de pavimentos Rodoviários*. S&P Clever Reinforcement Company.
-

- Estradas de Portugal, 2008. *Catálogo de Degradações dos Pavimentos Rodoviários*. Almada.
- Fibertex Nonwovens, 2013. *Fibertex AM-2 para dissipação de tensões no asfalto*. Elephant Nonwovens Portugal, Lda. Estoril.
- Fonseca, J. M., 2013. *Análise comparativa de soluções adotadas para a reabilitação de pavimentos flexíveis que integram a rede rodoviária nacional*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Freitas, M., 2012. *Avaliação Numérica do Comportamento de Reforços de Pavimento à Reflexão de Fendas*. Relatório de Projeto de mestrado em Engenharia da Construção, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança.
- Gomes, L., 2005. *Reciclagem de Misturas Betuminosas a Quente em Central*. Dissertação de mestrado em Vias da Comunicação, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- JAE (Junta Autónoma das Estradas), 1995. *Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*. Almada.
- Jofré, C., 2003. *Reciclado de Firmes com Cimento*. Azevedo, M., Ribeiro, J., Teixeira, A. (eds). II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários, Reciclagem de Pavimentos, Maio de 2003. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Neves, J., Alves, A., 2008. *Influência do reforço de Misturas Betuminosas com Malhas de Aço no Comportamento Estrutural de Pavimentos*. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.
- Nunes, M., 2008. *Reciclagem de Pavimentos “in situ” a Frio com Emulsão Betuminosa – a Experiência Portuguesa*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Maia, I., 2012. *Caraterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Martinho, F., 2005. *Reciclagem de Pavimentos – Estado da Arte, Situação Portuguesa e Seleção do Processo Construtivo*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

- Menezes, M., 2008. *Estudo das Características de Superfície de Pavimentos Rodoviários para Análise da Segurança do Tráfego*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Merighi, J., 2003. *Reciclagem a Frio com Ligantes Betuminosos – Experiência Brasileira*. Azevedo, M., Ribeiro, J., Teixeira, A. (eds). II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários, Reciclagem de Pavimentos, Maio de 2003. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Minhoto, M. J., 2005. *Consideração da Temperatura no Comportamento à Reflexão de Fendas dos Reforços de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Tese de Doutoramento. Universidade do Minho.
- Minnesota Department of Transportation, 2011. *Pavement Distress Identification Manual*. Pavement Management Unit, Office of Materials and Road Research. Maplewood, Minnesota, USA.
- Pais, J., Minhoto, M., & Shatnawi, S. (2012). *Multi-cracks modeling in reflective cracking*. 7th International RILEM Conference on Cracking in Asphaltic Pavements. Delft, Netherlands.
- Pereira, P., & Miranda, C., 1999. *Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários*. Universidade do Minho, Braga.
- Ribeiro, J., 2003. *Reciclagem a Frio com Espuma Betume*. Azevedo, M., Ribeiro, J., Teixeira, A. (eds). II Jornadas Técnicas de Pavimentos Rodoviários, Reciclagem de Pavimentos, Maio de 2003. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Fundação Calouste Gulbenkian.
- Reis, N., 2009. *Análise Estrutural de Pavimentos Rodoviários – Aplicação a um Pavimento Reforçado com Malha de Aço*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- Sousa, J. B., Pais, J. C., Saim, R., Way, G., & Stubstad, R. N., 2002. *Development of a Mechanistic-Empirical Based Overlay Design Method for Reflective Cracking*. Journal of the Transportation Research Board. Washington D.C., USA.

- Shatnawi, S., Pais, J., & Minhoto, M., 2011. *Asphalt rubber interlayer benefits on reflective crack retardation of flexible pavement overlays*. In Southern African Transport Conference. Pretoria, South Africa.
- Shatnawi, S., Pais, J., & Minhoto, M., 2012. *Asphalt rubber interlayer benefits in minimizing reflective cracking of overlays over rigid pavements*. 7th International RILEM Conference on Cracking in Asphaltic Pavements.
- Tavares, M., 2013. *Sistemas de apoio à conservação corrente*. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior. Covilhã.
- Vanelstrate, A., de Bondt, A., 1997. *Cracking prevention and use of overlay systems*. Vanelstrate, A., Francken, L. (eds). RILEM report 18, Prevention of reflective cracking in pavements. E & FM Spon. London, UK.
- Vanelstrate, A., de Bondt, A., Courard, L., 1997. *Characterization of overlay systems*. Vanelstrate, A., Francken, L. (eds). RILEM report 18, Prevention of reflective cracking in pavements. E & FM Spon. London, UK.
- Way, G., 2003. OGFC meets CRM. *Where rubber meets the rubber 15 years of durable success*. Proceedings – Asphalt Rubber 2003 Conference. Jorge B. Sousa (ed). Brasília, Brasil.
- Wirtgen Group, 2001. *Foam Bitumen – The Innovative Technology for Road*. Alemanha.

---

## Anexos

Anexo A.1 – Situações de Simulação	i
Anexo A.2 – Tabela de Resultados da Comparação de Expressões	xv
Anexo A.3 – Tabelas de resultados em termos de Extensões de Von Mises Equivalente	xvii
Anexo A.4 – Tabelas de resultados em termos de Vida Útil Previsível	xix



## Anexo A.1 – Situações de Simulação

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa (a).

		a01	a02	a03	a04	a05	a06	a07	a08	a09
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		a10	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a17	a18
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		a19	a20	a21	a22	a23	a24	a25	a26	a27
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		a28	a29	a30	a31	a32	a33	a34	a35	a36
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e Soft SAMI (b1).

		<b>b101</b>	<b>b102</b>	<b>b103</b>	<b>b104</b>	<b>b105</b>	<b>b106</b>	<b>b107</b>	<b>b108</b>	<b>b109</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Soft SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b110</b>	<b>b111</b>	<b>b112</b>	<b>b113</b>	<b>b114</b>	<b>b115</b>	<b>b116</b>	<b>b117</b>	<b>b118</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Soft SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b119</b>	<b>b120</b>	<b>b121</b>	<b>b122</b>	<b>b123</b>	<b>b124</b>	<b>b125</b>	<b>b126</b>	<b>b127</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Soft SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b128</b>	<b>b129</b>	<b>b130</b>	<b>b131</b>	<b>b132</b>	<b>b133</b>	<b>b134</b>	<b>b135</b>	<b>b136</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Soft SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e Soft SAMI (b1) (continuação).

		<b>b137</b>	<b>b138</b>	<b>b139</b>	<b>b140</b>	<b>b141</b>	<b>b142</b>	<b>b143</b>	<b>b144</b>	<b>b145</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Soft SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b146</b>	<b>b147</b>	<b>b148</b>	<b>b149</b>	<b>b150</b>	<b>b151</b>	<b>b152</b>	<b>b153</b>	<b>b154</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Soft SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b155</b>	<b>b156</b>	<b>b157</b>	<b>b158</b>	<b>b159</b>	<b>b160</b>	<b>b161</b>	<b>b162</b>	<b>b163</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Soft SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b164</b>	<b>b165</b>	<b>b166</b>	<b>b167</b>	<b>b168</b>	<b>b169</b>	<b>b170</b>	<b>b171</b>	<b>b172</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Soft SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e Hard SAMI (b2).

		<b>b201</b>	<b>b202</b>	<b>b203</b>	<b>b204</b>	<b>b205</b>	<b>b206</b>	<b>b207</b>	<b>b208</b>	<b>b209</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Hard SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b210</b>	<b>b211</b>	<b>b212</b>	<b>b213</b>	<b>b214</b>	<b>b215</b>	<b>b216</b>	<b>b217</b>	<b>b218</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Hard SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b219</b>	<b>b220</b>	<b>b221</b>	<b>b222</b>	<b>b223</b>	<b>b224</b>	<b>b225</b>	<b>b226</b>	<b>b227</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Hard SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b228</b>	<b>b229</b>	<b>b230</b>	<b>b231</b>	<b>b232</b>	<b>b233</b>	<b>b234</b>	<b>b235</b>	<b>b236</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Hard SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e Hard SAMI (b2) (continuação).

		<b>b237</b>	<b>b238</b>	<b>b239</b>	<b>b240</b>	<b>b241</b>	<b>b242</b>	<b>b243</b>	<b>b244</b>	<b>b245</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Hard SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b246</b>	<b>b247</b>	<b>b248</b>	<b>b249</b>	<b>b250</b>	<b>b251</b>	<b>b252</b>	<b>b253</b>	<b>b254</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Hard SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b255</b>	<b>b256</b>	<b>b257</b>	<b>b258</b>	<b>b259</b>	<b>b260</b>	<b>b261</b>	<b>b262</b>	<b>b263</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Hard SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>b264</b>	<b>b265</b>	<b>b266</b>	<b>b267</b>	<b>b268</b>	<b>b269</b>	<b>b270</b>	<b>b271</b>	<b>b272</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Hard SAMI</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e geotêxtil impregnado com betume (c).

		<b>c01</b>	<b>c02</b>	<b>c03</b>	<b>c04</b>	<b>c05</b>	<b>c06</b>	<b>c07</b>	<b>c08</b>	<b>c09</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Geotêxtil</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>c10</b>	<b>c11</b>	<b>c12</b>	<b>c13</b>	<b>c14</b>	<b>c15</b>	<b>c16</b>	<b>c17</b>	<b>c18</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Geotêxtil</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>c19</b>	<b>c20</b>	<b>c21</b>	<b>c22</b>	<b>c23</b>	<b>c24</b>	<b>c25</b>	<b>c26</b>	<b>c27</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Geotêxtil</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>c28</b>	<b>c29</b>	<b>c30</b>	<b>c31</b>	<b>c32</b>	<b>c33</b>	<b>c34</b>	<b>c35</b>	<b>c36</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Geotêxtil</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e geotêxtil impregnado com betume (c) (*continuação*).

		<b>c37</b>	<b>c38</b>	<b>c39</b>	<b>c40</b>	<b>c41</b>	<b>c42</b>	<b>c43</b>	<b>c44</b>	<b>c45</b>
<b>Reforço</b>	Esp. (m)	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	E (MPa)	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Geotêxtil</b>	Esp. (m)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
<b>Pav. Fendilhado</b>	Esp. (m)	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	E (MPa)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	Esp. (m)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	E (MPa)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	Esp. (m)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	E (MPa)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	E (MPa)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>c46</b>	<b>c47</b>	<b>c48</b>	<b>c49</b>	<b>c50</b>	<b>c51</b>	<b>c52</b>	<b>c53</b>	<b>c54</b>
<b>Reforço</b>	Esp. (m)	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	E (MPa)	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Geotêxtil</b>	Esp. (m)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
<b>Pav. Fendilhado</b>	Esp. (m)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	E (MPa)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	Esp. (m)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	E (MPa)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	Esp. (m)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	E (MPa)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	E (MPa)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>c55</b>	<b>c56</b>	<b>c57</b>	<b>c58</b>	<b>c59</b>	<b>c60</b>	<b>c61</b>	<b>c62</b>	<b>c63</b>
<b>Reforço</b>	Esp. (m)	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	E (MPa)	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Geotêxtil</b>	Esp. (m)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
<b>Pav. Fendilhado</b>	Esp. (m)	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	E (MPa)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	Esp. (m)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	E (MPa)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	Esp. (m)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	E (MPa)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	E (MPa)	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>c64</b>	<b>c65</b>	<b>c66</b>	<b>c67</b>	<b>c68</b>	<b>c69</b>	<b>c71</b>	<b>c71</b>	<b>c72</b>
<b>Reforço</b>	Esp. (m)	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	E (MPa)	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Geotêxtil</b>	Esp. (m)	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
<b>Pav. Fendilhado</b>	Esp. (m)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	E (MPa)	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	Esp. (m)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	E (MPa)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	Esp. (m)	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	E (MPa)	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	E (MPa)	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e grelha em aço AQ30 (d1).

		<b>d101</b>	<b>d102</b>	<b>d103</b>	<b>d104</b>	<b>d105</b>	<b>d106</b>	<b>d107</b>	<b>d108</b>	<b>d109</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d110</b>	<b>d111</b>	<b>d112</b>	<b>d113</b>	<b>d114</b>	<b>d115</b>	<b>d116</b>	<b>d117</b>	<b>d118</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d119</b>	<b>d120</b>	<b>d121</b>	<b>d122</b>	<b>d123</b>	<b>d124</b>	<b>d125</b>	<b>d126</b>	<b>d127</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d128</b>	<b>d129</b>	<b>d130</b>	<b>d131</b>	<b>d132</b>	<b>d133</b>	<b>d134</b>	<b>d135</b>	<b>d136</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356	2,356
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e grelha em aço AQ38 (d2).

		<b>d201</b>	<b>d202</b>	<b>d203</b>	<b>d204</b>	<b>d205</b>	<b>d206</b>	<b>d207</b>	<b>d208</b>	<b>d209</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d210</b>	<b>d211</b>	<b>d212</b>	<b>d213</b>	<b>d214</b>	<b>d215</b>	<b>d216</b>	<b>d217</b>	<b>d218</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d219</b>	<b>d220</b>	<b>d221</b>	<b>d222</b>	<b>d223</b>	<b>d224</b>	<b>d225</b>	<b>d226</b>	<b>d227</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d228</b>	<b>d229</b>	<b>d230</b>	<b>d231</b>	<b>d232</b>	<b>d233</b>	<b>d234</b>	<b>d235</b>	<b>d236</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780	3,780
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e grelha em aço AQ50 (d3).

		<b>d301</b>	<b>d302</b>	<b>d303</b>	<b>d304</b>	<b>d305</b>	<b>d306</b>	<b>d307</b>	<b>d308</b>	<b>d309</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d310</b>	<b>d311</b>	<b>d312</b>	<b>d313</b>	<b>d314</b>	<b>d315</b>	<b>d316</b>	<b>d317</b>	<b>d318</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d319</b>	<b>d320</b>	<b>d321</b>	<b>d322</b>	<b>d323</b>	<b>d324</b>	<b>d325</b>	<b>d326</b>	<b>d327</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>d328</b>	<b>d329</b>	<b>d330</b>	<b>d331</b>	<b>d332</b>	<b>d333</b>	<b>d334</b>	<b>d335</b>	<b>d336</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Aço</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545	6,545
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e grelha em fibra de vidro (e).

		<b>e01</b>	<b>e02</b>	<b>e03</b>	<b>e04</b>	<b>e05</b>	<b>e06</b>	<b>e07</b>	<b>e08</b>	<b>e09</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>F. Vidro</b>	<b>E (GPa)</b>	47	47	47	47	47	47	47	47	47
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>e10</b>	<b>e11</b>	<b>e12</b>	<b>e13</b>	<b>e14</b>	<b>e15</b>	<b>e16</b>	<b>e17</b>	<b>e18</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>F. Vidro</b>	<b>E (GPa)</b>	47	47	47	47	47	47	47	47	47
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>e19</b>	<b>e20</b>	<b>e21</b>	<b>e22</b>	<b>e23</b>	<b>e24</b>	<b>e25</b>	<b>e26</b>	<b>e27</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>F. Vidro</b>	<b>E (GPa)</b>	47	47	47	47	47	47	47	47	47
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>e28</b>	<b>e29</b>	<b>e30</b>	<b>e31</b>	<b>e32</b>	<b>e33</b>	<b>e34</b>	<b>e35</b>	<b>e36</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>F. Vidro</b>	<b>E (GPa)</b>	47	47	47	47	47	47	47	47	47
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e grelha em fibra de carbono (f).

		<b>f01</b>	<b>f02</b>	<b>f03</b>	<b>f04</b>	<b>f05</b>	<b>f06</b>	<b>f07</b>	<b>f08</b>	<b>f09</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>F. Carbono</b>	<b>E (GPa)</b>	160	160	160	160	160	160	160	160	160
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>f10</b>	<b>f11</b>	<b>f12</b>	<b>f13</b>	<b>f14</b>	<b>f15</b>	<b>f16</b>	<b>f17</b>	<b>f18</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>F. Carbono</b>	<b>E (GPa)</b>	160	160	160	160	160	160	160	160	160
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>f19</b>	<b>f20</b>	<b>f21</b>	<b>f22</b>	<b>f23</b>	<b>f24</b>	<b>f25</b>	<b>f26</b>	<b>f27</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>F. Carbono</b>	<b>E (GPa)</b>	160	160	160	160	160	160	160	160	160
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>f28</b>	<b>f29</b>	<b>f30</b>	<b>f31</b>	<b>f32</b>	<b>f33</b>	<b>f34</b>	<b>f35</b>	<b>f36</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>F. Carbono</b>	<b>E (GPa)</b>	160	160	160	160	160	160	160	160	160
<b>Pav. Fendilhado</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	<b>E (MPa)</b>	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
<b>Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	<b>E (MPa)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e reciclagem com espuma de betume e/ou cimento (g).

		<b>g01</b>	<b>g02</b>	<b>g03</b>	<b>g04</b>	<b>g05</b>	<b>g06</b>	<b>g07</b>	<b>g08</b>	<b>g09</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175
	<b>E (MPa)</b>	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>g10</b>	<b>g11</b>	<b>g12</b>	<b>g13</b>	<b>g14</b>	<b>g15</b>	<b>g16</b>	<b>g17</b>	<b>g18</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	<b>E (MPa)</b>	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500	2500
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>g19</b>	<b>g20</b>	<b>g21</b>	<b>g22</b>	<b>g23</b>	<b>g24</b>	<b>g25</b>	<b>g26</b>	<b>g27</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175
	<b>E (MPa)</b>	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>g28</b>	<b>g29</b>	<b>g30</b>	<b>g31</b>	<b>g32</b>	<b>g33</b>	<b>g34</b>	<b>g35</b>	<b>g36</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	<b>E (MPa)</b>	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>g37</b>	<b>g38</b>	<b>g39</b>	<b>g40</b>	<b>g41</b>	<b>g42</b>	<b>g43</b>	<b>g44</b>	<b>g45</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175
	<b>E (MPa)</b>	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Parâmetros das situações de simulação para a proposta de reforço com mistura betuminosa e reciclagem com espuma de betume e/ou cimento (g) (*continuação*).

		<b>g46</b>	<b>g47</b>	<b>g48</b>	<b>g49</b>	<b>g50</b>	<b>g51</b>	<b>g52</b>	<b>g53</b>	<b>g54</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	<b>E (MPa)</b>	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>g55</b>	<b>g56</b>	<b>g57</b>	<b>g58</b>	<b>g59</b>	<b>g60</b>	<b>g61</b>	<b>g62</b>	<b>g63</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175	0.175
	<b>E (MPa)</b>	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		<b>g64</b>	<b>g65</b>	<b>g66</b>	<b>g67</b>	<b>g68</b>	<b>g69</b>	<b>g70</b>	<b>g71</b>	<b>g72</b>
<b>Reforço</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125	0.025	0.075	0.125
	<b>E (MPa)</b>	2000	2000	2000	4000	4000	4000	10000	10000	10000
<b>Camada Reciclada</b>	<b>Esp. (m)</b>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
	<b>E (MPa)</b>	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
<b>Sub-Base</b>	<b>Esp. (m)</b>	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	<b>E (MPa)</b>	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Fundação</b>	<b>E (MPa)</b>	50	50	50	50	50	50	50	50	50

## Anexo A.2 – Tabela de Resultados da Comparação de Expressões

Tabela de resultados das extensões de Von Mises equivalentes e da resistência à fadiga pelas diferentes fórmulas, Shell e Minhoto, e diferentes misturas betuminosa, mistura betuminosa convencional (MC) e mistura betuminosa com betume modificado com borracha (BMB).

Simulação	Reforço com Mistura Betuminosa								
	Camada de Reforço		Camada Fendilhada		εEQV	Nf (MC)		Nf (BMB)	
	E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)		Shell	Minhoto	Shell	Minhoto
a01	2000	0.025	2000	0.075	7.91E-04	6.88E+03	1.30E+04	6.27E+04	1.66E+04
a02	2000	0.075	2000	0.075	3.57E-04	3.65E+05	3.02E+05	3.32E+06	4.10E+06
a03	2000	0.125	2000	0.075	2.95E-04	9.57E+05	6.48E+05	8.71E+06	1.56E+07
a04	4000	0.025	2000	0.075	4.42E-04	3.61E+04	5.14E+04	3.29E+05	1.16E+05
a05	4000	0.075	2000	0.075	2.46E-04	6.73E+05	5.22E+05	6.13E+06	6.72E+06
a06	4000	0.125	2000	0.075	2.04E-04	1.72E+06	1.10E+06	1.56E+07	2.46E+07
a07	10000	0.025	2000	0.075	2.38E-04	1.54E+05	1.76E+05	1.40E+06	5.40E+05
a08	10000	0.075	2000	0.075	1.67E-04	9.07E+05	7.18E+05	8.26E+06	6.33E+06
a09	10000	0.125	2000	0.075	1.21E-04	4.45E+06	2.53E+06	4.05E+07	5.75E+07
a10	2000	0.025	2000	0.15	7.34E-04	9.98E+03	1.74E+04	9.09E+04	2.78E+04
a11	2000	0.075	2000	0.15	3.24E-04	5.97E+05	4.46E+05	5.44E+06	8.13E+06
a12	2000	0.125	2000	0.15	2.62E-04	1.73E+06	1.04E+06	1.58E+07	3.57E+07
a13	4000	0.025	2000	0.15	3.94E-04	6.46E+04	8.15E+04	5.88E+05	2.59E+05
a14	4000	0.075	2000	0.15	2.09E-04	1.54E+06	1.01E+06	1.41E+07	2.13E+07
a15	4000	0.125	2000	0.15	1.80E-04	3.24E+06	1.81E+06	2.95E+07	5.95E+07
a16	10000	0.025	2000	0.15	1.91E-04	4.58E+05	4.18E+05	4.17E+06	2.45E+06
a17	10000	0.075	2000	0.15	1.41E-04	2.10E+06	1.40E+06	1.91E+07	2.03E+07
a18	10000	0.125	2000	0.15	1.09E-04	7.55E+06	3.85E+06	6.88E+07	1.20E+08
a19	2000	0.025	4000	0.075	8.55E-04	4.65E+03	9.53E+03	4.24E+04	9.62E+03
a20	2000	0.075	4000	0.075	3.78E-04	2.77E+05	2.43E+05	2.52E+06	2.80E+06
a21	2000	0.125	4000	0.075	3.03E-04	8.27E+05	5.77E+05	7.53E+06	1.28E+07
a22	4000	0.025	4000	0.075	4.82E-04	2.35E+04	3.66E+04	2.14E+05	6.39E+04
a23	4000	0.075	4000	0.075	2.48E-04	6.49E+05	5.07E+05	5.91E+06	6.39E+06
a24	4000	0.125	4000	0.075	2.03E-04	1.75E+06	1.11E+06	1.60E+07	2.53E+07
a25	10000	0.025	4000	0.075	2.52E-04	1.17E+05	1.41E+05	1.06E+06	3.67E+05
a26	10000	0.075	4000	0.075	1.57E-04	1.24E+06	9.21E+05	1.13E+07	9.78E+06
a27	10000	0.125	4000	0.075	1.17E-04	5.32E+06	2.92E+06	4.84E+07	7.37E+07
a28	2000	0.025	4000	0.15	7.61E-04	8.33E+03	1.51E+04	7.58E+04	2.16E+04
a29	2000	0.075	4000	0.15	3.21E-04	6.28E+05	4.64E+05	5.72E+06	8.71E+06
a30	2000	0.125	4000	0.15	2.55E-04	1.98E+06	1.15E+06	1.80E+07	4.28E+07
a31	4000	0.025	4000	0.15	4.09E-04	5.35E+04	7.02E+04	4.87E+05	2.00E+05
a32	4000	0.075	4000	0.15	1.95E-04	2.18E+06	1.32E+06	1.99E+07	3.43E+07
a33	4000	0.125	4000	0.15	1.70E-04	4.25E+06	2.25E+06	3.87E+07	8.66E+07
a34	10000	0.025	4000	0.15	1.90E-04	4.69E+05	4.26E+05	4.27E+06	2.54E+06
a35	10000	0.075	4000	0.15	1.24E-04	4.04E+06	2.34E+06	3.68E+07	5.03E+07
a36	10000	0.125	4000	0.15	1.01E-04	1.09E+07	5.16E+06	9.96E+07	2.00E+08



### Anexo A.3 – Tabelas de resultados em termos de Extensões de Von Mises Equivalente

Tabelas de extensões de Von Mises equivalentes.

Camada de Reforço		Camada Fendilhada		a	b1		b2		c		d1	d2	d3	e	f	g			
E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)		esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.002m	esp. 0.004m						2500MPa	5000MPa	10000MPa	15000MPa
2000	0.025	2000	0.075	7.91E-04	5.85E-04	5.80E-04	4.74E-04	4.56E-04	7.79E-04	8.11E-04	7.89E-04	7.89E-04	7.88E-04	7.90E-04	7.88E-04	2.62E-04	2.08E-04	1.76E-04	1.68E-04
2000	0.075	2000	0.075	3.57E-04	4.88E-04	5.51E-04	4.14E-04	4.74E-04	5.45E-04	6.06E-04	3.38E-04	3.30E-04	3.20E-04	3.45E-04	3.26E-04	1.43E-04	1.36E-04	1.35E-04	1.37E-04
2000	0.125	2000	0.075	2.95E-04	3.76E-04	4.13E-04	3.38E-04	3.72E-04	4.08E-04	4.42E-04	2.69E-04	2.59E-04	2.44E-04	2.78E-04	2.53E-04	1.06E-04	9.08E-05	9.23E-05	9.71E-05
4000	0.025	2000	0.075	4.42E-04	4.39E-04	4.63E-04	3.43E-04	3.68E-04	5.66E-04	6.07E-04	4.40E-04	4.39E-04	4.38E-04	4.40E-04	4.39E-04	1.87E-04	1.49E-04	1.12E-04	9.70E-05
4000	0.075	2000	0.075	2.46E-04	3.48E-04	3.81E-04	3.06E-04	3.38E-04	3.82E-04	4.16E-04	2.35E-04	2.29E-04	2.20E-04	2.39E-04	2.25E-04	8.31E-05	7.17E-05	6.79E-05	6.66E-05
4000	0.125	2000	0.075	2.04E-04	2.50E-04	2.67E-04	2.31E-04	2.46E-04	2.67E-04	2.83E-04	1.96E-04	1.90E-04	1.82E-04	2.00E-04	1.87E-04	7.26E-05	5.02E-05	4.28E-05	4.29E-05
10000	0.025	2000	0.075	2.38E-04	3.21E-04	3.44E-04	2.59E-04	2.85E-04	3.89E-04	4.19E-04	2.34E-04	2.33E-04	2.32E-04	2.35E-04	2.33E-04	1.09E-04	9.68E-05	7.69E-05	6.41E-05
10000	0.075	2000	0.075	1.67E-04	2.14E-04	2.27E-04	1.98E-04	2.09E-04	2.30E-04	2.44E-04	1.63E-04	1.60E-04	1.56E-04	1.65E-04	1.59E-04	5.62E-05	3.62E-05	3.02E-05	2.92E-05
10000	0.125	2000	0.075	1.21E-04	1.38E-04	1.43E-04	1.32E-04	1.37E-04	1.44E-04	1.50E-04	1.21E-04	1.20E-04	1.17E-04	1.23E-04	1.19E-04	5.33E-05	3.36E-05	2.14E-05	1.78E-05
2000	0.025	2000	0.15	7.34E-04	4.61E-04	4.60E-04	4.05E-04	3.93E-04	6.37E-04	6.93E-04	7.33E-04	7.32E-04	7.31E-04	7.34E-04	7.32E-04	2.24E-04	1.90E-04	1.76E-04	1.74E-04
2000	0.075	2000	0.15	3.24E-04	4.36E-04	5.05E-04	3.84E-04	4.45E-04	4.80E-04	5.53E-04	3.08E-04	3.01E-04	2.91E-04	3.14E-04	2.97E-04	1.50E-04	1.45E-04	1.47E-04	1.51E-04
2000	0.125	2000	0.15	2.62E-04	3.53E-04	3.93E-04	3.23E-04	3.57E-04	3.75E-04	4.16E-04	2.40E-04	2.31E-04	2.17E-04	2.48E-04	2.26E-04	1.13E-04	1.04E-04	1.08E-04	1.13E-04
4000	0.025	2000	0.15	3.94E-04	3.29E-04	3.64E-04	2.75E-04	3.08E-04	4.52E-04	5.17E-04	3.92E-04	3.91E-04	3.89E-04	3.92E-04	3.90E-04	1.49E-04	1.18E-04	9.63E-05	8.99E-05
4000	0.075	2000	0.15	2.09E-04	3.09E-04	3.48E-04	2.77E-04	3.12E-04	3.40E-04	3.82E-04	1.99E-04	1.95E-04	1.87E-04	2.03E-04	1.92E-04	8.35E-05	7.34E-05	7.11E-05	7.16E-05
4000	0.125	2000	0.15	1.80E-04	2.33E-04	2.52E-04	2.17E-04	2.34E-04	2.47E-04	2.68E-04	1.73E-04	1.68E-04	1.61E-04	1.76E-04	1.66E-04	6.97E-05	5.37E-05	5.01E-05	5.13E-05
10000	0.025	2000	0.15	1.91E-04	2.44E-04	2.77E-04	2.03E-04	2.37E-04	3.16E-04	3.63E-04	1.89E-04	1.88E-04	1.87E-04	1.90E-04	1.88E-04	8.84E-05	7.26E-05	5.56E-05	4.70E-05
10000	0.075	2000	0.15	1.41E-04	1.93E-04	2.09E-04	1.78E-04	1.93E-04	2.08E-04	2.27E-04	1.38E-04	1.36E-04	1.32E-04	1.40E-04	1.35E-04	5.08E-05	3.50E-05	2.97E-05	2.87E-05
10000	0.125	2000	0.15	1.09E-04	1.30E-04	1.37E-04	1.24E-04	1.30E-04	1.36E-04	1.44E-04	1.09E-04	1.08E-04	1.05E-04	1.10E-04	1.07E-04	4.63E-05	3.05E-05	2.20E-05	1.99E-05
2000	0.025	4000	0.075	8.55E-04	5.76E-04	5.66E-04	4.60E-04	4.35E-04	7.77E-04	8.00E-04	8.54E-04	8.54E-04	8.53E-04	8.54E-04	8.53E-04	2.62E-04	2.08E-04	1.76E-04	1.68E-04
2000	0.075	4000	0.075	3.78E-04	4.75E-04	5.43E-04	3.97E-04	4.62E-04	5.35E-04	5.99E-04	3.61E-04	3.54E-04	3.44E-04	3.67E-04	3.50E-04	1.43E-04	1.36E-04	1.35E-04	1.37E-04
2000	0.125	4000	0.075	3.03E-04	3.69E-04	4.09E-04	3.28E-04	3.65E-04	4.02E-04	4.39E-04	2.74E-04	2.63E-04	2.47E-04	2.84E-04	2.57E-04	1.06E-04	9.08E-05	9.23E-05	9.71E-05
4000	0.025	4000	0.075	4.82E-04	4.29E-04	4.52E-04	3.27E-04	3.52E-04	5.63E-04	5.99E-04	4.80E-04	4.80E-04	4.79E-04	4.80E-04	4.79E-04	1.87E-04	1.49E-04	1.12E-04	9.70E-05
4000	0.075	4000	0.075	2.48E-04	3.40E-04	3.76E-04	2.96E-04	3.31E-04	3.76E-04	4.12E-04	2.37E-04	2.32E-04	2.24E-04	2.41E-04	2.29E-04	8.31E-05	7.17E-05	6.79E-05	6.66E-05
4000	0.125	4000	0.075	2.03E-04	2.46E-04	2.64E-04	2.26E-04	2.43E-04	2.64E-04	2.81E-04	1.92E-04	1.87E-04	1.78E-04	1.97E-04	1.83E-04	7.26E-05	5.02E-05	4.28E-05	4.29E-05
10000	0.025	4000	0.075	2.52E-04	3.13E-04	3.37E-04	2.46E-04	2.74E-04	3.84E-04	4.14E-04	2.49E-04	2.48E-04	2.47E-04	2.49E-04	2.48E-04	1.09E-04	9.68E-05	7.69E-05	6.41E-05
10000	0.075	4000	0.075	1.57E-04	2.11E-04	2.25E-04	1.93E-04	2.06E-04	2.28E-04	2.42E-04	1.53E-04	1.50E-04	1.46E-04	1.55E-04	1.49E-04	5.62E-05	3.62E-05	3.02E-05	2.92E-05
10000	0.125	4000	0.075	1.17E-04	1.37E-04	1.43E-04	1.30E-04	1.35E-04	1.44E-04	1.49E-04	1.16E-04	1.14E-04	1.11E-04	1.17E-04	1.13E-04	5.33E-05	3.36E-05	2.14E-05	1.78E-05
2000	0.025	4000	0.15	7.61E-04	4.37E-04	4.35E-04	3.80E-04	3.64E-04	6.19E-04	6.70E-04	7.61E-04	7.61E-04	7.60E-04	7.62E-04	7.60E-04	2.24E-04	1.90E-04	1.76E-04	1.74E-04
2000	0.075	4000	0.15	3.21E-04	4.18E-04	4.92E-04	3.62E-04	4.28E-04	4.65E-04	5.43E-04	3.09E-04	3.03E-04	2.96E-04	3.13E-04	3.00E-04	1.50E-04	1.45E-04	1.47E-04	1.51E-04
2000	0.125	4000	0.15	2.55E-04	3.43E-04	3.86E-04	3.11E-04	3.48E-04	3.67E-04	4.11E-04	2.31E-04	2.22E-04	2.08E-04	2.39E-04	2.16E-04	1.13E-04	1.04E-04	1.08E-04	1.13E-04
4000	0.025	4000	0.15	4.09E-04	3.07E-04	3.43E-04	2.49E-04	2.84E-04	4.37E-04	5.01E-04	4.08E-04	4.08E-04	4.08E-04	4.08E-04	4.08E-04	1.49E-04	1.18E-04	9.63E-05	8.99E-05
4000	0.075	4000	0.15	1.95E-04	2.98E-04	3.40E-04	2.62E-04	3.01E-04	3.30E-04	3.76E-04	1.87E-04	1.83E-04	1.77E-04	1.90E-04	1.81E-04	8.35E-05	7.34E-05	7.11E-05	7.16E-05
4000	0.125	4000	0.15	1.70E-04	2.27E-04	2.49E-04	2.10E-04	2.29E-04	2.43E-04	2.65E-04	1.62E-04	1.57E-04	1.50E-04	1.65E-04	1.54E-04	6.97E-05	5.37E-05	5.01E-05	5.13E-05
10000	0.025	4000	0.15	1.90E-04	2.27E-04	2.63E-04	1.82E-04	2.20E-04	3.04E-04	3.54E-04	1.89E-04	1.89E-04	1.89E-04	1.89E-04	1.89E-04	8.84E-05	7.26E-05	5.56E-05	4.70E-05
10000	0.075	4000	0.15	1.24E-04	1.87E-04	2.05E-04	1.71E-04	1.87E-04	2.04E-04	2.24E-04	1.21E-04	1.19E-04	1.16E-04	1.22E-04	1.18E-04	5.08E-05	3.50E-05	2.97E-05	2.87E-05
10000	0.125	4000	0.15	1.01E-04	1.28E-04	1.35E-04	1.21E-04	1.28E-04	1.35E-04	1.43E-04	1.01E-04	9.92E-05	9.67E-05	1.02E-04	9.82E-05	4.63E-05	3.05E-05	2.20E-05	1.99E-05

Tabelas percentuais comparativas das extensões de Von Mises equivalentes.

Camada de Reforço		Camada Fendilhada		a	b1		b2		c		d1	d2	d3	e	f	g			
E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)		esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.002m	esp. 0.004m						2500MPa	5000MPa	10000MPa	15000MPa
2000	0.025	2000	0.075	7.91E-04	-26%	-27%	-40%	-42%	-2%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	-67%	-74%	-78%	-79%
2000	0.075	2000	0.075	3.57E-04	36%	54%	16%	33%	52%	69%	-5%	-8%	-11%	-3%	-9%	-60%	-62%	-62%	-62%
2000	0.125	2000	0.075	2.95E-04	28%	40%	15%	26%	38%	50%	-9%	-12%	-17%	-6%	-14%	-64%	-69%	-69%	-67%
4000	0.025	2000	0.075	4.42E-04	-1%	5%	-22%	-17%	28%	37%	-1%	-1%	-1%	0%	-1%	-58%	-66%	-75%	-78%
4000	0.075	2000	0.075	2.46E-04	41%	55%	24%	37%	55%	69%	-5%	-7%	-11%	-3%	-8%	-66%	-71%	-72%	-73%
4000	0.125	2000	0.075	2.04E-04	22%	30%	13%	21%	30%	39%	-4%	-7%	-11%	-2%	-8%	-64%	-75%	-79%	-79%
10000	0.025	2000	0.075	2.38E-04	35%	45%	9%	20%	63%	76%	-2%	-2%	-3%	-1%	-2%	-54%	-59%	-68%	-73%
10000	0.075	2000	0.075	1.67E-04	29%	36%	19%	26%	38%	46%	-2%	-4%	-7%	-1%	-5%	-66%	-78%	-82%	-83%
10000	0.125	2000	0.075	1.21E-04	14%	18%	9%	13%	19%	23%	0%	-1%	-4%	1%	-2%	-56%	-72%	-82%	-85%
2000	0.025	2000	0.15	7.34E-04	-37%	-37%	-45%	-46%	-13%	-6%	0%	0%	0%	0%	0%	-70%	-74%	-76%	-76%
2000	0.075	2000	0.15	3.24E-04	35%	56%	19%	37%	48%	71%	-5%	-7%	-10%	-3%	-8%	-54%	-55%	-55%	-54%
2000	0.125	2000	0.15	2.62E-04	35%	50%	23%	36%	43%	59%	-8%	-12%	-17%	-5%	-14%	-57%	-60%	-59%	-57%
4000	0.025	2000	0.15	3.94E-04	-16%	-8%	-30%	-22%	15%	31%	0%	-1%	-1%	0%	-1%	-62%	-70%	-76%	-77%
4000	0.075	2000	0.15	2.09E-04	48%	67%	33%	49%	63%	83%	-4%	-7%	-10%	-3%	-8%	-60%	-65%	-66%	-66%
4000	0.125	2000	0.15	1.80E-04	30%	40%	21%	30%	37%	49%	-4%	-6%	-10%	-2%	-8%	-61%	-70%	-72%	-71%
10000	0.025	2000	0.15	1.91E-04	28%	45%	6%	24%	65%	90%	-1%	-1%	-2%	-1%	-2%	-54%	-62%	-71%	-75%
10000	0.075	2000	0.15	1.41E-04	37%	48%	26%	37%	48%	61%	-2%	-4%	-6%	-1%	-5%	-64%	-75%	-79%	-80%
10000	0.125	2000	0.15	1.09E-04	19%	25%	14%	19%	25%	32%	0%	-1%	-4%	1%	-2%	-58%	-72%	-80%	-82%
2000	0.025	4000	0.075	8.55E-04	-33%	-34%	-46%	-49%	-9%	-6%	0%	0%	0%	0%	0%	-69%	-76%	-79%	-80%
2000	0.075	4000	0.075	3.78E-04	26%	44%	5%	22%	42%	59%	-5%	-6%	-9%	-3%	-7%	-62%	-64%	-64%	-64%
2000	0.125	4000	0.075	3.03E-04	22%	35%	8%	20%	33%	45%	-10%	-13%	-19%	-6%	-15%	-65%	-70%	-70%	-68%
4000	0.025	4000	0.075	4.82E-04	-11%	-6%	-32%	-27%	17%	24%	0%	0%	-1%	0%	0%	-61%	-69%	-77%	-80%
4000	0.075	4000	0.075	2.48E-04	37%	52%	19%	33%	52%	66%	-4%	-7%	-10%	-3%	-8%	-66%	-71%	-73%	-73%
4000	0.125	4000	0.075	2.03E-04	21%	30%	11%	19%	30%	38%	-5%	-8%	-13%	-3%	-10%	-64%	-75%	-79%	-79%
10000	0.025	4000	0.075	2.52E-04	25%	34%	-2%	9%	53%	64%	-1%	-1%	-2%	-1%	-2%	-57%	-62%	-69%	-75%
10000	0.075	4000	0.075	1.57E-04	35%	44%	23%	32%	45%	55%	-2%	-4%	-7%	-1%	-5%	-64%	-77%	-81%	-81%
10000	0.125	4000	0.075	1.17E-04	17%	22%	11%	15%	23%	27%	-1%	-2%	-5%	0%	-3%	-55%	-71%	-82%	-85%
2000	0.025	4000	0.15	7.61E-04	-43%	-43%	-50%	-52%	-19%	-12%	0%	0%	0%	0%	0%	-71%	-75%	-77%	-77%
2000	0.075	4000	0.15	3.21E-04	30%	53%	13%	34%	45%	69%	-4%	-5%	-8%	-2%	-6%	-53%	-55%	-54%	-53%
2000	0.125	4000	0.15	2.55E-04	35%	51%	22%	37%	44%	61%	-9%	-13%	-19%	-6%	-15%	-56%	-59%	-58%	-56%
4000	0.025	4000	0.15	4.09E-04	-25%	-16%	-39%	-31%	7%	23%	0%	0%	0%	0%	0%	-64%	-71%	-76%	-78%
4000	0.075	4000	0.15	1.95E-04	53%	74%	35%	54%	70%	93%	-4%	-6%	-9%	-2%	-7%	-57%	-62%	-63%	-63%
4000	0.125	4000	0.15	1.70E-04	33%	46%	23%	34%	42%	55%	-5%	-8%	-12%	-3%	-9%	-59%	-68%	-71%	-70%
10000	0.025	4000	0.15	1.90E-04	19%	38%	-5%	15%	60%	86%	-1%	-1%	-1%	-1%	-1%	-54%	-62%	-71%	-75%
10000	0.075	4000	0.15	1.24E-04	51%	66%	38%	51%	65%	81%	-2%	-4%	-6%	-1%	-5%	-59%	-72%	-76%	-77%
10000	0.125	4000	0.15	1.01E-04	26%	34%	19%	26%	33%	41%	-1%	-2%	-5%	0%	-3%	-54%	-70%	-78%	-80%

### Anexo A.4 – Tabelas de resultados em termos de Vida Útil Previsível

Tabelas da Vida Útil Previsível considerando a utilização de uma mistura convencional, MC.

Camada de Reforço		Camada Fendilhada		a	b1		b2		c		d1	d2	d3	e	f	g			
E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)		esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.002m	esp. 0.004m						2500MPa	5000MPa	10000MPa	15000MPa
2000	0.025	2000	0.075	1.30E+04	4.30E+04	4.43E+04	9.85E+04	1.15E+05	1.38E+04	1.18E+04	1.31E+04	1.31E+04	1.32E+04	1.31E+04	1.31E+04	1.03E+06	2.58E+06	5.02E+06	5.95E+06
2000	0.075	2000	0.075	3.02E+05	8.82E+04	5.41E+04	1.69E+05	9.86E+04	5.69E+04	3.74E+04	3.75E+05	4.11E+05	4.70E+05	3.47E+05	4.34E+05	1.12E+07	1.40E+07	1.44E+07	1.33E+07
2000	0.125	2000	0.075	6.48E+05	2.46E+05	1.70E+05	3.78E+05	2.58E+05	1.79E+05	1.30E+05	9.23E+05	1.08E+06	1.38E+06	8.14E+05	1.19E+06	3.73E+07	6.88E+07	6.43E+07	5.27E+07
4000	0.025	2000	0.075	5.14E+04	5.29E+04	4.27E+04	1.40E+05	1.06E+05	1.93E+04	1.47E+04	5.25E+04	5.28E+04	5.33E+04	5.23E+04	5.30E+04	1.56E+06	3.86E+06	1.18E+07	2.10E+07
4000	0.075	2000	0.075	5.22E+05	1.33E+05	9.27E+04	2.20E+05	1.49E+05	9.17E+04	6.56E+04	6.33E+05	6.99E+05	8.19E+05	5.87E+05	7.42E+05	3.86E+07	6.95E+07	8.62E+07	9.26E+07
4000	0.125	2000	0.075	1.10E+06	4.93E+05	3.82E+05	6.68E+05	5.21E+05	3.82E+05	3.02E+05	1.30E+06	1.45E+06	1.74E+06	1.20E+06	1.55E+06	6.58E+07	2.84E+08	5.37E+08	5.31E+08
10000	0.025	2000	0.075	1.76E+05	5.38E+04	4.07E+04	1.26E+05	8.62E+04	2.52E+04	1.88E+04	1.88E+05	1.91E+05	1.96E+05	1.85E+05	1.93E+05	3.84E+06	6.21E+06	1.54E+07	3.17E+07
10000	0.075	2000	0.075	7.18E+05	2.66E+05	2.12E+05	3.65E+05	2.92E+05	2.02E+05	1.61E+05	7.89E+05	8.41E+05	9.42E+05	7.53E+05	8.77E+05	5.33E+07	3.05E+08	6.26E+08	7.17E+08
10000	0.125	2000	0.075	2.53E+06	1.51E+06	1.31E+06	1.80E+06	1.59E+06	1.27E+06	1.10E+06	2.54E+06	2.68E+06	2.96E+06	2.43E+06	2.78E+06	6.61E+07	4.11E+08	2.46E+09	5.07E+09
2000	0.025	2000	0.15	1.74E+04	1.10E+05	1.11E+05	1.83E+05	2.07E+05	3.06E+04	2.19E+04	1.75E+04	1.76E+04	1.77E+04	1.75E+04	1.77E+04	1.94E+06	3.72E+06	5.04E+06	5.28E+06
2000	0.075	2000	0.15	4.46E+05	1.37E+05	7.67E+04	2.27E+05	1.27E+05	9.36E+04	5.34E+04	5.42E+05	5.94E+05	6.81E+05	5.04E+05	6.26E+05	9.40E+06	1.08E+07	1.01E+07	9.27E+06
2000	0.125	2000	0.15	1.04E+06	3.18E+05	2.08E+05	4.53E+05	3.03E+05	2.48E+05	1.65E+05	1.46E+06	1.70E+06	2.17E+06	1.29E+06	1.87E+06	2.92E+07	3.98E+07	3.44E+07	2.92E+07
4000	0.025	2000	0.15	8.15E+04	1.65E+05	1.11E+05	3.37E+05	2.15E+05	4.72E+04	2.77E+04	8.31E+04	8.38E+04	8.51E+04	8.25E+04	8.43E+04	3.81E+06	9.72E+06	2.15E+07	2.83E+07
4000	0.075	2000	0.15	1.01E+06	2.12E+05	1.33E+05	3.28E+05	2.06E+05	1.46E+05	9.18E+04	1.21E+06	1.32E+06	1.55E+06	1.12E+06	1.40E+06	3.79E+07	6.32E+07	7.16E+07	6.96E+07
4000	0.125	2000	0.15	1.81E+06	6.51E+05	4.74E+05	8.60E+05	6.41E+05	5.14E+05	3.75E+05	2.12E+06	2.36E+06	2.81E+06	1.96E+06	2.52E+06	7.75E+07	2.17E+08	2.86E+08	2.62E+08
10000	0.025	2000	0.15	4.18E+05	1.59E+05	9.60E+04	3.31E+05	1.80E+05	5.75E+04	3.29E+04	4.37E+05	4.44E+05	4.54E+05	4.33E+05	4.48E+05	8.89E+06	1.94E+07	5.59E+07	1.08E+08
10000	0.075	2000	0.15	1.40E+06	4.03E+05	2.94E+05	5.51E+05	4.07E+05	2.97E+05	2.13E+05	1.52E+06	1.62E+06	1.80E+06	1.46E+06	1.68E+06	8.01E+07	3.47E+08	6.67E+08	7.71E+08
10000	0.125	2000	0.15	3.85E+06	1.91E+06	1.57E+06	2.30E+06	1.93E+06	1.60E+06	1.30E+06	3.84E+06	4.05E+06	4.46E+06	3.70E+06	4.19E+06	1.15E+08	5.99E+08	2.21E+09	3.28E+09
2000	0.025	4000	0.075	9.53E+03	4.57E+04	4.89E+04	1.11E+05	1.38E+05	1.39E+04	1.24E+04	9.57E+03	9.59E+03	9.62E+03	9.56E+03	9.60E+03	1.03E+06	2.58E+06	5.02E+06	5.95E+06
2000	0.075	4000	0.075	2.43E+05	9.75E+04	5.73E+04	1.99E+05	1.09E+05	6.10E+04	3.89E+04	2.91E+05	3.15E+05	3.51E+05	2.73E+05	3.29E+05	1.12E+07	1.40E+07	1.44E+07	1.33E+07
2000	0.125	4000	0.075	5.77E+05	2.65E+05	1.76E+05	4.24E+05	2.77E+05	1.89E+05	1.33E+05	8.60E+05	1.02E+06	1.31E+06	7.50E+05	1.12E+06	3.73E+07	6.88E+07	6.43E+07	5.27E+07
4000	0.025	4000	0.075	3.66E+04	5.78E+04	4.70E+04	1.69E+05	1.27E+05	1.98E+04	1.55E+04	3.72E+04	3.73E+04	3.75E+04	3.71E+04	3.73E+04	1.56E+06	3.86E+06	1.18E+07	2.10E+07
4000	0.075	4000	0.075	5.07E+05	1.45E+05	9.73E+04	2.52E+05	1.62E+05	9.73E+04	6.79E+04	6.07E+05	6.63E+05	7.60E+05	5.66E+05	6.99E+05	3.86E+07	6.95E+07	8.62E+07	9.26E+07
4000	0.125	4000	0.075	1.11E+06	5.23E+05	3.95E+05	7.33E+05	5.52E+05	3.98E+05	3.08E+05	1.39E+06	1.56E+06	1.89E+06	1.27E+06	1.68E+06	6.58E+07	2.84E+08	5.37E+08	5.31E+08
10000	0.025	4000	0.075	1.41E+05	5.92E+04	4.42E+04	1.54E+05	1.01E+05	2.64E+04	1.97E+04	1.48E+05	1.49E+05	1.51E+05	1.47E+05	1.50E+05	3.84E+06	6.21E+06	1.54E+07	3.17E+07
10000	0.075	4000	0.075	9.21E+05	2.82E+05	2.20E+05	4.02E+05	3.11E+05	2.10E+05	1.64E+05	1.02E+06	1.08E+06	1.21E+06	9.69E+05	1.13E+06	5.33E+07	3.05E+08	6.26E+08	7.17E+08
10000	0.125	4000	0.075	2.92E+06	1.57E+06	1.34E+06	1.92E+06	1.65E+06	1.30E+06	1.12E+06	3.03E+06	3.22E+06	3.58E+06	2.90E+06	3.35E+06	6.61E+07	4.11E+08	2.46E+09	5.07E+09
2000	0.025	4000	0.15	1.51E+04	1.36E+05	1.38E+05	2.36E+05	2.79E+05	3.43E+04	2.50E+04	1.51E+04	1.51E+04	1.52E+04	1.51E+04	1.52E+04	1.94E+06	3.72E+06	5.04E+06	5.28E+06
2000	0.075	4000	0.15	4.64E+05	1.62E+05	8.53E+04	2.87E+05	1.48E+05	1.06E+05	5.76E+04	5.38E+05	5.77E+05	6.39E+05	5.09E+05	6.00E+05	9.40E+06	1.08E+07	1.01E+07	9.27E+06
2000	0.125	4000	0.15	1.15E+06	3.54E+05	2.22E+05	5.26E+05	3.35E+05	2.71E+05	1.74E+05	1.69E+06	2.00E+06	2.60E+06	1.48E+06	2.21E+06	2.92E+07	3.98E+07	3.44E+07	2.92E+07
4000	0.025	4000	0.15	7.02E+04	2.18E+05	1.41E+05	4.97E+05	2.97E+05	5.41E+04	3.13E+04	7.06E+04	7.07E+04	7.11E+04	7.04E+04	7.09E+04	3.81E+06	9.72E+06	2.15E+07	2.83E+07
4000	0.075	4000	0.15	1.32E+06	2.47E+05	1.46E+05	4.08E+05	2.37E+05	1.63E+05	9.80E+04	1.55E+06	1.68E+06	1.92E+06	1.46E+06	1.77E+06	3.79E+07	6.32E+07	7.16E+07	6.96E+07
4000	0.125	4000	0.15	2.25E+06	7.17E+05	5.03E+05	9.86E+05	7.02E+05	5.53E+05	3.91E+05	2.77E+06	3.10E+06	3.73E+06	2.54E+06	3.32E+06	7.75E+07	2.17E+08	2.86E+08	2.62E+08
10000	0.025	4000	0.15	4.26E+05	2.11E+05	1.18E+05	5.13E+05	2.41E+05	6.64E+04	3.66E+04	4.37E+05	4.39E+05	4.43E+05	4.35E+05	4.40E+05	8.89E+06	1.94E+07	5.59E+07	1.08E+08
10000	0.075	4000	0.15	2.34E+06	4.54E+05	3.16E+05	6.55E+05	4.56E+05	3.23E+05	2.24E+05	2.56E+06	2.71E+06	3.00E+06	2.45E+06	2.82E+06	8.01E+07	3.47E+08	6.67E+08	7.71E+08
10000	0.125	4000	0.15	5.16E+06	2.06E+06	1.64E+06	2.55E+06	2.07E+06	1.68E+06	1.34E+06	5.33E+06	5.64E+06	6.23E+06	5.11E+06	5.85E+06	1.15E+08	5.99E+08	2.21E+09	3.28E+09

Tabelas percentuais comparativas da Vida Útil Previsível considerando a utilização de uma mistura convencional, MC.

Camada de Reforço		Camada Fendilhada		a	b1		b2		c		d1	d2	d3	e	f	g			
E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)		esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.002m	esp. 0.004m						2500MPa	5000MPa	10000MPa	15000MPa
2000	0.025	2000	0.075	1.30E+04	231%	241%	658%	787%	6%	-10%	1%	1%	1%	0%	1%	7809%	19780%	38581%	45740%
2000	0.075	2000	0.075	3.02E+05	-71%	-82%	-44%	-67%	-81%	-88%	24%	36%	56%	15%	44%	3614%	4546%	4670%	4310%
2000	0.125	2000	0.075	6.48E+05	-62%	-74%	-42%	-60%	-72%	-80%	43%	67%	113%	26%	83%	5660%	10516%	9831%	8034%
4000	0.025	2000	0.075	5.14E+04	3%	-17%	172%	106%	-63%	-71%	2%	3%	4%	2%	3%	2928%	7408%	22891%	40679%
4000	0.075	2000	0.075	5.22E+05	-74%	-82%	-58%	-72%	-82%	-87%	21%	34%	57%	12%	42%	7283%	13208%	16411%	17643%
4000	0.125	2000	0.075	1.10E+06	-55%	-65%	-39%	-52%	-65%	-72%	19%	32%	58%	9%	41%	5909%	25841%	48946%	48402%
10000	0.025	2000	0.075	1.76E+05	-69%	-77%	-29%	-51%	-86%	-89%	6%	8%	11%	5%	9%	2077%	3422%	8644%	17918%
10000	0.075	2000	0.075	7.18E+05	-63%	-70%	-49%	-59%	-72%	-78%	10%	17%	31%	5%	22%	7323%	42329%	87123%	99811%
10000	0.125	2000	0.075	2.53E+06	-40%	-48%	-29%	-37%	-50%	-57%	0%	6%	17%	-4%	10%	2512%	16162%	97066%	200334%
2000	0.025	2000	0.15	1.74E+04	532%	535%	952%	1088%	76%	26%	0%	1%	2%	0%	1%	10996%	21220%	28811%	30142%
2000	0.075	2000	0.15	4.46E+05	-69%	-83%	-49%	-72%	-79%	-88%	22%	33%	53%	13%	41%	2009%	2331%	2173%	1979%
2000	0.125	2000	0.15	1.04E+06	-69%	-80%	-56%	-71%	-76%	-84%	40%	64%	110%	24%	80%	2717%	3741%	3220%	2716%
4000	0.025	2000	0.15	8.15E+04	103%	37%	313%	164%	-42%	-66%	2%	3%	4%	1%	3%	4578%	11821%	26304%	34568%
4000	0.075	2000	0.15	1.01E+06	-79%	-87%	-67%	-80%	-85%	-91%	20%	31%	53%	11%	39%	3658%	6167%	7001%	6800%
4000	0.125	2000	0.15	1.81E+06	-64%	-74%	-53%	-65%	-72%	-79%	17%	30%	55%	8%	39%	4174%	11881%	15680%	14321%
10000	0.025	2000	0.15	4.18E+05	-62%	-77%	-21%	-57%	-86%	-92%	5%	6%	9%	4%	7%	2026%	4545%	13254%	25805%
10000	0.075	2000	0.15	1.40E+06	-71%	-79%	-61%	-71%	-79%	-85%	9%	16%	29%	4%	20%	5640%	24782%	47659%	55147%
10000	0.125	2000	0.15	3.85E+06	-50%	-59%	-40%	-50%	-58%	-66%	0%	5%	16%	-4%	9%	2894%	15454%	57414%	85041%
2000	0.025	4000	0.075	9.53E+03	379%	413%	1061%	1347%	46%	30%	0%	1%	1%	0%	1%	10681%	26999%	52627%	62386%
2000	0.075	4000	0.075	2.43E+05	-60%	-76%	-18%	-55%	-75%	-84%	20%	30%	45%	13%	36%	4519%	5679%	5832%	5385%
2000	0.125	4000	0.075	5.77E+05	-54%	-69%	-27%	-52%	-67%	-77%	49%	76%	127%	30%	94%	6363%	11811%	11043%	9026%
4000	0.025	4000	0.075	3.66E+04	58%	28%	362%	247%	-46%	-58%	1%	2%	2%	1%	2%	4150%	10437%	32168%	57133%
4000	0.075	4000	0.075	5.07E+05	-71%	-81%	-50%	-68%	-81%	-87%	20%	31%	50%	12%	38%	7499%	13596%	16893%	18161%
4000	0.125	4000	0.075	1.11E+06	-53%	-65%	-34%	-50%	-64%	-72%	25%	40%	70%	14%	51%	5812%	25419%	48148%	47613%
10000	0.025	4000	0.075	1.41E+05	-58%	-69%	9%	-29%	-81%	-86%	5%	6%	7%	4%	6%	2615%	4291%	10803%	22365%
10000	0.075	4000	0.075	9.21E+05	-69%	-76%	-56%	-66%	-77%	-82%	10%	18%	32%	5%	23%	5689%	32990%	67924%	77819%
10000	0.125	4000	0.075	2.92E+06	-46%	-54%	-34%	-43%	-55%	-62%	4%	10%	23%	-1%	15%	2166%	14011%	84212%	173820%
2000	0.025	4000	0.15	1.51E+04	800%	815%	1464%	1750%	127%	66%	0%	0%	1%	0%	0%	12713%	24518%	33284%	34821%
2000	0.075	4000	0.15	4.64E+05	-65%	-82%	-38%	-68%	-77%	-88%	16%	24%	38%	10%	29%	1926%	2236%	2084%	1897%
2000	0.125	4000	0.15	1.15E+06	-69%	-81%	-54%	-71%	-76%	-85%	47%	74%	126%	29%	92%	2438%	3361%	2891%	2437%
4000	0.025	4000	0.15	7.02E+04	211%	100%	608%	324%	-23%	-55%	0%	1%	1%	0%	1%	5332%	13742%	30559%	40155%
4000	0.075	4000	0.15	1.32E+06	-81%	-89%	-69%	-82%	-88%	-93%	17%	27%	45%	10%	34%	2759%	4668%	5303%	5151%
4000	0.125	4000	0.15	2.25E+06	-68%	-78%	-56%	-69%	-75%	-83%	23%	38%	66%	13%	48%	3353%	9578%	12647%	11549%
10000	0.025	4000	0.15	4.26E+05	-50%	-72%	20%	-43%	-84%	-91%	2%	3%	4%	2%	3%	1986%	4459%	13005%	25322%
10000	0.075	4000	0.15	2.34E+06	-81%	-86%	-72%	-81%	-86%	-90%	9%	16%	28%	5%	20%	3319%	14718%	28343%	32802%
10000	0.125	4000	0.15	5.16E+06	-60%	-68%	-50%	-60%	-67%	-74%	3%	9%	21%	-1%	13%	2134%	11503%	42804%	63414%

Tabelas da Vida Útil Previsível considerando a utilização de uma mistura de betume modificado com borracha, BMB.

Camada de Reforço		Camada Fendilhada		a	b1		b2		c		d1	d2	d3	e	f	g			
E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)		esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.002m	esp. 0.004m						2500MPa	5000MPa	10000MPa	15000MPa
2000	0.025	2000	0.075	1.66E+04	1.35E+05	1.42E+05	5.77E+05	7.58E+05	1.84E+04	1.39E+04	1.68E+04	1.68E+04	1.70E+04	1.67E+04	1.69E+04	3.51E+07	1.76E+08	5.67E+08	7.63E+08
2000	0.075	2000	0.075	4.10E+06	4.75E+05	2.02E+05	1.49E+06	5.78E+05	2.20E+05	1.05E+05	6.01E+06	7.06E+06	8.92E+06	5.24E+06	7.74E+06	2.31E+09	3.42E+09	3.58E+09	3.12E+09
2000	0.125	2000	0.075	1.56E+07	2.87E+06	1.49E+06	6.08E+06	3.12E+06	1.65E+06	9.35E+05	2.91E+07	3.83E+07	5.88E+07	2.33E+07	4.51E+07	1.90E+10	5.55E+10	4.94E+10	3.48E+10
4000	0.025	2000	0.075	1.16E+05	1.21E+05	8.36E+04	6.69E+05	4.11E+05	2.07E+04	1.29E+04	1.20E+05	1.21E+05	1.23E+05	1.19E+05	1.22E+05	4.56E+07	2.24E+08	1.59E+09	4.34E+09
4000	0.075	2000	0.075	6.72E+06	6.15E+05	3.25E+05	1.47E+06	7.44E+05	3.18E+05	1.77E+05	9.42E+06	1.12E+07	1.48E+07	8.24E+06	1.24E+07	1.26E+10	3.54E+10	5.17E+10	5.86E+10
4000	0.125	2000	0.075	2.46E+07	6.07E+06	3.89E+06	1.03E+07	6.69E+06	3.88E+06	2.57E+06	3.32E+07	4.01E+07	5.51E+07	2.87E+07	4.52E+07	3.22E+10	4.18E+11	1.28E+12	1.25E+12
10000	0.025	2000	0.075	5.40E+05	6.75E+04	4.14E+04	2.99E+05	1.54E+05	1.79E+04	1.07E+04	6.02E+05	6.20E+05	6.51E+05	5.89E+05	6.32E+05	1.19E+08	2.77E+08	1.36E+09	4.84E+09
10000	0.075	2000	0.075	6.33E+06	1.11E+06	7.47E+05	1.93E+06	1.31E+06	6.83E+05	4.58E+05	7.46E+06	8.35E+06	1.02E+07	6.88E+06	8.98E+06	1.20E+10	2.55E+11	9.00E+11	1.14E+12
10000	0.125	2000	0.075	5.75E+07	2.32E+07	1.80E+07	3.17E+07	2.53E+07	1.72E+07	1.34E+07	5.77E+07	6.36E+07	7.57E+07	5.38E+07	6.78E+07	1.75E+10	4.31E+11	9.88E+12	3.51E+13
2000	0.025	2000	0.15	2.78E+04	7.02E+05	7.08E+05	1.72E+06	2.12E+06	7.45E+04	4.15E+04	2.80E+04	2.82E+04	2.86E+04	2.78E+04	2.83E+04	1.07E+08	3.35E+08	5.71E+08	6.17E+08
2000	0.075	2000	0.15	8.13E+06	1.02E+06	3.72E+05	2.50E+06	8.99E+05	5.27E+05	1.97E+05	1.14E+07	1.34E+07	1.71E+07	1.01E+07	1.48E+07	1.70E+09	2.18E+09	1.94E+09	1.66E+09
2000	0.125	2000	0.15	3.57E+07	4.50E+06	2.14E+06	8.36E+06	4.13E+06	2.91E+06	1.43E+06	6.46E+07	8.49E+07	1.31E+08	5.20E+07	1.00E+08	1.24E+10	2.13E+10	1.65E+10	1.24E+10
4000	0.025	2000	0.15	2.59E+05	8.94E+05	4.49E+05	3.12E+06	1.42E+06	9.96E+04	3.90E+04	2.68E+05	2.72E+05	2.80E+05	2.65E+05	2.75E+05	2.19E+08	1.13E+09	4.55E+09	7.33E+09
4000	0.075	2000	0.15	2.13E+07	1.38E+06	6.12E+05	2.97E+06	1.32E+06	7.22E+05	3.19E+05	2.91E+07	3.43E+07	4.50E+07	2.57E+07	3.80E+07	1.22E+10	3.00E+10	3.73E+10	3.55E+10
4000	0.125	2000	0.15	5.95E+07	9.88E+06	5.68E+06	1.61E+07	9.62E+06	6.54E+06	3.77E+06	7.85E+07	9.43E+07	1.28E+08	6.84E+07	1.06E+08	4.29E+10	2.61E+11	4.23E+11	3.62E+11
10000	0.025	2000	0.15	2.45E+06	4.51E+05	1.86E+05	1.63E+06	5.58E+05	7.59E+04	2.85E+04	2.65E+06	2.72E+06	2.84E+06	2.61E+06	2.76E+06	5.20E+08	2.05E+09	1.30E+10	4.16E+10
10000	0.075	2000	0.15	2.03E+07	2.30E+06	1.32E+06	3.98E+06	2.34E+06	1.35E+06	7.52E+05	2.36E+07	2.62E+07	3.16E+07	2.19E+07	2.81E+07	2.45E+10	3.20E+11	1.00E+12	1.30E+12
10000	0.125	2000	0.15	1.20E+08	3.53E+07	2.50E+07	4.87E+07	3.59E+07	2.57E+07	1.79E+07	1.19E+08	1.31E+08	1.55E+08	1.12E+08	1.39E+08	4.63E+10	8.31E+11	8.22E+12	1.64E+13
2000	0.025	4000	0.075	9.62E+03	1.50E+05	1.69E+05	7.07E+05	1.04E+06	1.87E+04	1.52E+04	9.70E+03	9.73E+03	9.78E+03	9.68E+03	9.75E+03	3.51E+07	1.76E+08	5.67E+08	7.63E+08
2000	0.075	4000	0.075	2.80E+06	5.66E+05	2.23E+05	1.98E+06	6.86E+05	2.49E+05	1.13E+05	3.86E+06	4.41E+06	5.34E+06	3.44E+06	4.76E+06	2.31E+09	3.42E+09	3.58E+09	3.12E+09
2000	0.125	4000	0.075	1.28E+07	3.27E+06	1.60E+06	7.44E+06	3.52E+06	1.81E+06	9.82E+05	2.57E+07	3.44E+07	5.38E+07	2.02E+07	4.09E+07	1.90E+10	5.55E+10	4.94E+10	3.48E+10
4000	0.025	4000	0.075	6.39E+04	1.42E+05	9.89E+04	9.34E+05	5.64E+05	2.18E+04	1.41E+04	6.56E+04	6.59E+04	6.64E+04	6.53E+04	6.60E+04	4.56E+07	2.24E+08	1.59E+09	4.34E+09
4000	0.075	4000	0.075	6.39E+06	7.13E+05	3.54E+05	1.88E+06	8.63E+05	3.53E+05	1.88E+05	8.75E+06	1.02E+07	1.30E+07	7.74E+06	1.12E+07	1.26E+10	3.54E+10	5.17E+10	5.86E+10
4000	0.125	4000	0.075	2.53E+07	6.75E+06	4.12E+06	1.22E+07	7.41E+06	4.17E+06	2.66E+06	3.74E+07	4.59E+07	6.41E+07	3.18E+07	5.21E+07	3.22E+10	4.18E+11	1.28E+12	1.25E+12
10000	0.025	4000	0.075	3.67E+05	7.98E+04	4.78E+04	4.26E+05	2.02E+05	1.94E+04	1.16E+04	3.97E+05	4.03E+05	4.13E+05	3.92E+05	4.07E+05	1.19E+08	2.77E+08	1.36E+09	4.84E+09
10000	0.075	4000	0.075	9.78E+06	1.23E+06	7.96E+05	2.28E+06	1.46E+06	7.34E+05	4.77E+05	1.16E+07	1.30E+07	1.58E+07	1.07E+07	1.40E+07	1.20E+10	2.55E+11	9.00E+11	1.14E+12
10000	0.125	4000	0.075	7.37E+07	2.49E+07	1.88E+07	3.53E+07	2.72E+07	1.80E+07	1.37E+07	7.88E+07	8.77E+07	1.06E+08	7.29E+07	9.39E+07	1.75E+10	4.31E+11	9.88E+12	3.51E+13
2000	0.025	4000	0.15	2.16E+04	1.01E+06	1.04E+06	2.67E+06	3.59E+06	9.08E+04	5.23E+04	2.16E+04	2.17E+04	2.18E+04	2.15E+04	2.17E+04	1.07E+08	3.35E+08	5.71E+08	6.17E+08
2000	0.075	4000	0.15	8.71E+06	1.37E+06	4.48E+05	3.75E+06	1.17E+06	6.58E+05	2.25E+05	1.13E+07	1.28E+07	1.53E+07	1.03E+07	1.37E+07	1.70E+09	2.18E+09	1.94E+09	1.66E+09
2000	0.125	4000	0.15	4.28E+07	5.44E+06	2.40E+06	1.09E+07	4.91E+06	3.40E+06	1.56E+06	8.43E+07	1.13E+08	1.78E+08	6.66E+07	1.35E+08	1.24E+10	2.13E+10	1.65E+10	1.24E+10
4000	0.025	4000	0.15	2.00E+05	1.46E+06	6.75E+05	6.16E+06	2.51E+06	1.26E+05	4.85E+04	2.01E+05	2.02E+05	2.04E+05	2.01E+05	2.03E+05	2.19E+08	1.13E+09	4.55E+09	7.33E+09
4000	0.075	4000	0.15	3.43E+07	1.81E+06	7.24E+05	4.36E+06	1.69E+06	8.78E+05	3.58E+05	4.53E+07	5.23E+07	6.56E+07	4.06E+07	5.70E+07	1.22E+10	3.00E+10	3.73E+10	3.55E+10
4000	0.125	4000	0.15	8.66E+07	1.17E+07	6.28E+06	2.04E+07	1.13E+07	7.44E+06	4.04E+06	1.25E+08	1.52E+08	2.11E+08	1.07E+08	1.72E+08	4.29E+10	2.61E+11	4.23E+11	3.62E+11
10000	0.025	4000	0.15	2.54E+06	7.41E+05	2.66E+05	3.50E+06	9.36E+05	9.76E+04	3.44E+04	2.65E+06	2.67E+06	2.71E+06	2.63E+06	2.69E+06	5.20E+08	2.05E+09	1.30E+10	4.16E+10
10000	0.075	4000	0.15	5.03E+07	2.83E+06	1.50E+06	5.39E+06	2.85E+06	1.56E+06	8.18E+05	5.86E+07	6.49E+07	7.76E+07	5.44E+07	6.94E+07	2.45E+10	3.20E+11	1.00E+12	1.30E+12
10000	0.125	4000	0.15	2.00E+08	4.00E+07	2.69E+07	5.85E+07	4.06E+07	2.81E+07	1.88E+07	2.12E+08	2.34E+08	2.79E+08	1.97E+08	2.50E+08	4.63E+10	8.31E+11	8.22E+12	1.64E+13

Tabelas percentuais comparativas da Vida Útil Previsível considerando a utilização de uma mistura de betume modificado com borracha, BMB.

Camada de Reforço		Camada Fendilhada		a	b1		b2		c		d1	d2	d3	e	f	g			
E (Mpa)	Esp. (m)	E (Mpa)	Esp. (m)		esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.01m	esp. 0.02m	esp. 0.002m	esp. 0.004m						2500MPa	5000MPa	10000MPa	15000MPa
2000	0.025	2000	0.075	1.66E+04	713%	758%	3383%	4479%	11%	-16%	1%	2%	3%	1%	2%	211803%	1065504%	3420955%	4606613%
2000	0.075	2000	0.075	4.10E+06	-88%	-95%	-64%	-86%	-95%	-97%	47%	72%	118%	28%	89%	56251%	83332%	87253%	76028%
2000	0.125	2000	0.075	1.56E+07	-82%	-90%	-61%	-80%	-89%	-94%	86%	145%	276%	49%	188%	121492%	354820%	315697%	222466%
4000	0.025	2000	0.075	1.16E+05	5%	-28%	478%	255%	-82%	-89%	4%	5%	6%	3%	5%	39306%	193331%	1374715%	3752797%
4000	0.075	2000	0.075	6.72E+06	-91%	-95%	-78%	-89%	-95%	-97%	40%	67%	120%	23%	85%	187753%	527307%	769526%	872950%
4000	0.125	2000	0.075	2.46E+07	-75%	-84%	-58%	-73%	-84%	-90%	35%	63%	124%	17%	84%	130854%	1698534%	5185948%	5085618%
10000	0.025	2000	0.075	5.40E+05	-87%	-92%	-45%	-71%	-97%	-98%	12%	15%	21%	9%	17%	22004%	51241%	252578%	896781%
10000	0.075	2000	0.075	6.33E+06	-82%	-88%	-70%	-79%	-89%	-93%	18%	32%	61%	9%	42%	189506%	4022933%	14222295%	18043560%
10000	0.125	2000	0.075	5.75E+07	-60%	-69%	-45%	-56%	-70%	-77%	0%	11%	32%	-7%	18%	30304%	749308%	17183874%	61117013%
2000	0.025	2000	0.15	2.78E+04	2427%	2449%	6075%	7541%	168%	49%	1%	2%	3%	0%	2%	383470%	1204397%	2053968%	2222513%
2000	0.075	2000	0.15	8.13E+06	-87%	-95%	-69%	-89%	-94%	-98%	41%	65%	110%	24%	82%	20802%	26720%	23739%	20281%
2000	0.125	2000	0.15	3.57E+07	-87%	-94%	-77%	-88%	-92%	-96%	81%	138%	266%	46%	181%	34615%	59675%	46187%	34590%
4000	0.025	2000	0.15	2.59E+05	244%	73%	1101%	448%	-62%	-85%	3%	5%	8%	2%	6%	84339%	434821%	1752079%	2823501%
4000	0.075	2000	0.15	2.13E+07	-93%	-97%	-86%	-94%	-97%	-98%	37%	61%	112%	21%	79%	57415%	140836%	175357%	166753%
4000	0.125	2000	0.15	5.95E+07	-83%	-90%	-73%	-84%	-89%	-94%	32%	58%	116%	15%	78%	71975%	438675%	710804%	607040%
10000	0.025	2000	0.15	2.45E+06	-82%	-92%	-33%	-77%	-97%	-99%	8%	11%	16%	6%	13%	21096%	83294%	530552%	1694415%
10000	0.075	2000	0.15	2.03E+07	-89%	-93%	-80%	-88%	-93%	-96%	16%	29%	56%	8%	39%	120748%	1578891%	4949817%	6388987%
10000	0.125	2000	0.15	1.20E+08	-71%	-79%	-59%	-70%	-79%	-85%	0%	9%	29%	-7%	16%	38537%	693038%	6855591%	13632729%
2000	0.025	4000	0.075	9.62E+03	1458%	1656%	7246%	10707%	94%	58%	1%	1%	2%	1%	1%	364562%	1833687%	5887155%	7927541%
2000	0.075	4000	0.075	2.80E+06	-80%	-92%	-29%	-75%	-91%	-96%	38%	58%	91%	23%	70%	82488%	122179%	127925%	111474%
2000	0.125	4000	0.075	1.28E+07	-74%	-87%	-42%	-72%	-86%	-92%	101%	169%	321%	58%	220%	148680%	434180%	386309%	272232%
4000	0.025	4000	0.075	6.39E+04	122%	55%	1362%	783%	-66%	-78%	3%	3%	4%	2%	3%	71271%	350235%	2489915%	6797014%
4000	0.075	4000	0.075	6.39E+06	-89%	-94%	-71%	-86%	-94%	-97%	37%	60%	103%	21%	75%	197472%	554593%	809343%	918118%
4000	0.125	4000	0.075	2.53E+07	-73%	-84%	-52%	-71%	-84%	-89%	48%	81%	153%	26%	106%	127145%	1650432%	5039088%	4941599%
10000	0.025	4000	0.075	3.67E+05	-78%	-87%	16%	-45%	-95%	-97%	8%	10%	13%	7%	11%	32437%	75472%	371833%	1320077%
10000	0.075	4000	0.075	9.78E+06	-87%	-92%	-77%	-85%	-92%	-95%	19%	33%	62%	9%	43%	122547%	2602199%	9199658%	11671444%
10000	0.125	4000	0.075	7.37E+07	-66%	-75%	-52%	-63%	-76%	-81%	7%	19%	43%	-1%	27%	23611%	584333%	13400979%	47662639%
2000	0.025	4000	0.15	2.16E+04	4600%	4735%	12275%	16508%	321%	142%	0%	0%	1%	0%	1%	493430%	1549697%	2642820%	2859683%
2000	0.075	4000	0.15	8.71E+06	-84%	-95%	-57%	-87%	-92%	-97%	30%	46%	75%	18%	57%	19390%	24909%	22129%	18905%
2000	0.125	4000	0.15	4.28E+07	-87%	-94%	-75%	-89%	-92%	-96%	97%	164%	316%	56%	215%	28816%	49691%	38455%	28796%
4000	0.025	4000	0.15	2.00E+05	629%	238%	2984%	1155%	-37%	-76%	1%	1%	2%	1%	2%	109613%	564996%	2276521%	3668628%
4000	0.075	4000	0.15	3.43E+07	-95%	-98%	-87%	-95%	-97%	-99%	32%	52%	91%	18%	66%	35530%	87209%	108595%	103265%
4000	0.125	4000	0.15	8.66E+07	-86%	-93%	-76%	-87%	-91%	-95%	44%	76%	143%	24%	99%	49483%	301748%	488955%	417572%
10000	0.025	4000	0.15	2.54E+06	-71%	-89%	38%	-63%	-96%	-99%	4%	5%	7%	4%	6%	20408%	80589%	513337%	1639440%
10000	0.075	4000	0.15	5.03E+07	-94%	-97%	-89%	-94%	-97%	-98%	17%	29%	54%	8%	38%	48633%	636640%	1995992%	2576349%
10000	0.125	4000	0.15	2.00E+08	-80%	-87%	-71%	-80%	-86%	-91%	6%	17%	39%	-2%	25%	23019%	414659%	4102198%	8157492%