

# **Estudo sobre as Proteções Fixas utilizadas no Brasil (Grampos)**

**Autores:**

**Marcelo Roberto Jimenez**

**Miguel Freitas**

Curso de Formação de Guias 1998-1999

Clube Excursionista Carioca  
Rio de Janeiro, RJ - Brasil

## **Agradecimentos**

Gostaríamos de agradecer aqui a diversas pessoas, sem as quais quase nada do que foi feito neste trabalho teria sido possível.

Queríamos agradecer ao Laboratório de Engenharia Mecânica da PUC-RIO, em particular ao Adrian Giassone pela paciência ao realizar os testes de resistência em todas as peças.

Obrigado também ao Rodrigo C. Ferreira e ao Brás do CETUC, pela ajuda e pelas idéias com a peça que foi criada para o ensaio de grampos e com o tubo utilizado no teste da força de choque da corda.

Ao professor Jean Pierre von der Weid pelas idéias e discussões sobre força de queda e grampos, além do material doado para os testes.

Ao Clube Excursionista Carioca, ao André Ilha e ao José Ivan Calou, pelos grampos fornecidos para os testes, e ao Omar Lacerda, que doou as chapeletas.

## Introdução

O objetivo deste trabalho é analisar na teoria e na prática o sistema de segurança utilizado atualmente em escaladas no Brasil. O esforço realizado em todas as partes do sistema será estudado, e algumas medidas da capacidade de suportar forças serão realizadas em partes individualmente a fim de se avaliar a margem de confiabilidade destas.

O sistema é tão seguro quanto a sua parte mais fraca, e por este motivo, não adianta usar equipamentos de segurança super resistentes e homologados por entidades e padrões internacionais, quando as proteções fixas geralmente utilizadas no Brasil são os grampos, artefatos de fabricação caseira sobre os quais não existe nenhum controle de qualidade.

O grampo é a versão brasileira das proteções fixas utilizadas no resto do mundo, tais como as chapeletas, apresentando vantagens e desvantagens em relação a esta. Nota: os autores preferiram utilizar o termo popular "chapeleta" na ausência de uma tradução técnica em português para um tipo de proteção fixa utilizada no exterior.

É sempre bom lembrar que a vida de pessoas depende diretamente do sistema de segurança, e portanto este assunto deve ser tratado com bastante seriedade.

## Dinâmica de uma escalada

Antes de entrar na parte teórica, os conceitos básicos de uma escalada serão apresentados.

Numa escalada normal, considera-se que existem dois tipos de escaladores. São eles o guia e o participante e cada um está preso a uma das pontas da corda. O guia é o escalador que vai na frente, colocando as proteções, enquanto o participante lhe dá segurança, liberando corda pouco a pouco através de algum aparelho gerador de atrito.

As proteções são classificadas como fixas ou móveis. Proteções fixas são aquelas que ficam permanentemente na rocha, tais como grampos e chapeletas. Tudo que o guia tem que fazer é prender a corda a essas proteções através de mosquetões e fitas (costuras). Proteções móveis são aquelas que o guia leva com ele devendo prendê-las à rocha aproveitando características naturais desta, tais como fendas e bicos de pedra. A corda fica livre para correr através das proteções para que o guia possa continuar escalando.

Na hipótese de uma queda de guia, este cai até que a corda estique, desde que o participante tenha travado a corda em seu aparelho de segurança. Numa queda perfeitamente vertical, o guia cairá o dobro da distância à última proteção que ele colocou, mais a elasticidade da corda.

Já na queda de participante, como a corda estará praticamente esticada, este só cairá a distância correspondente à elasticidade da corda. Neste tipo de queda, o esforço sobre todo o sistema de segurança é muito menor que numa queda de guia. Por este motivo, a queda de guia é que será analisada para se especificar os parâmetros de segurança do sistema.

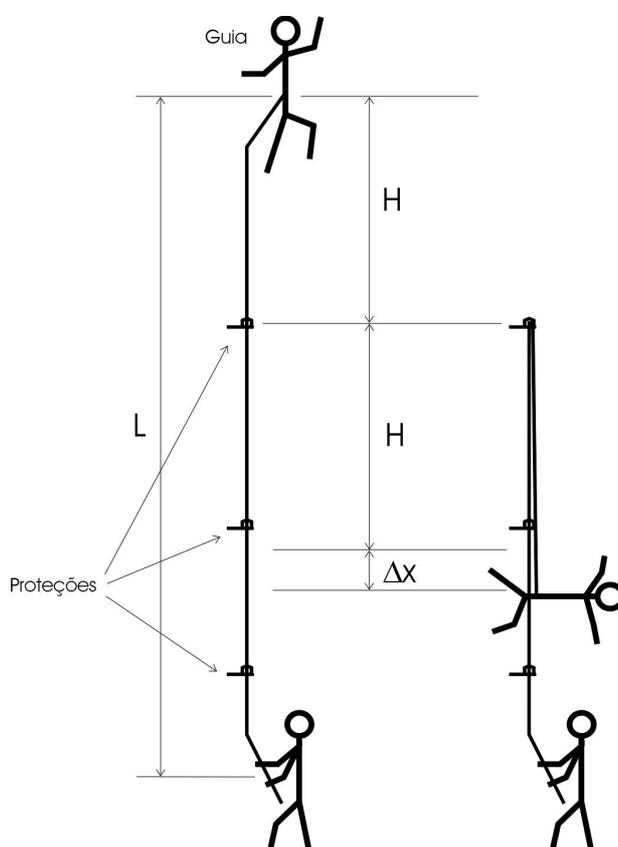
## Modelo teórico para uma queda

Para avaliarmos teoricamente uma queda de guia, vamos adotar as seguintes hipóteses:

1 – A queda é perfeitamente vertical, ou seja, o guia está exatamente sobre a última proteção que ele colocou.

2 – O guia cai sem bater na pedra, de modo que toda a energia gerada será dissipada apenas no sistema de segurança.

Seja então  $L$  o comprimento total de corda que vai desde o aparelho gerador de atrito do participante até o nó de encordamento no baudrier do guia, e seja  $H$  a distância do nó de encordamento do guia até a última proteção colocada na rocha.



A corda será modelada como uma mola, cujas características dependem do seu comprimento. Em geral, uma mola apresenta um comportamento tal que a força que ela exerce é diretamente proporcional ao deslocamento de seu ponto de equilíbrio. Isto pode ser descrito matematicamente pela equação  $F = -c \cdot \Delta x$ , onde  $F$  é a força que a mola exerce,  $c$  é a constante de proporcionalidade e  $\Delta x$  é o deslocamento. O símbolo  $\Delta$  é usado geralmente quando queremos expressar uma variação de uma grandeza. Observe que o sinal negativo significa que a força tem sempre direção oposta ao deslocamento. O valor de  $c$  nos dá a idéia da “dureza” de

uma mola em relação a outra. No caso de uma corda, este valor depende do comprimento de corda que está sendo usado como mola. Podemos observar na prática que quando exercemos uma determinada força sobre a corda (por exemplo, o peso de um participante), o deslocamento obtido é maior quando o comprimento de corda é maior. Pode-se mostrar matematicamente que a relação que exprime o valor de  $c$  numa tal corda é  $c = K / L$ , onde  $K$  é uma constante que depende apenas da corda utilizada (marca, modelo, etc.).

Em física, a palavra energia tem um sentido bem definido, diferentemente do sentido esotérico usualmente atribuído a esta palavra, e usaremos o princípio da conservação da energia no sentido físico para realizarmos as contas.

A energia pode ser dividida em dois tipos: potencial e cinética. A energia cinética é aquela relacionada com a velocidade de um corpo. A energia potencial é a quantidade de energia que um corpo tem que pode ser transformada em energia cinética ou em calor. No nosso caso, temos dois tipos de energia potencial. A energia potencial gravitacional, que decorre do fato de o escalador estar a uma certa altura da base da escalada. Na base considera-se que a energia potencial gravitacional é zero (do chão não passa). O segundo tipo de energia potencial é a elástica, que é aquela que é armazenada na corda quando a esticamos.

Durante a queda, a energia potencial gravitacional vai sendo transformada progressivamente em energia cinética, até que a corda começa a esticar. A energia cinética adquirida vai sendo então armazenada na corda como energia potencial elástica, até que o corpo em queda pare. Neste momento, toda a energia potencial original estará armazenada na corda e como o alongamento da corda é máximo, a força que ela exercerá sobre o corpo do guia também será máxima. A esta força máxima, damos o nome de Força de Queda. O nome Força de Choque também é usado para representar um valor freqüentemente encontrado nos manuais das cordas, medido no caso de uma queda UIAA, seguindo um certo conjunto de especificações, tais como peso do guia, distância à proteção, etc.

A energia potencial gravitacional pode ser expressa matematicamente por  $E_{pg} = m.g.h$ , onde  $m$  é a massa do corpo,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $h$  é a altura que o corpo se encontra do chão. No caso da queda do guia, teremos uma variação na energia potencial expressa por:

$$\Delta E_{PG} = E_{PG\_inicial} - E_{PG\_final}$$

Sendo  $h_{inicial} = h_0 + H$  e  $h_{final} = h_0 - H + \Delta x$ , onde  $h_0$  é a altura da última proteção. Lembre-se que no nosso sistema de referência  $\Delta x$  é um valor negativo.

$$\begin{aligned} \Delta E_{PG} &= m.g.\Delta h = m.g.[(h_0 - H + \Delta x) - (h_0 + H)] = \\ &= -m.g.(2H - \Delta x) \end{aligned}$$

Note que  $(2H - \Delta x)$  é a variação de altura do guia na queda. Para simplificar os cálculos, vamos considerar a variação de altura apenas como

2H, supondo que o deslocamento  $\Delta x$  devido a elasticidade da corda é bem menor que a distância que o guia caiu.

A variação de energia potencial elástica por sua vez é expressa como:

$$\Delta E_{PE} = \frac{c.\Delta x^2}{2} = \frac{c.\Delta x^2}{2L}$$

Se o guia cair até a corda esticar e não se espatifar na base, podemos escrever a seguinte equação de conservação de energia, já simplificada:

$$\Delta E_{PG} + \Delta E_{PE} = 0$$

$$-\Delta E_{PG} = \Delta E_{PE}$$

$$m.g.2H = \frac{K.\Delta x^2}{2L}$$

$$\frac{4m.g.H.L}{K} = \Delta x^2$$

$$\Delta x = \pm \sqrt{\frac{4m.g.H.L}{K}}$$

Uma das raízes será positiva e a outra negativa. Vamos escolher a raiz negativa pois no nosso sistema de referência  $\Delta x$  é negativo.

Como sabemos calcular a força a partir do deslocamento da corda a partir de  $F = -K.\Delta x / L$ , temos que:

$$F = \sqrt{2K.(mg).\left(\frac{2H}{L}\right)}$$

Podemos simplificar esta equação escrevendo  $P = mg$ , que é o peso do escalador. Fazendo  $Q = 2H/L$  obtemos um valor conhecido como Fator de Queda, que é muito importante para a análise da força máxima da queda.

$$F = \sqrt{2K.P.Q}$$

O que nos permite fazer algumas considerações importantes:

1 – A força máxima da queda depende da corda (marca, modelo, tempo de uso e etc). Duas cordas diferentes podem exercer forças diferentes para quedas exatamente iguais.

2 – Esta força é proporcional a raiz quadrada do peso do guia. Quanto mais pesado é o guia, maior é a força exercida pela corda.

3 – A força máxima não depende diretamente da distância que o guia cai, mas sim de uma relação entre esta distância e o comprimento disponível de corda. Ou seja, cair 1 metro de altura com 2 metros de corda até o participante é o mesmo que cair 10 metros com 20 metros de corda, pois em ambos os casos  $Q = 0,5$ .

4 – O maior valor que a grandeza  $Q$  pode atingir numa escalada do tipo descrito aqui é 2, que corresponde a uma queda em que o guia não colocou nenhuma proteção entre ele e o participante (saída de uma parada).

5 – Ao contrário do que as pessoas normalmente pensam, o fator de queda 2 não implica em uma força duas vezes maior que um fator de queda 1. A força é proporcional à raiz quadrada do fator de queda, o que quer dizer que uma queda de fator 2 produz uma força aproximadamente 41% maior que uma queda de fator 1 (a raiz quadrada de 2 é cerca de 1,41). Ainda nesta mesma linha de raciocínio, uma queda de fator 0,5 não produz metade da força, e sim uma força cerca de 30% menor que uma queda de fator 1.

A equação apresentada acima é um modelo aproximado para a queda do guia, pois não levou em consideração, entre outras coisas, a variação de energia potencial do deslocamento da “mola”. Mesmo com estas restrições as equações acima pode ser utilizada para nos dar uma boa idéia quantitativa da força de queda num pior caso.

Pode-se melhorar a aproximação do modelo resolvendo o problema sem desprezar o termo  $\Delta x$  como foi feito anteriormente:

$$-\Delta E_{PG} = \Delta E_{PE}$$

$$m.g.2H - m.g.\Delta x = \frac{K.\Delta x^2}{2L}, \text{ com } P = m.g, \text{ temos:}$$

$$\frac{K.\Delta x^2}{2L} + P.\Delta x - 2P.H = 0, \text{ resolvendo para } \Delta x:$$

$$\Delta x = \frac{-P \pm \sqrt{P^2 + 2K.P.\left(\frac{2H}{L}\right)}}{K/L}$$

Fazendo  $Q = \frac{2H}{L}$  e colocando  $P$  em evidência,

$$\Delta x = P \left[ \frac{-1 \pm \sqrt{1 + \frac{2K.Q}{P}}}{K/L} \right]$$

Como o termo dentro da raiz quadrada é sempre maior do que 1, a raiz quadrada também será maior do que 1, o que implica que uma das raízes

será positiva e a outra negativa. Vamos escolher a raiz negativa como foi feito anteriormente.

$$\Delta x = P \left[ \frac{-1 - \sqrt{1 + \frac{2K \cdot Q}{P}}}{K/L} \right]$$

como  $F = -\frac{K}{L} \Delta x$ , temos:

$$F = P \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2K \cdot Q}{P}} \right]$$

Dependendo do fator de queda e do peso do escalador, na prática o termo  $2 \cdot K \cdot Q / P$  situa-se entre 10 e 100 e deste modo, podemos aproximar a expressão acima para:

$$F = P \left[ 1 + \sqrt{\frac{2K \cdot Q}{P}} \right]$$

$$F = P + \sqrt{2K \cdot P \cdot Q}$$

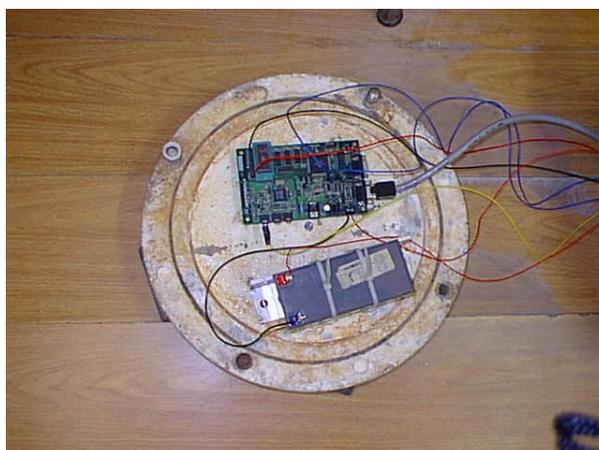
Este é o mesmo resultado obtido anteriormente a menos do peso do escalador. Note que a ultima aproximação é melhor para fatores de queda altos.

O modelo poderia ser mais completo ainda se considerasse que a corda é uma mola amortecida, isto é, que uma parte da energia é dissipada em forma de calor.

## Análise de uma queda real

A fim de se obter dados experimentais, foi idealizada uma experiência na qual fosse possível medir a força exercida pela corda no corpo de um escalador durante uma queda. Com isto, seria possível validar o modelo anterior, através da comparação dos dados fornecidos pelo fabricante da corda. Esta experiência permite também que se obtenha informação sobre a evolução no tempo da força sobre o guia, informação esta não encontrada em nenhuma literatura consultada.

Foi utilizado um vaso de aço em forma de tubo, e em seu interior foi colocado um sensor de aceleração. Um sistema de aquisição de dados foi desenvolvido para que as medidas deste sensor de aceleração fossem guardadas numa memória na forma digital e posteriormente recuperadas e analisadas num computador. O sistema foi alimentado por uma bateria de moto, que também participou da queda. O peso do corpo de queda era de 54 kg (ou 1.0 MF, unidade padrão de peso de guia).



Eletrônica desenvolvida para aquisição de dados



Preparação do teste, vaso preso às cordas 1 e 2

O teste foi realizado no campo escola da reserva florestal do Grajaú (Rio de Janeiro, RJ), num negativo, com finalidade dupla de não danificar a rocha com o impacto do corpo de queda e também porque era uma das hipóteses do modelo que o corpo não se chocaria com a pedra. Um sistema composto de uma corda (corda 1), uma roldana e um aparelho blocante

(jumar) foi utilizado para suspender o corpo até uma altura aproximada de 9 metros. Uma segunda corda (corda 2, praticamente nova) foi utilizada para receber o impacto da queda. O corpo foi suspenso até um pouco acima da metade da distância de queda com segurança de cima dada na corda 2. A partir deste ponto a corda 2 foi fixada de modo que o corpo em queda não atingisse mais a base. O corpo estava preso à corda 1 através de um pequeno elo de alma de uma corda antiga, que seria rapidamente cortado com uma lâmina, ocasionando a queda.



Vaso sendo erguido à posição inicial de queda



Preparação para o lançamento do vaso.  
A corda à direita (com folga) receberá o impacto.

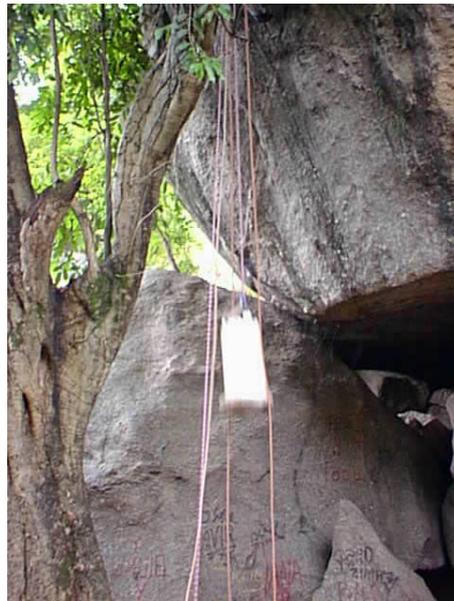
A idéia era continuar a suspender o corpo até o ponto de ancoragem da corda 2, onde o cordelete de alma seria cortado, obtendo deste modo uma queda de fator 1. Porém, na montagem experimental isto não foi possível,

ficando o corpo de prova ligeiramente abaixo do ponto de ancoragem. Os valores utilizados na experiência foram:

$$L = 3,5\text{m}$$

$$\Delta H = 3\text{m}$$

$$Q = 0.86$$



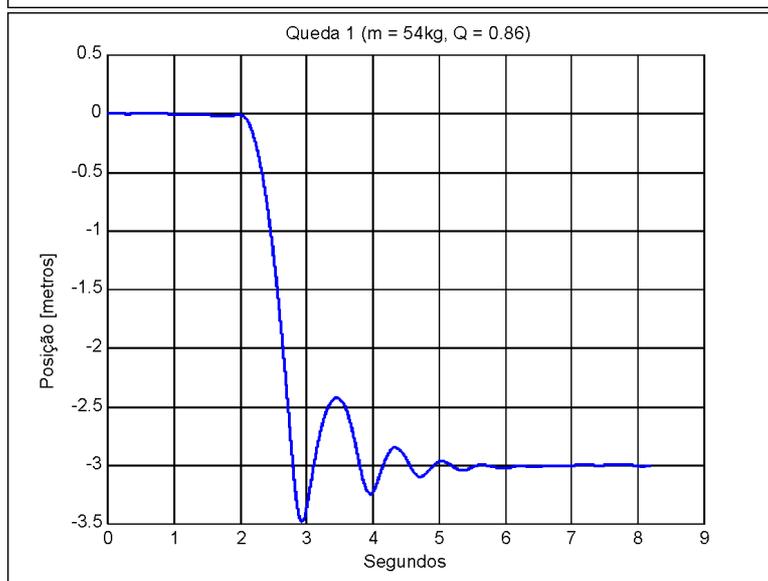
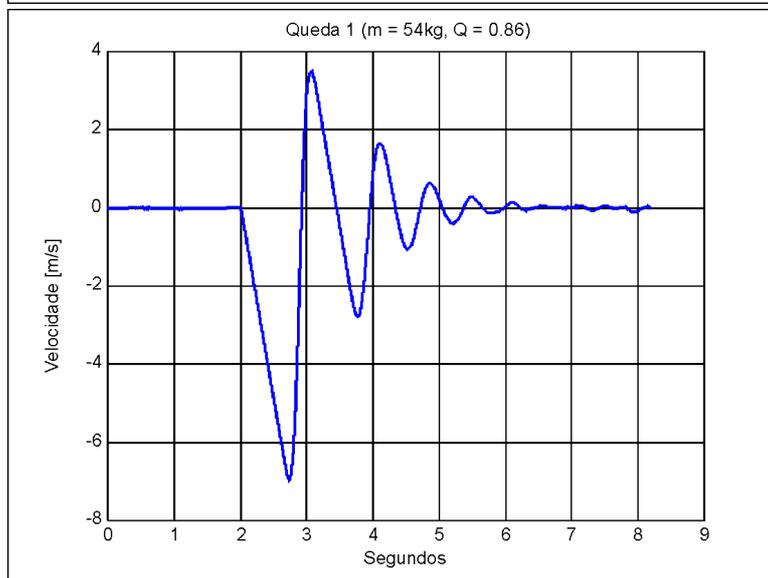
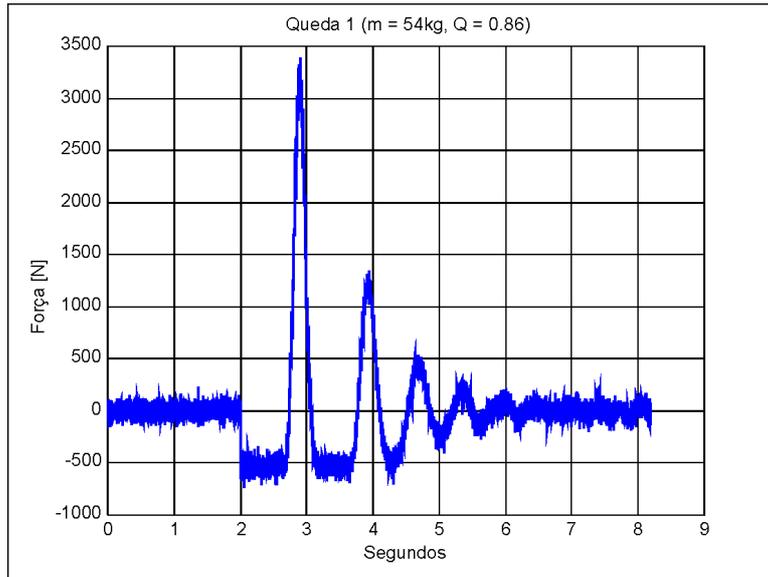
Corpo em queda livre



Computador recebendo os dados da queda

O valor obtido para a força de choque nesta queda foi calculado a partir da medida da aceleração e do valor da massa do corpo. A força de queda obtida foi de 350 kgf.

Alguns gráficos foram gerados no computador a partir dos dados obtidos de aceleração. Deste modo é possível caracterizar melhor a queda, mostrando também a duração da força, a velocidade do corpo e o seu deslocamento no espaço ao longo do tempo.



A fim de calcular qual seria a força gerada no pior caso, isto é, numa queda de um escalador de 80 kg em fator 2, serão utilizadas as formulas desenvolvidas anteriormente. Será calculado o valor da constante K desta corda, e com isto o valor da força de uma queda UIAA poderá ser calculado. Este valor deve ser parecido com o valor encontrado no manual da corda. Obteve-se então:

$$F = P + \sqrt{2K.P.Q}$$

$$K = \frac{(F - P)^2}{2QP}, \text{ substituindo os valores :}$$

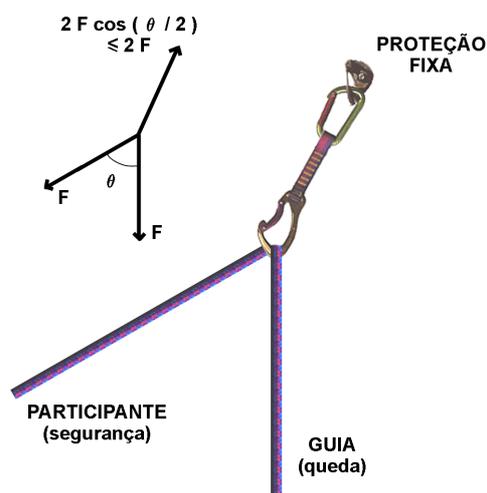
$$K = 943 \text{ kgF}$$

Utilizando novamente a equação, só que agora com  $Q = 2$  e  $P = 80$  kgf, obteve-se  $F = 630$  kgf. Este valor é bem abaixo do valor que era esperado para esta corda, pois no manual foi encontrado 800 kgf para a força de choque.

## Análise do sistema de segurança

Como já se tem noção da mecânica de uma queda de guia e da grandeza da força exercida no escalador durante uma tal queda, será feita uma análise do esforço no resto do sistema.

O ponto crítico do sistema de segurança é o último ponto de proteção colocado pelo guia. Neste ponto, na pior das hipóteses, esta força será o dobro da força sentida no corpo do escalador.



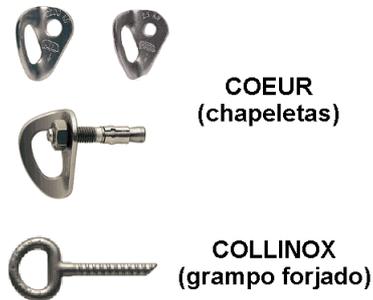
Deste modo, o sistema de segurança deve ser capaz de suportar com uma certa folga as forças desenvolvidas neste ponto. Isto engloba a proteção, seja esta móvel ou fixa, e os mosquetões e fitas colocados entre a proteção e a corda.

Ainda seguindo o raciocínio da pior queda, dentro do padrão UIAA para cordas dinâmicas, a maior força permitida no corpo do escalador é de 1200 kgf, o que resultaria numa força de 2400 kgf no último ponto de proteção. A maioria dos mosquetões e fitas utilizados hoje em dia no Brasil, são importados e obedecem às normas da UIAA. Atualmente, nenhuma corda de escalada fabricada ultrapassa os 1000 kgf, o que quer dizer que a força na última proteção não chega a 2000 kgf. Existem fitas e mosquetões com especificação de 2200 kgf que são adequados para escalada.

Quanto às proteções fixas, a recomendação da UIAA é de 2500 kgf, o que dá uma margem de segurança. Já os equipamentos móveis, dificilmente ultrapassam o valor de 1400 kgf ficando na média em torno dos 1000 kgf, e portanto, sua colocação é bem mais crítica do que no caso das proteções fixas. Colocar móveis é uma arte que se aprende com muita prática e envolve por exemplo saber como equalizar paradas e proteções a fim de que as forças sobre os componentes individuais jamais ultrapassem seu limite de funcionamento. Uma equalização mal feita, pode ter como conseqüência a geração de forças superiores ao dobro da força de queda, o que é extremamente perigoso. Numa parada em móvel, existem no mínimo 4 peças, três dando segurança para a força resultante da queda do guia e uma para que o participante dando segurança não seja puxado para cima.

Os tipos de proteção fixas podem ser divididas genericamente em dois tipos: os grampos e as chapeletas. Os grampos são construídos a partir de um vergalhão de aço que será preso à rocha, possuindo um olhal também de

aço, onde se colocam os mosquetões, podendo ainda ser usados para passar diretamente a corda a fim de efetuar a descida (rapel). As chapeletas são lâminas de aço que são presas à rocha normalmente por um pino com rosca ou peça de expansão.



\* Copyright PETZL 1998

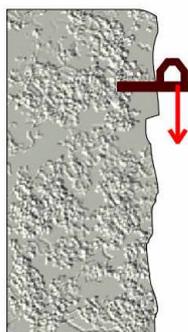
Os grampos podem ser ainda do tipo forjados (ex. Collinox e Bat'inox da Petzl que são constituídos de uma peça única) ou do tipo olhal soldado, mais comum no Brasil, e que será o objeto principal deste estudo. Os grampos soldados são tradicionalmente usados no Brasil há muitos anos, e seu surgimento remonta ao início da escalada em nosso país, quando não havia acesso fácil a equipamentos importados.

As chapeletas são uma concepção mais moderna de proteção fixa. Sua construção é extremamente simples, e são fabricadas no exterior com controle de qualidade que garante sua resistência. A principal desvantagem da chapeleta é que para descer, o escalador é obrigado a abandonar material, fitas ou mosquetões, pois a lâmina de aço destas não é adequada para se passar diretamente uma corda, havendo risco de rompimento.

## Testes e resultados

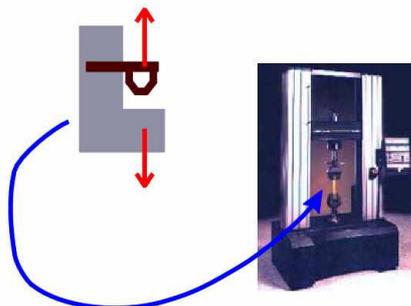
Para realizar os ensaios de resistência dos grampos de ½ polegada foi criada uma peça de aço adaptável ao equipamento do laboratório de mecânica da PUC. O objetivo da peça é de simular a colocação do grampo na rocha, exercendo uma força na direção em que ela ocorreria na prática.

Situação real:  
O grampo recebe uma força para baixo devido à queda do guia.



Rocha

Ensaio dos grampos:  
O grampo é preso na peça de aço que simula a colocação em rocha e a direção da força.



Equipamento da marca *Instron* utilizado nos teste de resistência.



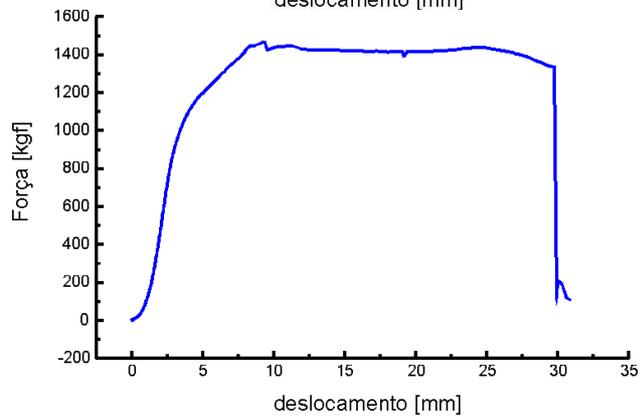
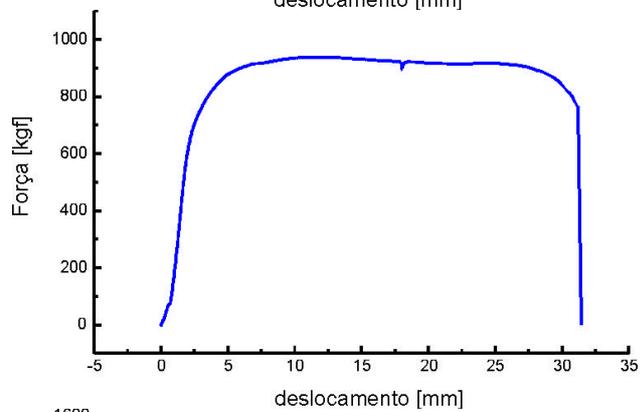
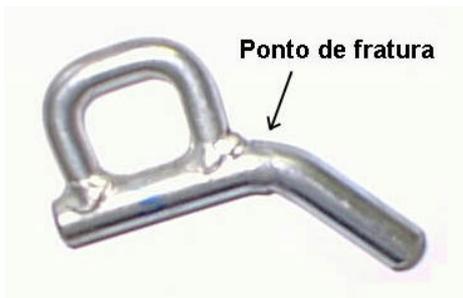
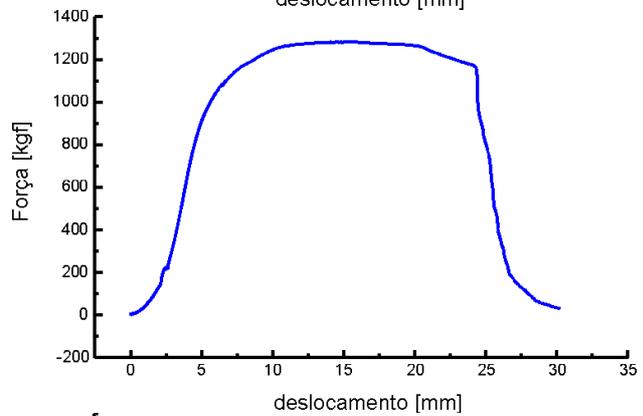
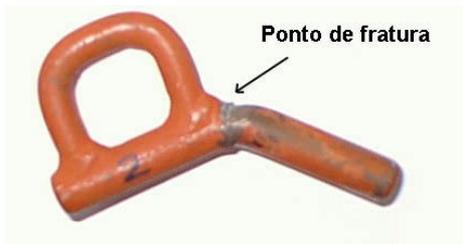
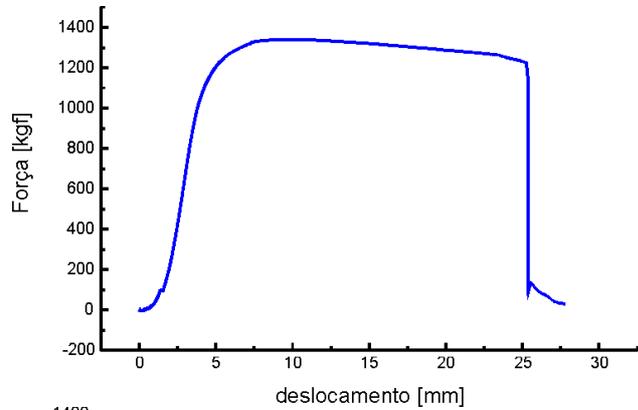
A peça de aço criada permitiu que fossem feitos dois tipos de teste. No primeiro o grampo é exigido como ocorre na prática: a força é feita transversalmente ao eixo principal do grampo, na direção oposta ao olhal. No segundo teste, a força é feita no próprio olhal do grampo, o que seria equivalente ao grampo colocado na rocha com o olhal para baixo.

Não foi realizada nenhuma estatística séria com os dados obtidos como seria feito na certificação de um equipamento. Neste caso haveria uma amostragem muito maior de grampos do mesmo tipo para que fossem feitas estatísticas mostrando valores médios e os desvios desta média. Um dos motivos devido ao qual não foi feita uma amostragem maior foi a dificuldade em obter maior quantidade de alguns tipos de grampos.

Os gráficos mostrados a seguir devem ser analisados cuidadosamente levando-se em consideração que eles não representam a curva média de um determinado tipo de grampo.

Outro ponto importantíssimo é que não foi realizado nenhum teste a cerca da fixação do grampo à rocha. Quando nos referimos a carga que um

grampo suportou na máquina de testes, não existe nenhuma garantia de que a rocha teria suportado a mesma carga e que o grampo não sairia desta. A análise da fixação das proteções fixas aos diferentes tipos de rocha seria tópico de um outro estudo ainda mais complexo.



Esta primeira série é composta de quatro grampos do mesmo fabricante. As amostras são idênticas a menos da proteção contra corrosão utilizada no 3º grampo. São grampos de ½ polegada de diâmetro com olhal de 3/8 de polegada.

Todos eles foram testados como são colocados na rocha, ou seja, a força foi aplicada na barra principal do grampo na direção oposta ao olhal. Daqui em diante esta será considerada a posição "normal" de teste, pois representa o modo como o grampo é normalmente fixado na via de escalada. Observações serão feitas sempre que for feito um teste diferente (força aplicada no olhal).

Ao contrário do que pode parecer através das fotos, todos os 4 grampos quebraram. Os três primeiros parecem estar apenas entortados mas estão de fato partidos nos pontos indicados. Aqueles que tiverem a oportunidade de ver os exemplares testados notarão que os dois pedaços permaneceram unidos de forma muito precária e que provavelmente não agüentariam nem mesmo o peso de um escalador.

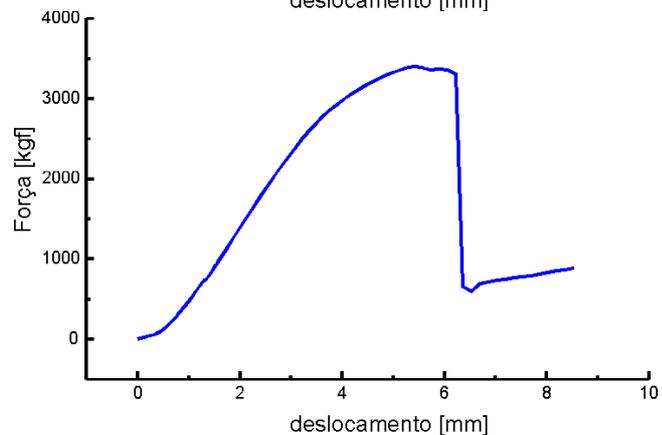
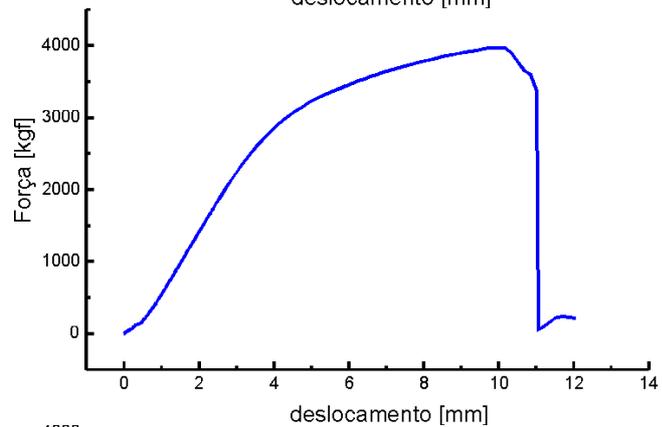
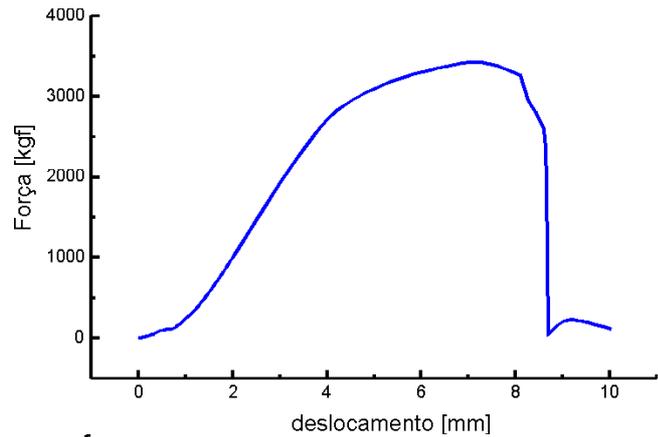
Em média este tipo de grampo suportou uma carga máxima de 1250kgf. Pode-se ver no gráfico que após 2,5 a 3,0 cm de deslocamento existe uma queda brusca na força, que representa o ponto em que o material se parte.

Outra observação interessante destes gráficos é que eles sempre possuem no seu início uma região que é aproximadamente uma linha reta. Nesta região, dizemos que o grampo está no "regime elástico", apresentando características de uma mola linear. Enquanto estiver dentro do limite elástico, a deformação sofrida com a aplicação da força desaparece quando esta é anulada. Isto quer dizer que o grampo retorna a sua posição inicial sempre que retiramos a força aplicada. Tudo que ocorrer após esta região resultará em uma deformação permanente do material, ou seja, o grampo fica amassado.

Suponha que um destes grampos sofresse uma queda com uma força de 600kgf. Após a queda o grampo voltaria a sua posição original. Uma queda mais "forte" poderia levar o material a sair do regime elástico, entortando-o de forma permanente ou provocando a sua ruptura.

Nesta configuração, a força aplicada na barra do grampo provoca um efeito de alavanca, submetendo o ponto de encontro com a rocha a um torque muito elevado. Para lembrar a definição da física, o torque (ou momento) é expresso pela força (perpendicular) aplicada na alavanca vezes a distância entre o ponto de aplicação e o eixo de rotação. Quanto mais distante do eixo, maior o torque.

Os materiais possuem uma capacidade limitada de suportar torque, mais especificamente chamado de momento fletor. Como a força acaba sendo aplicada à vários centímetros de distância do eixo o grampo é submetido à um grande momento fletor. O resultado disso não poderia ser outro: deformação e, dependendo do material, ruptura. Caso o grampo não seja colocado com o olhal bem próximo à rocha a sua resistência será ainda menor.



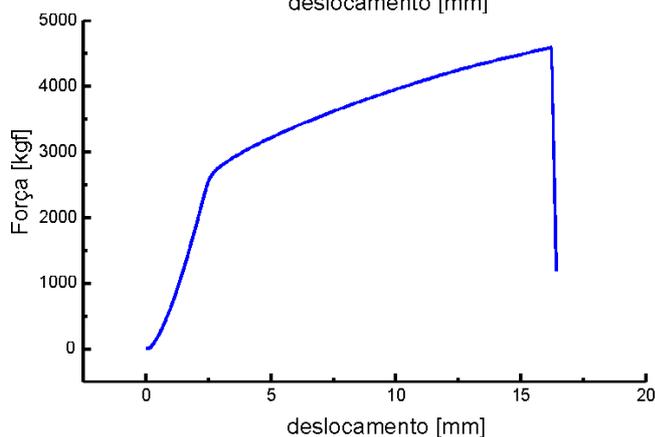
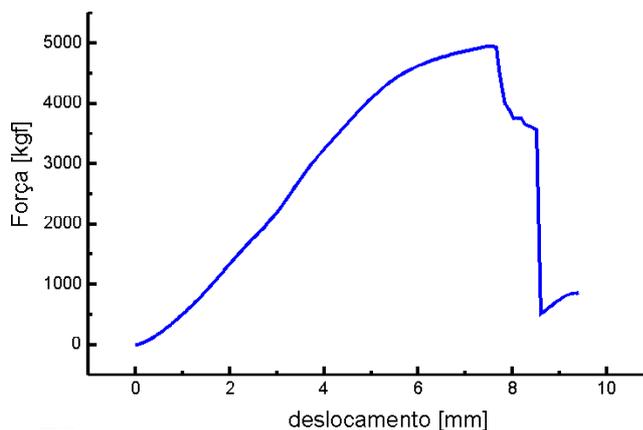
Estas amostras são do mesmo tipo de grampo analisado anteriormente, com a diferença de que agora foram testadas com carregamento no olhal.

Como era esperado houve uma ruptura no ponto de soldagem. O que a princípio parece espantoso é que os mesmos grampos que suportaram apenas 1250kgf no teste anterior agora só se partiram com 3500kgf.

Os grampos colocados normalmente nas vias de escalada estão sujeitos à um enorme momento fletor no material mas com o olhal para baixo isto não ocorre. Com a aplicação da força o olhal encosta na parede (no caso na peça de testes) e evita a tendência do grampo de "rodar" criando o efeito de alavanca. A força então acaba sendo aplicada nos dois pontos de solda simultaneamente.

Apesar da indiscutível resistência do grampo nesta configuração, após a sua ruptura pode-se inferir a baixa qualidade da solda. É possível ver

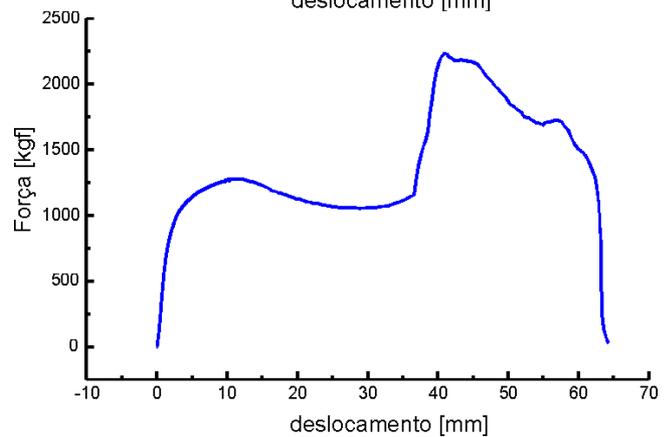
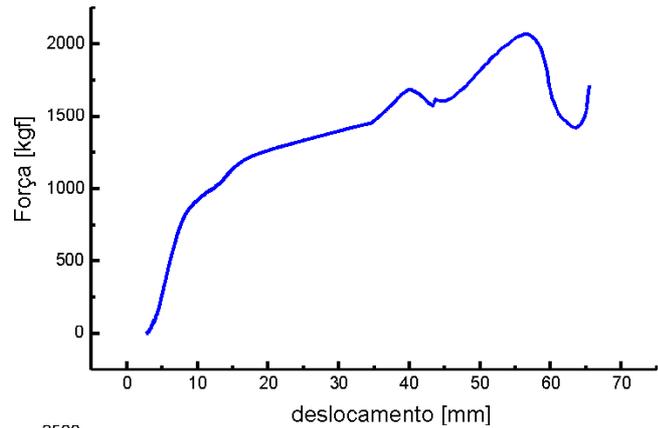
claramente as superfícies internas das peças soldadas. A solda possui baixa penetração entre as peças e deste modo fica em contato com uma área muito limitada. Ou seja, caso fosse melhor soldado este grampo poderia suportar cargas ainda maiores tendo talvez uma maior durabilidade. Não foi feito nenhum estudo sobre o aspecto da durabilidade dos grampos, mas devido ao fato da oxidação normalmente ocorrer primeiro na parte mais externa do material é possível intuir que uma solda de melhor qualidade aumentaria sua vida útil.



Neste ensaio foi testada apenas a resistência do olhal, tendo sido este preso à máquina de tração sem a utilização da peça de aço. Estes grampos foram inteiramente construídos com barras de  $\frac{1}{2}$ ", tanto em seu eixo principal quanto no olhal. Como pode ser visto acima, nesta configuração, os grampos suportaram cargas maiores do que 4500kgf.

Como era esperado o ponto de ruptura foi exatamente na solda. Apesar da elevada carga a qual estas soldas resistiram, são válidas as mesmas observações feitas anteriormente (baixa penetração). No interior da solda foram encontrados pontos avançados de oxidação das peças de aço.

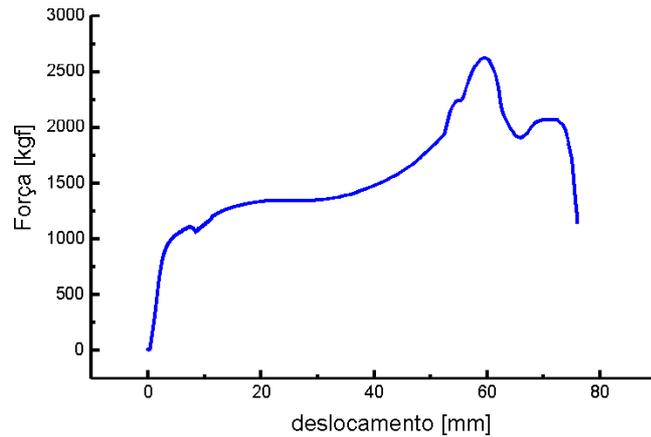
Infelizmente não foi possível realizar o teste normal com esse tipo de grampo devido a falta de exemplares. Seria um teste muito interessante pois embora estes grampos tenham uma aparência mais robusta com seu olhal de  $\frac{1}{2}$ ", o ponto de aplicação da força será mais longe da rocha e, conseqüentemente, o momento fletor será maior.



Estes grampos são construídos com uma barra principal de  $\frac{1}{2}$ " e olhal de  $\frac{3}{8}$ ". A principal diferença destes grampos para os que foram apresentados anteriormente é que eles foram feitos com aço inoxidável. Por isso, seu custo é cerca de duas vezes maior que os outros.

Observa-se que, assim como os demais grampos testados, estes saem do regime elástico com cargas superiores a 1000kgf. Deve ser ressaltado que o eixo se deformou cerca de 90 graus sem que ocorresse a fratura do material. Quando o mesmo dobrou e encostou na peça de testes (que na situação real seria a própria rocha) a deformação pelo momento fletor chegou ao seu limite. Nesta configuração o grampo ficou muito resistente (como seria no caso do olhal virado para baixo), suportando cargas acima de 2000kgf.

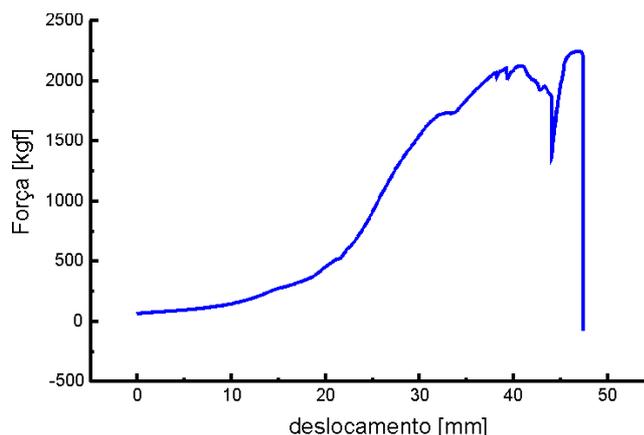
Os gráficos e figuras confirmam que não foi possível chegar a um ponto em que o grampo se rompesse. Antes disso o mesmo começou a sair da peça de testes reduzindo assim a carga aplicada. Este fato deve ser encarado cuidadosamente: pode ser um indício de que o ponto frágil deste grampo reside na sua fixação e não na peça em si.



O último grampo testado possui o menor olhal dentre os que foram aqui analisados, sendo construído com aço de  $\frac{1}{4}$  de polegada. O eixo principal possui  $\frac{1}{2}$ " de diâmetro.

Com o olhal menor que os outros este grampo possui um ponto de aplicação de força mais próximo da parede, característica esta que produz um torque menor e possibilita suportar maiores cargas (dependendo do material utilizado). Como pode ser visto através do gráfico o grampo suportou até 1300kgf antes de se deformar totalmente.

Após entortar 90 graus e encostar na peça de testes o grampo encontrou sua configuração de maior resistência, suportando então 2600kgf. Deste ponto em diante o grampo começou a sair lentamente da peça de testes. Os comentários feitos para o caso anterior sobre a fixação também são válidos para este grampo.



O único teste realizado com uma chapeleta não teve êxito completo mas merece ser comentado. Em sua utilização normal a chapeleta é fixada na rocha através de um mecanismo de expansão que não é adequado para a peça de testes de grampos. Deste modo foi utilizado um parafuso normal de 3/8" (que é o diâmetro do furo da chapeleta) preso na peça com uma porca.

O sistema suportou aproximadamente 2200kgf. Depois desta carga o parafuso se rompeu (teve sua "cabeça degolada", como pode ser visto acima). Não é possível tirar muitas conclusões a respeito deste teste, uma vez que o parafuso não era adequado ao teste da chapeleta e não resistiu a um esforço cisalhante alto (força cortante). A chapeleta ficou apenas um pouco entortada. Diferente dos outros testes, a curva obtida acima não pode ser tomada como curva de deformação x força apenas da chapeleta pois foi utilizado um elo de cabo de aço para realizar o ensaio. O vale agudo próximo ao final do gráfico foi causado pelo deslizamento da presilha do cabo de aço.

O projeto da chapeleta apresenta vantagens estruturais notáveis em relação aos grampos. Enquanto os grampos estão sujeitos a esforços de "alavanca" ou momento fletor as chapeletas suportam quase que somente uma força cisalhante ou cortante. Este fato aparentemente simples resulta em uma resistência muito maior para uma barra de mesmo diâmetro fixada à rocha.

Se a haste de 1/2" de aço utilizada nos grampos fosse testada até a sua ruptura, somente por cisalhamento, a sua resistência seria muito alta. O valor será calculado utilizando as tabelas de aço disponíveis. Para o aço 1020 a resistência por cisalhamento é de 65 kgf/mm<sup>2</sup>. Deste modo a máxima força cortante que grampo de 1/2" de diâmetro (12,7mm) suporta pode ser calculada através da seguinte fórmula:

$$F = p \cdot r^2 \cdot E = p \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot E$$

$$F = p \cdot \left(\frac{12,7}{2}\right)^2 \cdot 65 = 8234 \text{ kgf}$$

No futuro poderia ser realizado um teste mais completo com as chapeletas, utilizando a sua própria peça de fixação à rocha. Deve-se lembrar que a empresa que fabrica as chapeletas especifica a sua resistência em 2500kgf.

## Conclusões

Os grampos produzidos e largamente utilizados no Brasil apresentam confiabilidade duvidosa quando analisados segundo os padrões internacionais e como equipamentos de segurança. Quando exigidos nas piores situações possíveis de serem encontradas em uma escalada normal, tais como corda com alta força de choque, fator de queda máximo e escalador pesado, os grampos podem ser danificados e até mesmo não resistir.

Não está sendo afirmado aqui que os grampos não suportarão quedas de guia, mesmo porque a prática tem mostrado que a situação de grampo partir não é nem um pouco comum (embora não existam números oficiais sobre o assunto). O que deve ser observado é que os grampos são equipamentos de segurança importantíssimos, aos quais muitas pessoas confiam as suas próprias vidas, e por isso teriam que suportar esforços muito acima da pior queda possível.

O que ocorre na prática é que as quedas normalmente acontecem com fatores menores do que 2 em cordas com força de choque muito menores que as especificações UIAA. A corda para ser aprovada pela UIAA deve possuir força de choque menor do que 1200kgf, resultando em um esforço máximo na proteção de até 2400kgf (a força na proteção é o dobro da força de queda). As modernas cordas de escalada apresentam forças de choque geralmente entre 670kgf e 900kgf, exigindo portanto muito menos do sistema em caso de queda. Deste modo é pouco comum encontrar grampos amassados por quedas nas vias de escalada.

Algumas vias muito freqüentadas ou com lances difíceis onde ocorrem muitas quedas possuem grampos entortados, mostrando que estes chegaram a resistir a forças da ordem de 1300kgf (valor em que a maioria dos grampos testados de ½" saíram do regime elástico). Dependendo do aço utilizado tal situação pode estar próxima ou não do ponto em que o grampo trinca, como foi visto nos testes.

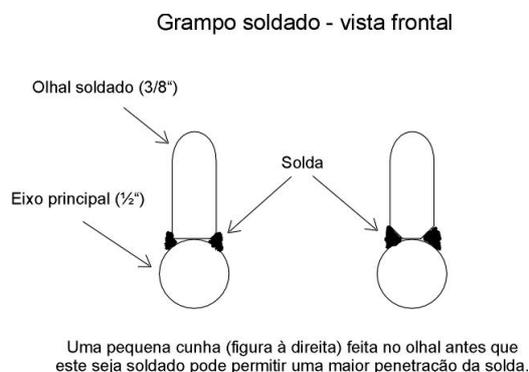
A conclusão que chegamos é que do modo que os grampos são construídos e utilizados, estes são inadequados como equipamentos de segurança.

As soldas encontradas nos grampos também foram consideradas soldas de baixa qualidade, possuindo pouca penetração. Apesar disso, todas as soldas testadas suportaram cargas maiores do que seria necessário para aprovação como material de segurança em escalada.

Deve-se ter particular atenção na colocação adequada das proteções fixas, um grampo mal batido é extremamente perigoso. Como não há mecanismo de expansão e nem é usado nenhum tipo de cola, a boa colocação do grampo depende muito da talhadeira ou broca utilizadas para fazer o furo. É comum ouvir no meio montanhista que o grampo deve entrar na rocha "cantando", o que é uma referência ao barulho que a peça emite quando o furo está bem justo. O grampo bem batido deve ficar com o olhal o mais próximo possível da rocha, para ter o menor momento fletor e a menor chance de entortar ou quebrar. Aqui também o aço utilizado parece ter papel importante. Verificou-se, por exemplo, que o grampo de aço inox testado saiu muito mais facilmente da peça de prova do que os outros.

Algumas recomendações devem ser feitas de modo a obter um grampo seguro como proteção fixa de escalada:

1 – A solda do olhal deve ser melhorada para se obter maior penetração. O ideal seria que a peça fosse forjada inteira, mas como isso não parece economicamente viável, uma boa alternativa seria "cunhar" o olhal antes para permitir à solda uma maior área de contato.



2 – O fabricante deve colocar uma marca no grampo. Isto é fundamental para manter um padrão de qualidade, principalmente porque não é possível inspecionar a qualidade da solda externamente.

3 – Tendo sido seguidas as recomendações 1 e 2, recomenda-se então que a colocação do grampo seja invertida, ou seja, que ele seja batido com o olhal para baixo. Nesta configuração a resistência do grampo é muito maior do que com o olhal para cima, tornando o grampo um equipamento seguro para prática de escalada. Não é recomendada a colocação de grampos de qualidade de solda desconhecida com o olhal para baixo, uma vez que todo o esforço será exercido nesta.

4 – Tornar a colocação do grampo na rocha mais segura, por meio de mecanismo de expansão. Atualmente o grampo é preso apenas na pressão. Uma sugestão seria estudar o efeito de um "cartilhado" na barra principal, que teoricamente poderia melhorar a fixação do grampo na rocha.

Certamente estas medidas aumentarão o custo de produção dos grampos devido a maior complexidade de usinar a peça. Atualmente os estes podem ser adquiridos por preços que variam entre R\$2,00 e R\$7,00 (inox).

Como era de se esperar, as chapeletas importadas demonstraram ser bastante seguras, estando dentro das especificações para equipamentos de escalada. As principais desvantagens destas são o custo elevado com que são encontradas por aqui e a impossibilidade de descida sem abandono de material. Além disso, por uma questão meramente cultural, as chapeletas não são de modo geral bem vistas no Brasil. Os escaladores, acostumados durante muitos anos a utilizar apenas grampos, muitas vezes imaginam que as chapeletas são menos resistentes (o que não é verdade).

## Referências

PETZL – [www.petzl.com](http://www.petzl.com)

Manual de cordas BEAL

Manual de cordas COUSIN