

O envidraçamento de segurança refere-se a uma grande variedade de produtos de vidro laminado, projetados para suportar complexas cargas estruturais. Essas cargas podem resultar de determinadas ameaças à segurança e proteção -- contidas por vidros de segurança específicos, que são:

- 1 Roubos e arrombamentos
- 2 Ataques balísticos
- 3 Explosões de bombas
- 4 Espionagem eletrônica.

Envidraçamento Contra Arrombamentos:

Os roubos em residências e pontos comerciais são fatos comuns. Com frequência, os roubos acontecem através de um ponto de vulnerabilidade e baixo risco. Os lugares mais críticos para a invasão de propriedades são a entrada e as janelas. O vidro laminado padrão, de duas lâminas, em comparação com o vidro monolítico, apresenta considerável melhora quanto à resistência a arrombamentos. Além do mais, o vidro laminado não pode ser cortado somente por um lado, inutilizando o corta-vidros como um instrumento de roubo. A capacidade do envidraçamento com vidro laminado para resistir a roubos e entradas violentas foi medida pelo Teste UL 972 do Underwriters Laboratory. Esse teste submete a amostra de vidro aos ataques definidos na Figura 3.

O vidro laminado satisfaz os requisitos da prova UL 972 com uma simples combinação de duas lâminas de vidro -- com uma espessura total de 9/32" a 9/16" (7 a 15mm) -- e película de Saflex® de 0.060" a 0.090" (1.52 a 2.25 mm) ou mais. E ainda impede roubos em que a rapidez é necessária, uma vez que o vidro pode ser rompido, mas leva-se muito tempo para atravessar a película de PVB.

Figura 3			
Parâmetros de testes - Envidraçamento Contra Roubos			
Provas UL 972 (1)	Teste de impacto	Energia do impacto	Temperatura
Impacto Múltiplos	5	50 pie - lb	70° - 80°F (21°-27°C)
Uso ao ar livre (2)	5 5	40 pie - lb 40 pie - lb	14°F (-10°C) 120°F (49°C)
Uso Interior (3)	5 5	50 pie-lb 50 pie-lb	95°F (35°C) 55°F (13°C)
Impacto de alta energia (3)	1	200 pie-lb	70° - 80°F (21° - 27°C)

(1) As provas consistem em deixar cair uma esfera de aço de 3 1/4" 5 lb. (2.25 Kg) desde uma distância vertical designada; tamanho da amostra de 24" x 24" (61 cm x 61 cm).
 (2) A esfera de aço não deve penetrar no laminado em nenhum dos cinco choques em nove das 10 amostras testadas.
 (3) A esfera de aço não deve penetrar no laminado em nenhuma das três amostras testadas.

Envidraçamento de Alta Segurança:

Em aplicações de segurança mais específicas, como em portas de bancos, existe a possibilidade de ataques com armas sofisticadas. Nessas circunstâncias, é indicado que o envidraçamento resista à penetração por um certo tempo, suficiente para

que outras medidas de segurança entrem em ação. O envidraçamento de alta segurança pode ser classificado, contra ataques com uma série de armas, segundo o método de prova standard ASTM F1233(1).

A Figura 4 enumera as armas e seqüências de arrombamentos representativos, utilizadas na prova ASTM F1233 para determinar a eficácia do envidraçamento de segurança na resistência a entradas violentas.

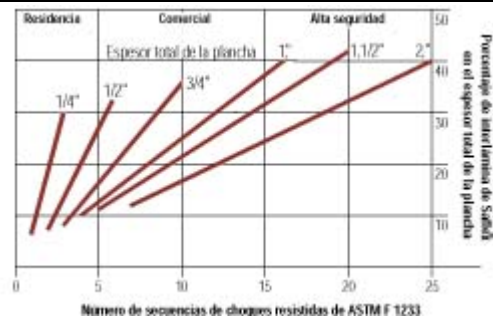
Geralmente, o número de ataques a que o vidro pode resistir -- sem permitir a passagem de um sólido de 8" x 8" x 5", simulando um corpo humano -- é um parâmetro efetivo para medir o seu valor como proteção contra arrombamento. Determinados produtos de segurança com vidro laminado proporcionam uma considerável resistência a ataques de todas as formas indicadas na Figura 4. Quando as configurações do vidro laminado são especificadas para resistir a um arrombamento, o resultado é o seguinte:

- As configurações mais grossas são mais eficazes do que as mais finas.
- O vidro semi-temperado é mais resistente que o vidro comum ou que o vidro temperado.
- Mantendo uma espessura específica, o vidro laminado será mais resistente a arrombamento se aumentada a proporção de Saflex®.

Figura 4					
Seqüência da Testes da Arrombamento de ASTM F 1233					
Implementação de testes	Seqüências da testes para cada tipo de envidraçamento de segurança				
	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V
<i>Impacto contundente</i> (impactos)	.	.	.	.	.
Martelo de calafates (25)	A	5	10,	19,22,27	30,33,36,39
Tubo / Martelo de 4" (25)	A	A	16	18	29
Marreta (10)	A	A	9	17	28
Martelo da Bola (10)	1	2	8 A	A	A
<i>Ferramentas pontiagudas</i> (impactos)	.	.	.	.	.
Martelo par tirar pregos(10)	A	7	12	23	A
Cinzel/martelo (25)	A	A	13	25	35,40
Ferro/martelo em ângulo (25) Tubo /	A	A	15	A	A
Martelo de 1 ½" (25)	A	3	A	A	A
Machado da bombeiro (25)	A	A	A	24	32,38
Cunha para lascas lenha	A	A	A	21	34,41
<i>Fadiga - Térmica</i> (minutos)	.	.	.	.	.
Extintor (CO2) (1)	A	4	A	A	A
Tocha da "propane" (5)	A	6 B	11 C	20 C	31
<i>Deteriorização química</i> (quantidade)	.	.	.	.	.
Gasolina (¼ litro)	A	A	14	A	A
Acetona (¼ litro)	A	A	A	26	37
Seqüência total da testes:	1	7	16	27	41
A Não corresponde					

B Para Classe II, a chama deve apagar com um jato de água imediatamente depois da aplicação da tocha de "propane".
 C Para Classe II, IV y V, se a amostra continua ardendo depois de tirar a chama (manutenção própria) deve deixar se queimar por 10 minutos mais e depois apagar com um jato de água.

A Figura 5 resume os resultados dos testes de arrombamento conduzidos para a Solutia pelo H.P. White Laboratory, de acordo com a prova ASTM F1233(*). Esse gráfico ilustra a relação entre a espessura total do vidro laminado e do Saflex®, quanto à resistência a arrombamento.



(* Nota: O ponto de falha de quase todos os materiais sujeitos ao teste de arrombamento da ASTM depende da precisão da sequência de ataques a que foram expostos. Não se pode assumir que um agressor vá seguir a mesma sequência do teste a que foi exposto originalmente o material, quando da determinação de sua resistência para arrombamento.

O envidraçamento -- vidro laminado e caixilho - pode ser projetado e fabricado para resistir a ataques durante tumultos populares, saques a lojas ou até mesmo impacto de veículos.

Envidraçamento Resistente à Balas:

O vidro laminado de segurança é capaz de resistir tanto à penetração de balas quanto a estilhaços (fragmentação do lado protegido do vidro) causados pelo impacto resultante de ataques balísticos. A capacidade de resistência do vidro aos ataques balísticos foi medida segundo os requisitos da prova UL 752.

Esses requisitos estão resumidos na Figura 6:

Nível 1 Proteção contra revólver de médio poder, como Super .38 9 mm Automático com energia de boca de 380-460 pés-Lb.

Nível 2 Proteção contra revólver de alto poder, como Magnum .357 com energia de boca de 548-663 pés-Lb.

Nível 3 Proteção contra revólver de super poder, como Magnum .44 com energia de boca de 971-1.175 pés-Lb.

Nível 4 Proteção contra rifles de caça e esportivos de alto poder, como os de 30-'06, com energia de boca de 2.580-3.120 pés-Lb.

Nível 5 Proteção contra munição militar com capa de cobre, disparada de um rifle de caça, como uma Winchester 308 ou um rifle militar com energia de boca de 2.519-3.048 pés-Lb.

Nível 6 Proteção contra múltiplos disparos de uma metralhadora, como a UZI 9 mm com energia de boca de 540-653 pés-Lb.

Nível 7 Proteção contra múltiplos disparos de um fuzil militar de assalto como o M-16 com energia de boca de 1.158-1.402 pés-Lb.

Nível 8 Proteção contra múltiplos disparos de um fuzil militar de assalto como o M-

14 com energia de boca de 2.519-3.048 pés-Lb.

Armas suplementares: O teste suplementar usando bala de chumbo estriada com energia de boca de 2.438 -2.950 pés-Lb e perdigão de chumbo 00 com energia de boca de 2.078- 2.415 pés-Lb disparados com um revólver calibre 12. Os produtos foram avaliados com ambas as cargas. Os que passam nesse teste podem levar o sufixo "SG" junto com sua denominação.

A ASTM criou e promulgou um padrão de testes para determinar a resistência balística do vidro de segurança. Os requerimentos definidos nessa norma, a ASTM F1233, estão resumidos na Figura 7.

Deve-se levar em conta que as amostras de vidro que não passem em uma ou em nenhuma das provas UL 752 e ASTM F1233 ainda assim podem oferecer considerável proteção à vida das pessoas por elas protegidas contra um ataque balístico. Afim de refletir uma avaliação realista do desempenho do vidro de segurança perante um ataque balístico, definem-se três áreas de performance (Figura 8):

Figura 6					
Parâmetros do testes UL 752 (1) - Equipamentos resistentes a balas					
Classificação (2)	Munição	Grão	(g)	Vel. Min f.p.s (m/s)	Cant. tiros
Nível 1	9 mm. Coberta comp. da cobre com interior em chumbo	124	(8.0)	1,175 (358)	3
Nível 2	Magnum .357 coberta de chumbo ponta suave	158	(10.2)	1,250 (381)	3
Nível 3	Magnum .44 com projétil de taco semi - coberto	240	(15.6)	1,350 (411)	3
Nível 4	Rifle calibre .30 com interior em chumbo ponta suave	180	(11.7)	2,540 (774)	1
Nível 5	Rifle 7.62 mm. interior em chumbo com coberta de cobre - munição militar	150	(9.7)	2,750 (838)	1
Nível 6	9 mm. Coberta de cobre com interior em chumbo	124	(8.0)	1,400 (427)	5
Nível 7	Rifle 5.56 interior da chumbo com coberta de cobre	55	(3.56)	3,080 (939)	5
Nível 8	Rifle 7,62 com interior da chumbo com coberta de cobre - munição militar	150	(9.7)	2,750 (838)	5
Armas Suplementares	Projétil da chumbo para rifle calibre 12	437	(28.3)	1,585 (483)	3
	Perdigão da chumbo 00 calibre 12 (12 grãos)	650	(42)	1,200 (366)	

Nota: A velocidade máxima e de 110% de a velocidade mínima.

(1) As provas foram efetuadas aproximadamente nas mesmas condições e temperaturas previstas em uso.

(2) O projétil não deve penetrar o envidraçamento e o impacto não deve produzir fragmentos grandes de vidro que sejam jogados com força para atrás da amostra de uma distancia de 18" (= 46 cm.).

Figura 7 Parâmetros do Testes balístico ASTM F 1233			
Arma Tipo / Designação	Peso da bala (grãos)	Velocidade (em pps @ 15 pés)	Energia (pés - lb)
Pistola Super .38	130	1.280 (± 50)	473
Parabellum NATO de 9 mm.	124	1.400 (± 50)	540
Pistola Magnum .44	240	1.450 (± 50)	1.121
Rifle NATO de 7.62 mm.	147 (bola M80)	2.800 (± 50)	2.560
Rifle AP .30-'06	165 (M2AP)	2.775 (± 50)	2.882
Escopeta Magnum de 3"	885 (tiro de 00)	1.315(± 50)	3.399

1) A carga da escopeta inclui 15 perdigões de 15 grãos cada um. Cada perdigão tem um energia aproximadamente 227 pés-lb. A escopeta foi usada somente como um rol complementar.

2) Esta prova standard requer que a amostra resista três (3) disparos a uma distância de 25" (=7,6 m) com uma separação 120° (49°) ao redor de um círculo branco de 8" (=20.3 cm) diâmetro. O estilhaço é medido usando um painel de 6" com uma lamina de alumínio 0,001" (=0,25) de espessura colocada detrás do envidraçado.

3) Nas pequenas diferenças entre as características das armas definida na Figura 6 para a prova UL 752 e as apresentadas aqui para astm 1233, assim como as diferenças nos padrões e métodos de disparo necessários para medir o estilhaço, podem fazer que uma configuração determinada de envidraçado passe ou não nestas provas.

Área de Segurança: o envidraçamento evita por completo a penetração do disparo e minimiza os fragmentos da face interna do vidro no grau necessário para ser aprovado pela ASTM F1233(1)

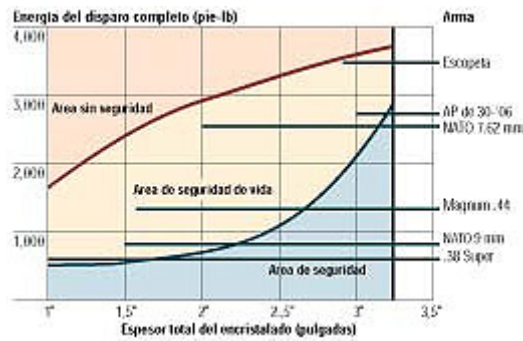
Área de Segurança de Vida: o vidro pode chegar a ser lascado, mas não haverá penetração do disparo por completo. Os fragmentos, expelidos da superfície posterior do vidro em grandes velocidades, podem causar lesões ou até mesmo cegueira. Entretanto esses fragmentos raramente causam risco de vida. Para proteção de vida, o vidro de segurança laminado apresenta performance balística bem superior ao vidro monolítico da mesma espessura.

Área Não-Segura: o disparo é capaz de penetrar e lascar o vidro. A performance balística geral do vidro de segurança em função da espessura apresenta-se na Figura 8. Mesmo sendo a capacidade de resistir a um ataque balístico diretamente dependente da espessura total de uma determinada configuração de vidro de segurança, em relação à energia do disparo, ela não depende unicamente desses dois parâmetros. O modelo da bala, o tipo de vidro (comum, temperado ou semi-temperado), o número de lâminas de vidro e suas espessuras individuais, assim como o tipo e a espessura da película de Saflex, todos influenciam a performance balística. Assim, a Figura 8 deve ser vista como um guia. A configuração do vidro de segurança selecionada para uma determinada aplicação deve ser baseada em testes balísticos que utilizem o Método de Prova Standard ASTM F1233.

O uso de uma fina película de blindagem (de 1/8" ou menos) sobre a superfície protegida de uma configuração balística pode aumentar significativamente a capacidade do envidraçamento de evitar lascas e ampliar a área de segurança do gráfico da Figura 8. Lâminas finas de vidro comum e películas de PET são usadas

normalmente como películas de blindagem. Nesse caso, o filme de PET é mais eficaz do que o vidro, mas pode prejudicar a qualidade ótica do conjunto, além de ser menos resistente à deterioração.

Performance de balística em vidro laminado de segurança



Nota: A espessura mínima necessária do vidro laminado de segurança para impedir a penetração de um disparo de uma arma determinada, depende em grande parte dos detalhes de configuração, incluindo quantidade e espessura e o tipo de película. A curva sinalizada deve ser considerada somente a título ilustrativo. As linhas horizontais indicam a energia dos disparos de provas de arma de ASTM F1233. O final esquerdo de cada linha representa o pronto da prova real para uma amostra de segurança de vida. Tendo em conta que o vidro monolítico de 1" (=24 mm.) de espessura, independentemente do tratamento térmico, não resiste a penetração de um disparo de nenhuma das armas indicadas no gráfico. A informação acima está baseada em amostras avaliadas e não garante - se para todas as amostras ou todas as circunstâncias que possam variar com respeito as apresentadas durante estas provas.

(1) A ASTM F 1233 exige que a amostra resista a 3 (três) disparos balísticos, que se choquem com o vidro em um padrão de prova específico. Atender essa exigência não implica que a amostra não seja lascada ou que resista à penetração de um quarto disparo, nem pode-se assegurar o êxito contra três disparos em um padrão diferente (mais de perto). Atualmente, o aumento da frequência dos ataques balísticos com armas automáticas exige testes além dos protocolos estabelecidos, para garantir que os objetivos de segurança sejam alcançados.

Especificação do Caixilho:

A introdução do vidro laminado de segurança resistente a explosões na especificação da construção, geralmente resulta em uma combinação com o caixilho. As grandes cargas explosivas de curta duração podem exceder a capacidade dinâmica de carga requerida para a especificação tradicional. Portanto, para se obter o máximo de performance do envidraçamento de segurança, são necessários projetos conjuntos de vidro e caixilho*. Tais projetos -- não necessariamente mais pesados ou mais caros -- geralmente determinam a retenção do vidro por meio de uma integração entre o caixilho e a estrutura de fixação.

*Nota: Alguns projetos podem requerer consulta a um engenheiro especializado.

Vidro Para Segurança Eletrônica: Espionagem eletrônica, roubo e destruição de informação confidencial ou patenteada podem gerar prejuízos. De maneira similar, interferência na operação de terminais e redes de computadores, devido à incidência de raios solares ou emissão eletromagnética, também podem resultar em perda. O vidro de segurança com película de Saflex® em conjunto com telas metalizadas pode oferecer uma proteção considerável contra esse tipo de perda. Um modelo típico de vidro laminado para proteção eletrônica consiste nos elementos seguintes: [vidro de 1/4" + Saflex de 0.060" + rede de tela metalizada + Saflex de 0.060" + vidro de 1/4"]. A rede de tela metalizada pode ser extremamente fina (menos de 1mm), apresentando uma contribuição irrelevante ao peso total do modelo. A tela metalizada é, na realidade, similar a uma tela de janela

convencional, retida e protegida pelo vidro laminado. O vidro de segurança para arquitetura ou outra aplicação pode portanto ser fabricado para prover também uma proteção eletrônica adicional.

A Figura 10 ilustra a performance de proteção eletromagnética típica do vidro de segurança eletrônica, devidamente encaixilhado e fixado, entre 30 MHz e 10 GHz. É possível especificar determinadas configurações com mais de 60dB de atenuação ao longo dessa classe de frequência.

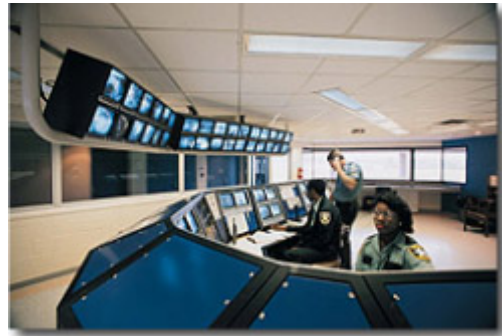
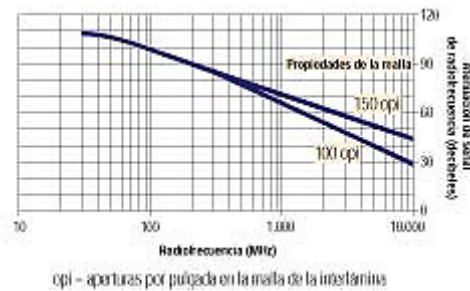


Figura 10
Rendimento Típico de RF do Vidro de Segurança Eletrônico
(Eficácia protetora)



Informação Adicional Sobre Projeto do Vidro de Segurança:

Na publicação "Security Glazing Design Guide", disponível na Monsanto, há informações detalhadas sobre projetos e testes adicionais. Essa publicação inclui um disquete de computador que ajuda no projeto e especificação de produtos de vidro de segurança que satisfaçam determinadas necessidades contra riscos de arrombamento, ataques balísticos e explosões.



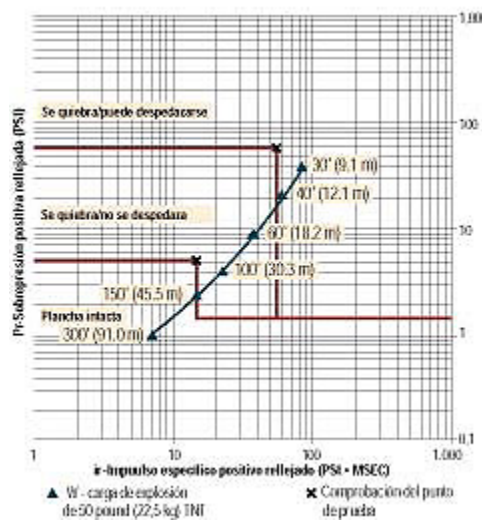
1 METAX (TM) de Takase Dyeing and Printing Works Ltd. de Osaka, Japão, é uma rede de tela metalizada usada em EMI. Geralmente, tanto a tela (Nylon, fio poliéster, rayon ou acrílico) como a cobertura de metal (níquel, prata etc.) podem ser

Envidraçamento Resistente a Explosões:

O vidro laminado de segurança, formado por vidro float comum e película Saflex®, pode reduzir consideravelmente os danos causados pela pressão do deslocamento de ar ou pelo material arremessado ao ar em caso de explosões, além de possibilitar a redução de custo no reparo de um local atingido por explosão. Vidros

laminados mais espessos podem, inclusive, superar a performance de muitos materiais estruturais de interior ou exterior quanto à proteção contra danos ocasionados por explosões acidentais ou ataques de bombas. Em caso de explosões, os danos causados por vidro somam a maior parte dos custos de reparo e são também os principais causadores de lesões nas pessoas. Se todos os painéis de vidro de um prédio permanecerem dentro de seus caixilhos, os vidros não serão lançados para dentro do prédio ou para o chão, evitando maiores danos. Além disso, a fachada do prédio permanecerá intacta e os prejuízos no seu interior serão minimizados. Até o momento, não existe uma norma reconhecida para testar o vidro de segurança resistente a explosões (capacidade para resistir a quebras, rachaduras e lascas). Em 1989, a Monsanto patrocinou um programa de testes com explosões ao ar livre, utilizando uma série de materiais de vidro e outros materiais alternativos. A fotografia abaixo mostra um típico teste de explosões. O programa de testes determinou o nível de carga explosiva -- expressa em termos de alta pressão ("Pr" na Figura 9) e de impulso (alta pressão e parâmetro de duração "ir" na figura 9) -- no qual as chapas de vidro de determinada medida e configuração são quebradas ou estilhaçadas. (1) Esse programa de testes confirmou os seguintes resultados de performance do vidro de segurança laminado frente a explosões: %
 O vidro de segurança laminado continuará apresentando RET=1 para cargas de explosão significativamente maiores do que a carga necessária para quebrar a chapa.

Performance típica de explosões



- O vidro monolítico, uma vez rachado, é estilhaçado se o RET baixar rapidamente para $RET < 0.3$ com um pequeno aumento da alta pressão em um nível acima do requerido para quebrar a chapa. Quando o vidro monolítico de um envidraçamento de espessura comum ($1/4" = 6 \text{ mm}$) é estilhaçado, os fragmentos são lançados a uma distância de até 50 pés ($= 15.2 \text{ m}$) ou a uma velocidade tal que pode causar danos.

(1) Nessa discussão, os termos "quebrar", "rachar" e "estilhaçar" são utilizados com um significado muito específico. "Quebrar" e "rachar" são usados simultaneamente, em referência a uma chapa que apresenta algum tipo de rachadura. Uma chapa estilhaçada é aquela que se desprende do caixilho, inteira ou em muitos pedaços. Para quantificar o limite de estilhaçamento das chapas é definido um parâmetro de retenção (RET). $RET = 1.0$, o vidro inteiro

permanece no caixilho, não se estilhaça. Quando o $RET = 0$, o vidro desprende-se do caixilho e a chapa estilhaça-se por completo.

- Pesquisas têm demonstrado que a aplicação da película de tereftalato de polietileno (PET) não reforça o vidro, nem aumenta sua resistência à explosão. Uma chapa com PET quebra-se da mesma forma que uma chapa sem essa película, frente a um impacto causado por uma explosão. Finas películas de PET (0.004" a 0.007" = 0.01 cm a 0.02 cm) podem manter juntos fragmentos do vidro, depois que a chapa se quebra, mas não necessariamente mantêm inteira a chapa no caixilho. Isso faz com que o tamanho dos estilhaços lançados pelo efeito da explosão seja maior, substituindo o risco de pedaços pontiagudos isolados de vidro monolítico por corpos de maior volume. Essa limitada capacidade de retenção da chapa inteira no caixilho é particularmente problemática em prédios altos, sendo uma ameaça sobre a área térrea ao seu redor.



- O vidro laminado de segurança (mesmo tão fino como 1/4" = 6 mm) aumentará fundamentalmente o alcance da carga explosiva pela qual $RET=1$, reduzindo então o risco de estilhaços e de queda do vidro como resultado de explosões de bombas. Além disso, não se despedaça com o impacto de pequenos fragmentos da explosão, ainda que eles penetrem no vidro. Essa segurança maior é particularmente importante em estruturas que não são alvo das explosões mas estão situadas perto da estrutura impactada. A Figura 9 ilustra as propriedades de resistência a explosão de uma típica chapa de vidro laminado de segurança. Superposto às zonas de provas (chapa intacta, rachada/não fragmentada, rachada/fragmentada) que descrevem a performance do vidro, está a linha(1) de carga de 50 Lb (22.5 kg) de TNT detonado ao nível do mar. Essa chapa irá se rachar, mas não se despedaçar à uma distância de 45 pés (13.6 m) da carga explosiva.

1 A linha de carga de onda explosiva mostra a alta pressão e o impulso de carga positivos, criados pela onda explosiva de um peso de carga específico (peso equivalente a TNT), a diferentes distâncias do ponto de detonação. À medida em que a distância da carga aumenta, tanto a máxima alta pressão positiva refletida como impulso diminuem.