

# AVALIAÇÃO DA ADHERENCIA DE GEOGRELHAS ENTRE CAMADAS ASFÁLTICAS

Guillermo Montestruque<sup>1</sup>, Liedi Bernucci<sup>2</sup>, Fabiana Leite<sup>3</sup>, Cassio Alberto Teoro Carmo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP

Facultad de Ingenieria Civil, Arquitectura y Urbanismo, SJC. Brasil, [montestruque@univap.br](mailto:montestruque@univap.br)

<sup>2</sup> Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP

Departamento de Ingenieria de Transportortes, São Paulo, SP, Brasil, [liedi@usp.br](mailto:liedi@usp.br)

<sup>3</sup> Huesker Synthetic GmbH., Gesher, Alemanha, [leite-gembus@huesker.de](mailto:leite-gembus@huesker.de)

<sup>4</sup> Huesker Ltda. , SJC, Brasil, [cássio@huesker.com.br](mailto:cássio@huesker.com.br)

## Resumo

A estrutura de um pavimento está constituída por camadas de diferentes materiais. A resistência e rigidez global da mesma não dependem unicamente da resistência e da rigidez individuais de cada camada, também depende da aderência entre elas. Se a aderência na interface é inadequada tensões e deformações podem ser incrementadas por efeito das cargas do tráfego e conseqüentemente reduzir a vida de serviço da estrutura do pavimento. Problemas, como fadiga prematura, trincamento de cima para abaixo na camada do revestimento asfáltico, podem ser atribuídos à insuficiente aderência entre as camadas.

A utilização de capas asfálticas intermediaria especiais, geossintéticos e misturas asfálticas modificadas por polímeros, são utilizados com a finalidade de aumentar a vida de serviço do pavimento mesmo envolvendo custos maiores e os benefícios esperados podem ser perdidos por causa de taxas de pinturas de ligação inadequadas. A pintura de ligação entre as camadas é um pequeno detalhe em termos do custo global do pavimento.

Neste contexto, este trabalho mostra os resultados de Ensaios de Cisalhamento Direto em corpos de prova moldados em laboratório com e sem geogrelha. A pesquisa ressalta que para o caso de usar camadas intermediárias de reforço com geogrelha é muito importante à escolha apropriada da taxa da pintura de ligação, assim como os processos construtivos, a fim de minimizar efeitos negativos devido à má aderência.

O princípio do ensaio consiste em aplicar uma força cisalhante de forma que gere um deslocamento cisalhante na interface das camadas asfálticas. Os diâmetros dos corpos de prova, abertura de malha, presença de não tecido aderido ou não aderido na geogrelha, taxa de impregnação e outros parâmetros são discutidos. Um modelo matemático para o cálculo do incremento da área em superfícies fresadas é apresentado.

**Palavras Chave:** Restauração de Pavimentos, Geogrelhas, Ensaio de Cisalhamento Direto, Misturas Asfálticas.

## 1 Introdução

A estrutura de um pavimento é constituída por camadas de diferentes materiais. A resistência e rigidez global da estrutura não dependem unicamente da resistência e rigidez individual de cada camada, também depende da aderência entre elas. Se a aderência na interface for inadequada tensões e deformações podem ser incrementadas por efeito do tráfego e conseqüentemente reduzir a vida de serviço do pavimento.

A aderência entre as camadas asfálticas é muito importante para bom desempenho do pavimento. Uma baixa aderência em casos extremos é tipicamente associada a escorregamento

da massa asfáltica por aceleração ou desaceleração do tráfego ou por manobras bruscas. Outros problemas, como fadiga prematura, trincamento de cima para baixo na camada de revestimento, podem ser atribuídos à insuficiente aderência entre as camadas. Um grande número de pesquisas foi e está sendo desenvolvidas no campo do desempenho dos materiais asfálticos. Em contraste, poucas pesquisas foram realizadas levando em conta a aderência entre as várias camadas de um pavimento flexível ou sobre a global influência na vida de serviço do pavimento. Para propósitos de projetos é tipicamente assumido que existe uma perfeita ligação entre as camadas do pavimento (Brown e Bruton 1985). Porém, em reais condições, os diferentes níveis de aderência nas interfaces são desconhecidos. A aderência nas interfaces depende principalmente das propriedades do material ligante e da qualidade na construção.

Segundo Uzan et al. 1978, Brown e Brunton 1984 e Al Hakim 1997, a distribuição das tensões nas regiões de interface entre camadas elásticas de um pavimento, pode ser altamente influenciada pelas condições de aderência nas interfaces. Isto é importante porque as camadas superiores do pavimento são construídas freqüentemente em etapas e podem desenvolver assim uma fraca ligação. Nestes casos, um aumento das tensões, deformações e deflexões podem ser esperados levando a reduzir o desempenho global do pavimento. Brown e Bruton 1984, Kruntscheva, M.R. et al. 2005, conclui que mais pesquisas são necessárias sobre este assunto.

Pesquisa realizada pelo Departamento Federal Rodoviário Suíço (Raab C., 2004) sobre trechos experimentais restaurados com camadas intermediárias de geogrelhas de fibra de vidro e grelha metálica, mostraram as diferenças da aderência nas interfaces dos sistemas comparados ao trecho sem camada intermediária (Figura 32). Os CP's foram de 10 cm e os resultados dos ensaios de cisalhamento para a grelha metálica apresentam valores de força de cisalhamento entre 1,3 a 4,1 kN (média 2,5 kN, desvio padrão de 1,4kN). Para a geogrelha de fibra de vidro a força de cisalhamento variou entre 6,1 a 7,7 kN (média 6,6 kN, desvio padrão de 0,8 kN). Para o trecho sem camada intermediária, os valores da força de cisalhamento nos corpos de prova teve uma média 15,4 kN e desvio padrão de 0,7 kN. A pesquisa ressalta que para o caso de usar camadas intermediárias de reforço ou SAMI (Stress Absorbing Membrane Interlayer) é muito importante a escolha apropriada do material ligante e a taxa da mesma, assim como os processos construtivos, a fim de minimizar efeitos negativos devido à aderência (Raab C., 2004).

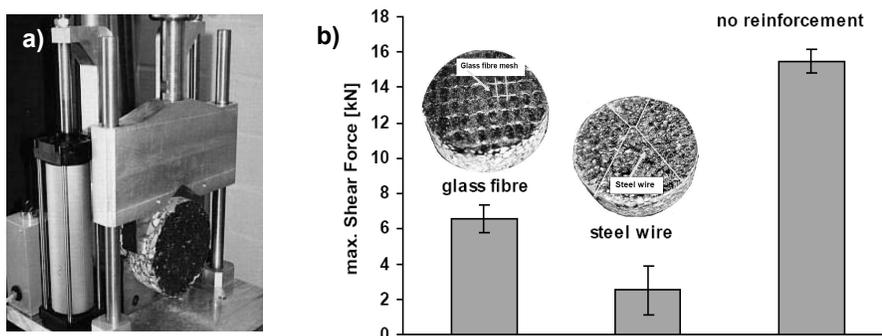


Figura 1- a) Equipamento de cisalhamento direto LPDS (Layer Paralled Direct Shear)  
 b) Resultado do ensaio de cisalhamento direto a 20°C para camada intermediária de grelha metálica e de fibra de vidro (Raab C., 2004).

## 2 Descrição do Equipamento e Ensaio de Cisalhamento Direto

O equipamento de cisalhamento direto conhecido por “Leutner shear tests“ foi desenvolvido na Alemanha em 1970 como uma simples forma aplicar uma tensão cisalhante sobre a interface de duas camadas asfálticas. O ensaio é executado em corpos de prova de 150mm diâmetro de pelo menos duas camadas asfálticas extraídas de campo ou reproduzidas em laboratório. O princípio do ensaio consiste em aplicar uma força cisalhante de forma que gere um

deslocamento cisalhante na interface das camadas asfálticas. A velocidade do carregamento é geralmente de 50mm/min na temperatura de 20°C. A vantagem do ensaio é sua simplicidade comparada com outros ensaios (“shear box type test”). A tensão nominal cisalhante é calculada pela carga aplicada dividida pela seção transversal do corpo de prova.

O equipamento manufaturado mostrado na Figura 33 é constituído basicamente por duas peças semicirculares, superior e inferior para corpos de prova (CP) de 15 e 10 cm de diâmetro. Na Europa é comum a extração de CP’s de 15cm diâmetro, já no Brasil a prática comum é a extração de CP’s de 10cm de diâmetro. Uma chapa de aço semicircular de corte recebe a carga aplicada.

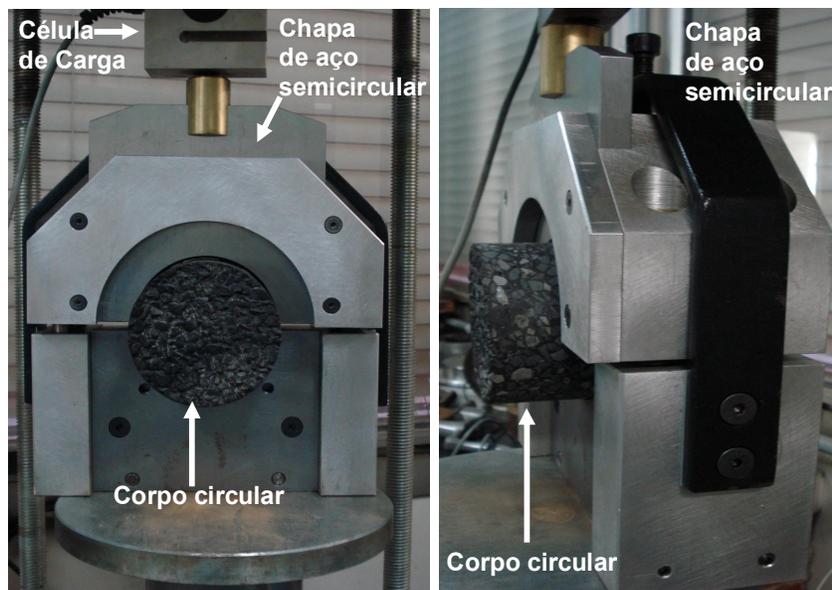


Figura 2- Equipamento de cisalhamento direto.

## 2.1 Materiais e Procedimento de Moldagem dos Corpos de Prova

Para investigar a aderência entre as camadas do sistema foram moldadas em laboratório placas de AAUQ (Areia Asfalto Usinada a Quente) e de SMA aderidas pela pintura de ligação com emulsão asfáltica RR-1C. As etapas do procedimento foram as seguintes:

- ✓ Usinagem da AAUQ a 150 °C; aquecimento do molde de 10 cm de altura.
- ✓ Compactação da AAUQ com mesa compactadora do tipo “BBPAC – LCPC” com espessura final de 5 cm.
- ✓ Depois de 3 dias de cura da AAUQ, foi aplicada a pintura de ligação (emulsão asfáltica RR-1C) em diferentes taxas.
- ✓ Seguidamente da ruptura da emulsão foi instalada a geogrelha e aplicada sobre ela a mistura asfáltica de SMA com espessura final de 5 cm.
- ✓ Compactação do SMA com mesa compactadora do tipo “BBPAC – LCPC”.
- ✓ Após a cura do SMA foram extraídos com rotativa os corpos de prova com diâmetro de 15cm e de 10cm.
- ✓ Realização do ensaio de cisalhamento.

Teve-se todo cuidado possível tendo presente que a precisão e a reprodutibilidade do ensaio dependem muito da construção uniforme dos corpos de prova de concreto asfáltico.



Figura 3 – Moldagem dos corpos de prova.

## 2.2 Resultados Obtidos do Ensaio de Cisalhamento Direto

Os resultados para os corpos de prova de 10 cm de diâmetro são apresentados na Figura 7 para as taxas de 0,20 / 0,25/ 0,30 e 0,40 l/m<sup>2</sup> de asfalto residual. Em todos os casos teve-se uma menor aderência quando a geogrelha está presente na interface, isto pode ser atribuído à área ocupada pelas fibras que compõem a malha na interface dentro dos corpos de prova. Neste contexto, pode-se esperar que a maior área ocupada pelas fibras menor a aderência na interface. A taxa ótima para o caso sem geogrelha foi de 0,30 l/m<sup>2</sup> de asfalto residual. Para o caso com a geogrelha, a taxa ótima foi de 0,40 l/m<sup>2</sup> de asfalto residual. Um leve incremento da aderência é alcançada quando essa mesma taxa é aplicada em duas etapas, 50% (0,20 l/m<sup>2</sup>) na camada inferior à geogrelha e os outros 50% sobre a geogrelha (Figura 8).

A Figura 7 mostra que para o caso dos CP's com geogrelha a variação da taxa de ligação pouco afeta a aderência no que se refere as taxas aqui testada, já para o caso sem geogrelha se vê que a aderência é mais afetada com a variação da taxa de ligação.

Segundo a norma alemã ZTV SIB 90 para corpos de prova de 15 cm de diâmetro a aderência é satisfatória se a carga de cisalhamento aplicada no ensaio for:

- ✚  $\geq 15$  kN na interface entre a camada de revestimento e binder.
- ✚  $\geq 12$  kN na interface entre outras camadas asfálticas.

Isto implica que uma tensão cisalhante maior que 0,85 MPa seria satisfatória. Analisando as curvas obtidas nos ensaios realizados todas as amostras cumprem esta norma, isto pode ser atribuído por causa da geogrelha ensaiada possui banho betuminoso.



Figura 4 – Ensaio de Cisalhamento direto em Corpos de Prova (CP) de 15 cm de diâmetro.



Figura 5 – Ensaio de Cisalhamento direto em Corpos de Prova de 10 cm de diâmetro.



Figura 6 – Ensaio de Cisalhamento Direto em CP de 10 cm de diâmetro com geogrelha.

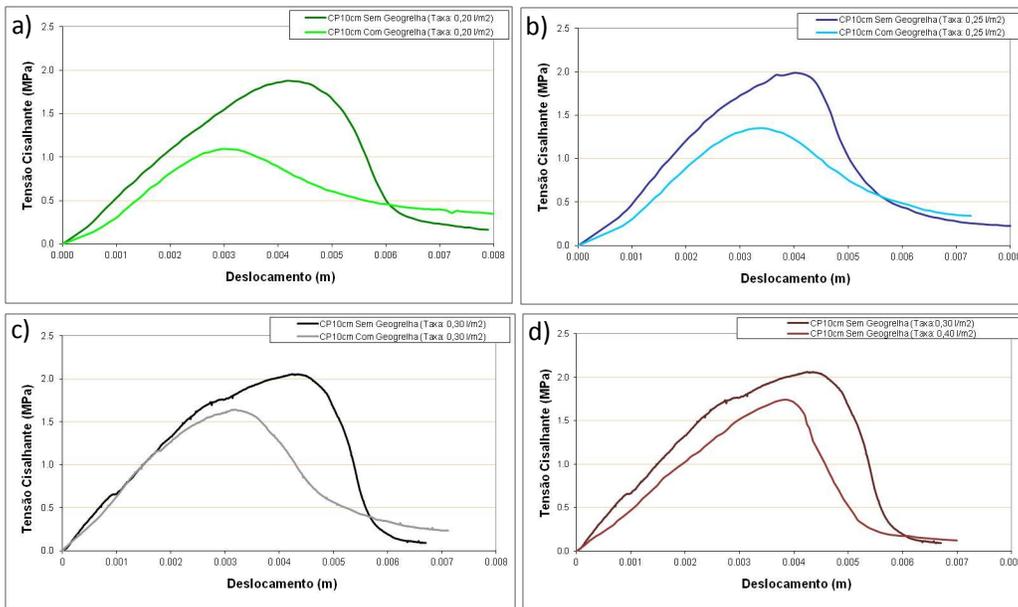


Figura 7 – Resultados dos ensaios amostras de 10 cm de diâmetro com e sem geogrelha.  
a) Taxa 0,201/m<sup>2</sup>; b) Taxa 0,251/m<sup>2</sup>; c) Taxa 0,301/m<sup>2</sup>; d) Taxa 0,401/m<sup>2</sup>.

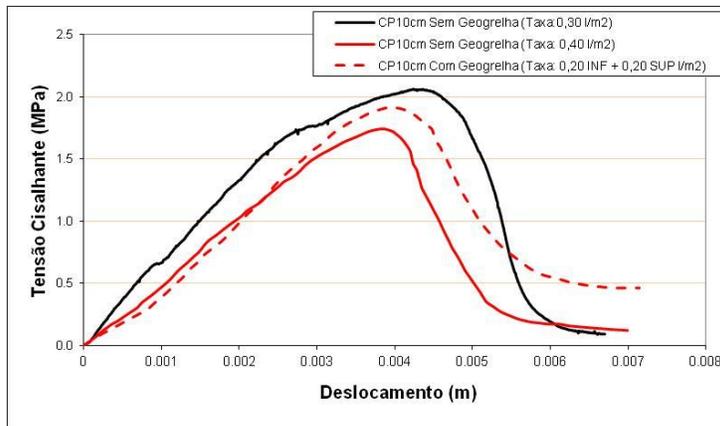


Figura 8 – Melhora na aderência para o caso de pintar ambas as faces da geogrelha.

### 3 Fatores relevantes que afetam a aderência

A aplicação de camadas intermediárias como sistemas anti-reflexão de trincas são comumente utilizadas como processo de restauração de pavimentos trincados. A utilização de geotêxtil impregnado com asfalto, geogrelhas e geocompostos como sistemas anti-reflexão de trincas, trazem benefícios no que se refere ao incremento da vida de serviço da camada de recapeamento asfáltico, no entanto, quando forem instaladas com taxas de ligação inadequadas as consequências são catastróficas (escorregamento da massa asfáltica ou trincamento prematuro). O risco de uma má impregnação em campo é maior no caso de geotêxteis e geocompostos com maiores gramaturas, para o caso de geogrelhas e geocompostos com não-tecido ultra leve (gramatura  $< 30\text{gr/m}^2$ ) com banhos betuminosos de fábrica os riscos são menores.



Figura 9 - Caso de uma má impregnação do geotêxtil.



Figura 10 - Caso de uma má impregnação do geocomposto.

A abertura da malha afeta a aderência na interface (Figura 11), ao se aplicar a pintura de ligação subjacente à geogrelha o asfalto residual é incapaz de ascender (quando reaquecidos) através dos elementos reticulados que compõem geogrelha devido à espessura desses elementos. Estes elementos reticulados possuem diferentes espessuras e larguras, quanto maior seja a área ocupada pelas fibras menos aderência se terá com a camada asfáltica superior de recapeamento. Nestes casos, recomenda-se a aplicação de duas pinturas de ligação uma inferior com 60% e outra superior à geogrelha com os 40% restantes.

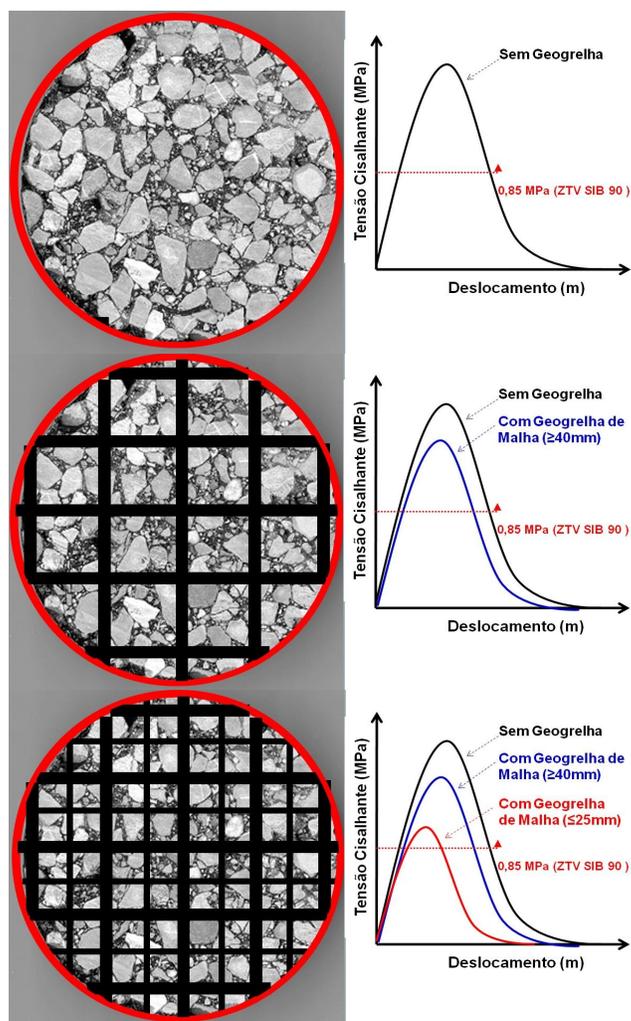


Figura 11. Redução da aderência em função da abertura de malha.

Segundo de Bondt A.H. (1999) para o caso de camadas intermediárias a rigidez ao cisalhamento na interface decresce. Na Figura 12 se mostra um esquema de duas vigas simplesmente apoiadas, na situação A trata-se de uma viga monolítica e na situação B duas vigas acopladas.

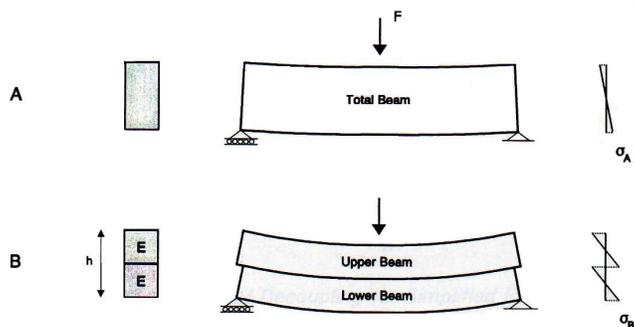


Figura 12 - Esquema de tensão de tração na interface de Bondt A.H. (1999).

A tensão de tração na situação A por ter a mesma curvatura tanto na parte superior como inferior é igual a:

$$\sigma_A = \frac{3}{2} \cdot \frac{FI}{h^2} \quad (1)$$

Para a situação B a tensão de tração é igual a:

$$\sigma_B = 3 \cdot \frac{FI}{h^2} \quad (2)$$

Pode-se observar que a tensão gerada na situação A é a metade que da gerada na situação B. O autor conclui que devido ao desacoplamento na situação B em praticamente duas vigas, implica que:

- ✓ A deflexão ao centro da viga aumenta;
- ✓ A distribuição das tensões muda drasticamente;
- ✓ A tensão de tração na interface é incrementada.

Em serviços de restauração com utilização de um sistema retardador da reflexão das trincas é comum a fresagem previa à instalação da geogrelha. A fresagem a frio pode ser definida como o corte em uma determinada espessura da camada de revestimento asfáltico existente, por processo mecânico a frio. Existem diversas Máquinas de fresagem geralmente com sistemas autopropulsionados, que permitem a execução da fresagem, de modo que o corte seja uniforme. No cilindro fresador construído em aço especial, para girar em alta rotação, são fixados os dentes de corte, estes componentes de corte são constituídos por corpo forjado em aço, com ponta de material mais duro que proporciona o corte e a rugosidade. A rugosidade resultante na pista é definida para cada tipo de fresagem de acordo com espaçamento entre os dentes, deixando uma superfície asfáltica remanescente ondulada (Figura 13). Devido a esta ondulação se tem um incremento da área de superfície, por conseguinte deve-se considerar também um incremento da taxa de pintura de ligação.

A fim de quantificar o incremento dessa área ( $\Delta$  área) um modelo matemático foi desenvolvido, com base no registro de diversas superfícies fresadas obtidas em campo. As amostras foram obtidas “in loco” com o seguinte procedimento:

- a) Colocação de um anel de 150 mm. de diâmetro e 20 mm. de altura sobre a superfície fresada;
- b) Pintura da área interna da superfície fresada com óleo diesel;
- c) Preparar e aplicar gesso de forma fluida dentro do anel até o topo;
- d) Após a cura de o gesso retirar o anel;

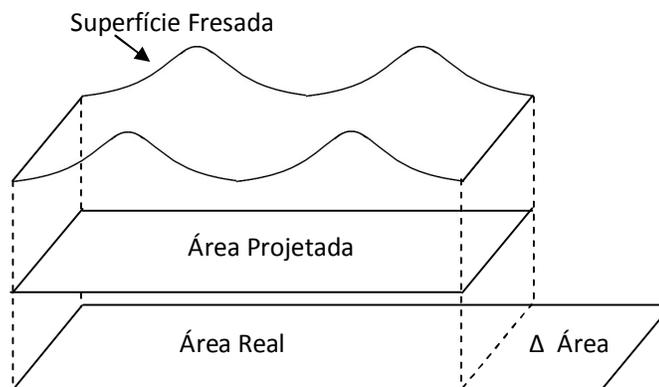


Figura 13 – Incremento em área de pintura de ligação devido à fresagem.

A curva geométrica mais representativa das superfícies fresadas foi obtida plotando os pontos  $P(x, y)$  da curva de equação:

$$x^2 \cdot y + a^2(y - a) = 0 \quad (3)$$

Que em um sistema de coordenadas cartesianas, obtemos o gráfico da Figura 14:

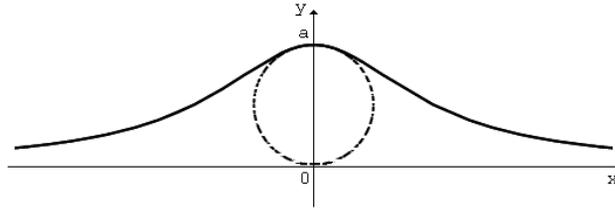


Figura 14. Perfil de um surco nas coordenadas cartesianas.

Desenvolvendo a equação (1):  $x^2 \cdot y + a^2 \cdot y - a^3 = 0$  e colocando “y” em evidência, teremos a expressão:  $y(x^2 + a^2) = a^3$ , podendo escrever, finalmente:

$$y = \frac{a^3}{x^2 + a^2} \quad (4)$$

A curva representativa da equação 2, pode ser obtida conforme Figura 15:

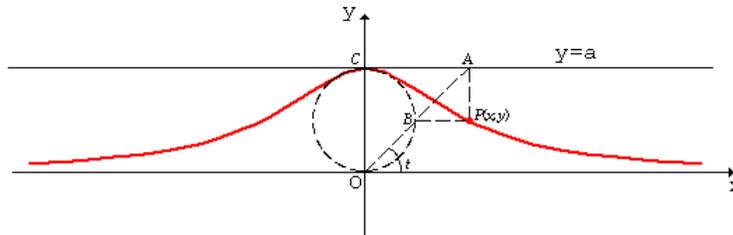


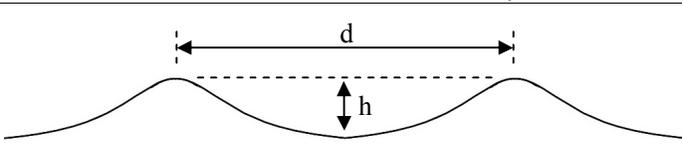
Figura 15. Curva representativa da equação 4.

Onde os pontos  $P(x, y)$ , são obtidos pela interseção dos segmentos BP (horizontal) e AP (vertical), perpendiculares entre si, onde A é obtido pela interseção da semi-reta OA com a tangente à curva no ponto C (reta  $y = a$ ) e B é obtido pela interseção da mesma semi-reta com a circunferência de diâmetro  $OC = a$ . Fazendo-se a semi-reta OA variar, mantendo-se o ponto O fixo e variando-se o ângulo  $t$ , iremos obtendo novos pontos  $A_1, A_2, \dots$ , que, pelo critério acima, irão determinando os novos pontos da curva. Uma macro no Excell foi desenvolvida para calcular o comprimento da curva e o correspondente incremento de área. Como dados apenas são digitados a distância horizontal entre dois picos dos surcos e a profundidade do surco (Tabela 1), de esta forma facilita-se sua obtenção em campo.

Uma vez calculada o incremento de área devido à fresagem, pode-se calcular o incremento da pintura de ligação.

Na Tabela 1, é mostrado diferentes situações calculadas através da macro desenvolvida, quanto maior seja a profundidade do surco é menor seja a distancia entre eles, maior é incremento da área. Aplicar uma taxa de pintura de ligação que não contemple este incremento pode ser catastrófico principalmente para geogrelhas mais fechadas ou geocompostos com gramaturas elevadas.

Tabela 1. Simulação



O diagrama mostra uma geogrelha com uma malha retangular. A distância entre os centros das malhas adjacentes é denotada por 'd'. A altura da malha é denotada por 'h'. A geogrelha é representada por uma linha curva que se eleva no centro de cada malha e se abaixa no centro das malhas adjacentes.

d	h = 10 mm	h = 15 mm	h = 20 mm
Distancia (mm)	$\Delta$ área (%)	$\Delta$ área (%)	$\Delta$ área (%)
15	33	63	79
20	25	47	59
25	20	37	47
30	16	31	39
35	14	27	33
40	12	23	29

É importante notar que se a geogrelha deve absorver tensões de tração trabalhando em cooperação com a camada asfáltica, isso só é possível se esse estiver bem ancorado, pois só deve trabalhar, ou mobilizar resistência, se houver estímulo à sua deformação. Esta ancoragem é garantida por uma boa aderência com a camada asfáltica. A geogrelha não pode escorregar em relação ao revestimento solicitado, ou terá prejudicada a sua adequada mobilização e a sua condição de absorver parte das tensões de tração provocadas pela solicitação de tráfego sob o pavimento.

Finalmente, os coeficientes de dilatação da geogrelha e do concreto asfáltico devem ser compatíveis. As diferenças entre coeficientes de dilatação produzem tensões de cisalhamento secundárias entre o asfalto e a geogrelha causadas pelos diferentes movimentos de expansão/ contração entre ambos os materiais. Portanto, se localmente tais tensões chegam a alcançar a tensão limite de aderência, imediatamente se produzirá uma redução de aderência entre asfalto e a geogrelha.

#### 4 Conclusões

- ✓ A aderência entre camadas asfálticas tem uma função muito importante no desempenho da estrutura do pavimento, podendo surgir trincamentos prematuros devido ao incremento da tensão cisalhante na interface com deficiência de aderência. Mais pesquisas devem ser desenvolvidas no sentido de estimar as forças horizontais na interface.
- ✓ A presença de Geogrelhas nas interfaces asfálticas provoca redução da aderência, quanto mais fechada seja a abertura da malha maior será a perda de aderência.
- ✓ Para o caso de geogrelhas ou geocompostos de maiores gramaturas recomendam-se efetuar a pintura de ligação em ambas as faces do geossintético podendo ser 60% na parte inferior e 40% na parte superior.
- ✓ Em superfícies asfálticas fresadas um incremento na taxa da pintura de ligação tem que ser considerado, por causa do incremento da área e da ruposidade.

#### 5 Referências

- [1] Al Hakim B. – “An improved backcalculation method to predict flexible pavement layers moduli and bonding condition between wearing course and base course”. PhD thesis, Liverpool John Moores University. Liverpool, U. K., 1997.
- [2] Brown, S.F., and Brunton, J.M.- “The influence of bonding between bituminous layers”. Highways Transportation, 31(5),16-17, 1984.
- [3] Brown, S.F., and Brunton, J.M.- “An introduction to the analytical design of bituminous pavements”. 3<sup>rd</sup> ed. Nottingham University. Nottingham, U.K, 1985.

- [4] de Bondt A.H. – “Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphaltic Overlays” – Thesis of Dr., Technische Universiteit Delft, 1999.
- [5] Montestruque, G. E.- “Contribuição para a Elaboração de Método de Projeto de Restauração de Pavimentos Asfálticos Utilizando Geossintéticos em Sistemas Anti-Reflexão de Trincas”. Tese de doutorado, Instituto Tecnológico de Aeronáutico. São José dos Campos, São Paulo, Brasil, Novembro 2002.
- [6] Montestruque, G. E.- Utilização do “Crack Activity Meter” na Restauração de Pavimentos com o Sistema Anti-reflexão de trincas: Strata- Geogrelha – SMA. Relatório Final de Pesquisa de Pós-Doutorado, USP, 2008.
- [7] Montestruque, G. E.- Geogrid Effects on the Resistance to Crack-Growth and Fracture of Asphalt Concrete Mixtures, 10th International Conference on Geosynthetics 2014.
- [8] Raab C, Partl, M.N. – “Interlayer shear performance: Experience with different pavement structures”. 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna, Book 1, 535-545, 2004.
- [9] Wisconsin Department of Transportation, Division of Transportation Infrastructure Development. “GlasGrid Pavement Reinforcement Product Evaluation”. Final Report 1990 – 2002. Report No. FEP-03-03, April 2003.
- [10] Uzan, J., Livneh, M., and Eshed Y. – “Investigation of adhesion properties between asphalt concrete layers”. Proc. Assoc. Asphalt Paving Technologists, St. Paul, Minn., 47, 495-521, 1978.