

## 6

### Resultados dos ensaios de arrancamento

Neste capítulo são apresentadas as curvas Carga x Deslocamento dos ensaios de arrancamento de grampos desta pesquisa. Também são destacados aspectos de comportamento e problemas ocorridos durante a realização de alguns ensaios.

O capítulo também apresenta as curvas de distribuição de carga ao longo do comprimento do grampo, obtidas pelo monitoramento dos *strain gages* das barras de aço instrumentadas.

#### 6.1.

##### Ensaio de arrancamento FV-01

O grampo FV-01, não instrumentado com *strain gages* e célula de carga, foi o primeiro a ser realizado e difere-se quanto à montagem do sistema apresentado na Figura 32. Não foi utilizada grade de reação e nem placa de aço de reação. O macaco foi apoiado sobre duas pranchas grossas de madeira. Também não foi utilizado extensômetro analógico para leituras de deslocamento na cabeça do grampo. Em substituição, as leituras foram realizadas com paquímetro, apoiado em uma referência externa (Figura 68).



Figura 68 – Sistema de montagem do ensaio de arrancamento FV-01

A curva Carga x Deslocamento do ensaio FV-01 (Figura 69), apresenta três retas bem definidas: A primeira até 47kN, a segunda até 93kN e última de 96kN, correspondente a carga máxima de ensaio. Respectivamente, os valores de rigidez são iguais a 7,4, 1,4 e 0,7MN/m.

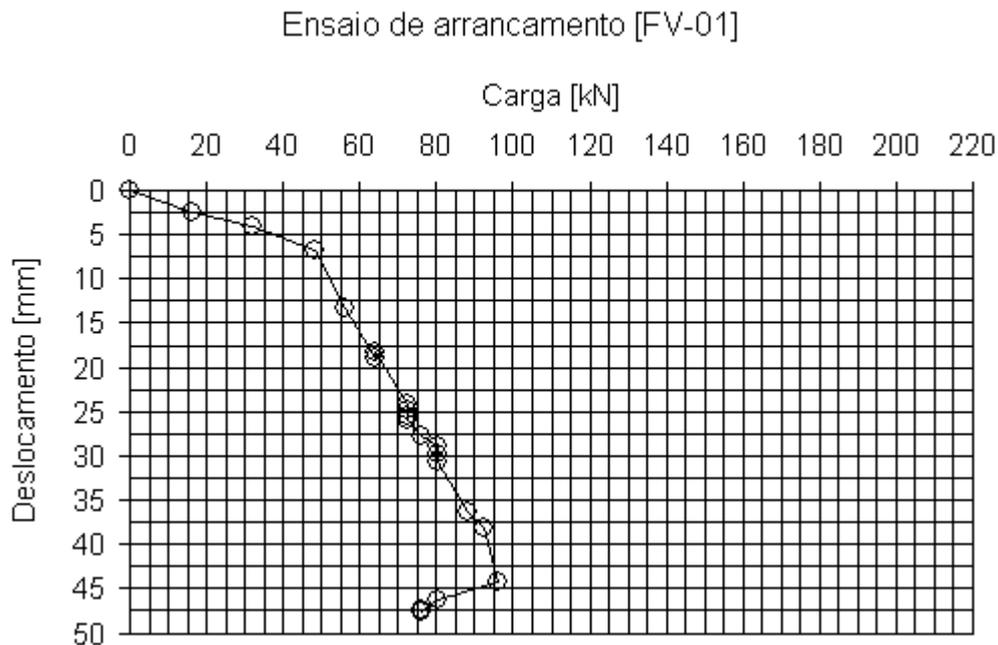


Figura 69 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento FV-01

## 6.2. Ensaio de arrancamento FV-02

O grampo FV-02, também não foi instrumentado com *strain gages* e célula de carga, e a montagem do sistema foi parecida com o do ensaio FV-01, com a utilização de duas pranchas de madeira e macaco diretamente apoiado a ela. Porém, utilizou-se extensômetro analógico para leituras de deslocamento na cabeça do grampo (Figura 70).

A curva Carga x Deslocamento do ensaio FV-02, apresenta quatro retas bem definidas (Figura 71): A primeira até 64kN, correspondente a uma fase de ajuste do sistema, a segunda até 120kN, a terceira até 152kN e a última em que a carga se mantém em 152kN, porém o grampo continua a deslocar-se com carregamento constante, definindo-se a fase de cisalhamento. O valor de rigidez do ajuste do sistema, não tem significado prático, pois cada ensaio tem seu próprio ajuste. Portanto, ignorando-se a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 9,6, 1,9MN/m e zero (deslocamento crescente com carregamento constante).



Figura 70 – Sistema de montagem dos ensaios de arrancamento FV-02

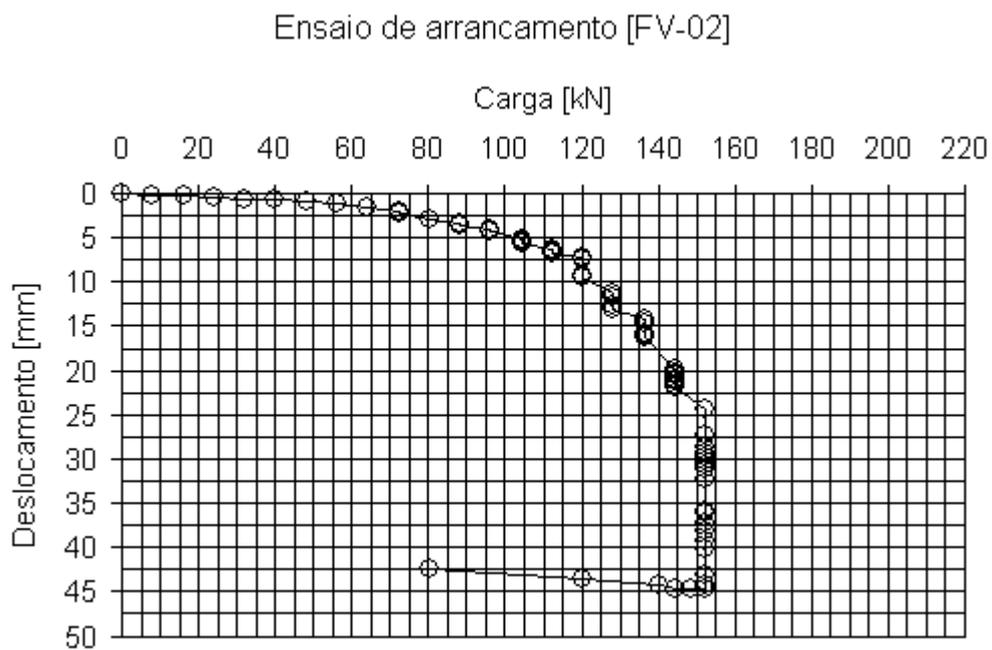


Figura 71 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento FV-02

### 6.3. Ensaio de arrancamento FV-03

A montagem do ensaio do grampo FV-03, não instrumentado é a mesma do grampo FV-02 (Figura 70).

A curva Carga x Deslocamento do ensaio FV-03 (Figura 72), também apresenta quatro retas bem definidas: A primeira até 70kN, corresponde a uma fase de ajuste do sistema, a segunda até 124kN, a terceira até 161kN e a última em que a carga se mantém em 160kN, porém o grampo continua a deslocar-se

com carregamento constante, definindo-se a fase de cisalhamento. Os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 8,2, 3,2MN/m e zero (deslocamento crescente com carregamento constante).

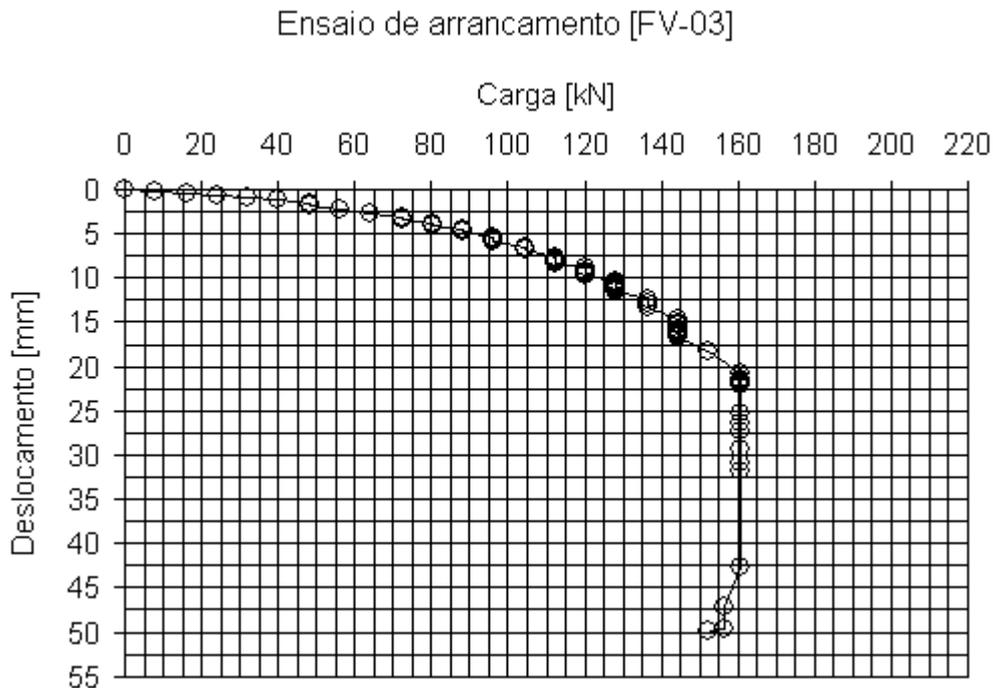


Figura 72 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento FV-03

#### 6.4. Ensaio de arrancamento M1-01

A partir do ensaio M1-01, os ensaios de arrancamento foram montados conforme a Figura 32, ou seja, com placa de reação de aço, grade de reação e extensômetro apoiado em suporte externo. Além disso, as leituras de carga na cabeça do grampo foram realizadas com célula de carga e sistema de aquisição de dados.

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M1-01 (Figura 73), apresenta quatro retas bem definidas: A primeira até 41kN, correspondente a uma fase de ajuste do sistema, a segunda até 85kN, a terceira até 142kN e a última em que a carga se mantém constante com deslocamentos crescentes, definindo-se a fase de cisalhamento. Ignorada a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 11,2, 4,4MN/m e zero (deslocamento crescente com carregamento constante).

O ensaio M1-01 apresenta um padrão bem definido de comportamento (3 etapas, ou 4 etapas, ao se incluir o ajuste do sistema) e com deslocamento

máximo da ordem de 0,50m. Este resultado é semelhante ao dos ensaios FV-01, FV-02 e FV-03.

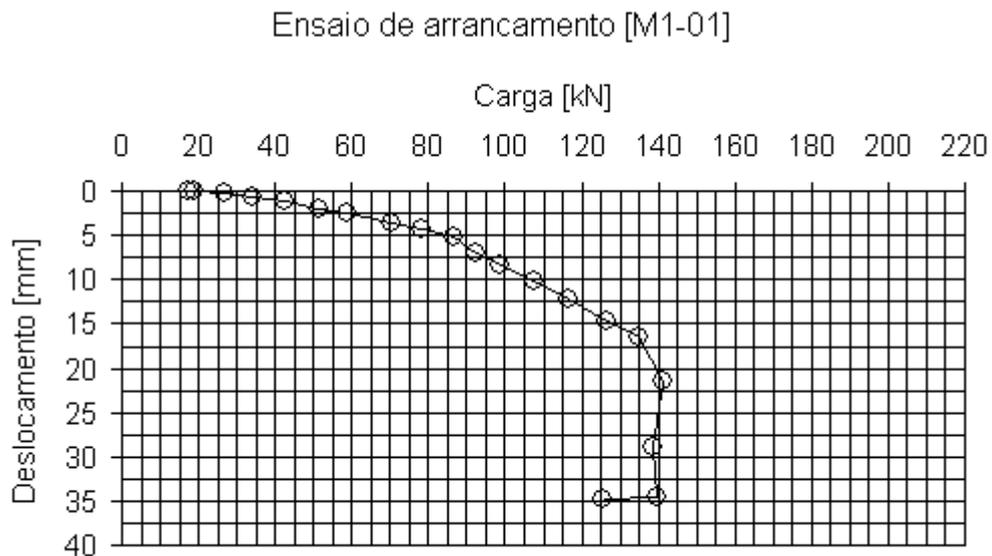


Figura 73 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-01

## 6.5.

### Ensaio de arrancamento M1-02A

Na montagem do sistema do grampo M1-02A foram utilizadas cunhas, entre a grade de reação e a placa de aço, para fazer o alinhamento e ajuste inicial de ensaio (Figura 74). Ao se iniciar o carregamento, o sistema como um todo sofreu uma elevação, modificando o alinhamento, o que provocou o deslizamento das cunhas e a desmontagem abrupta do sistema (Figura 75).



Figura 74 – Utilização de cunhas na montagem do ensaio M1-02A

Observando-se a Figura 74, pode-se notar o esforço físico exigido aos operadores na montagem do ensaio. Ressalta-se ainda que o ensaio foi executado a 1,4m de altura, o que dificulta a montagem e a sustentação do conjunto. Além disso, pode-se reparar que as cunhas, ao invés de auxiliar o alinhamento, na verdade prejudicam. Ao se iniciar o ensaio, a grade de reação busca apoio na superfície inclinada da cunha e o eixo do grampo é rotacionado até a estabilização. Com isto, as medidas de deslocamento axial do grampo ficam prejudicadas. Sugere-se a não utilização de cunhas na montagem dos ensaios de arrancamento.

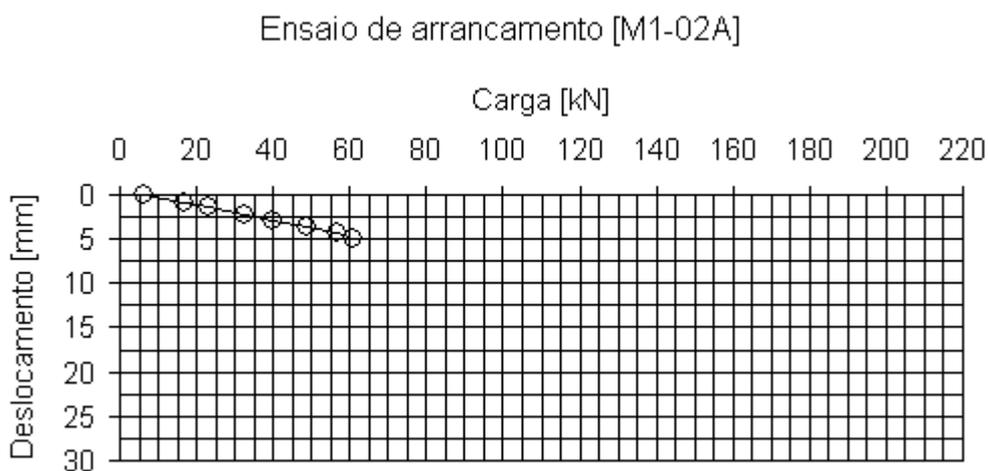


Figura 75 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-02A

## 6.6. Ensaio de arrancamento M1-02B

Durante o ensaio de arrancamento M1-02B, o sistema de montagem também apresentou problemas. O extensômetro teve que ser ajustado várias vezes porque houve deslocamento do grampo para cima. A partir de certo ponto, verificou-se que a luva que promove a extensão do grampo para que seja ajustado o sistema de ensaio estava agarrada à grade de reação. Neste instante, a luva passou a ser solicitada ao invés do grampo e o ensaio foi invalidado para carga de tração superior a 136kN. Não houve danos à luva. Apesar do problema ocorrido, o ensaio não foi sacrificado, uma vez que o comportamento, anterior à solicitação da luva, já era de cisalhamento, ou seja, carga constante e deslocamentos crescentes, podendo-se considerar o ensaio como finalizado.

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M1-02B (Figura 76) apresenta quatro retas bem definidas: A primeira até 37kN, correspondente à fase de ajuste

do sistema, a segunda até 118kN, a terceira até 132kN e a quarta com 139kN, podendo-se inferir um comportamento de cisalhamento nesta última fase, já que o acréscimo de carga foi muito pequeno ao se comparar com o deslocamento desenvolvido. Ignorada a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 5,9, 1,3 e 0,5MN/m (deslocamento crescente com carregamento variando muito pouco, apenas 7kN).

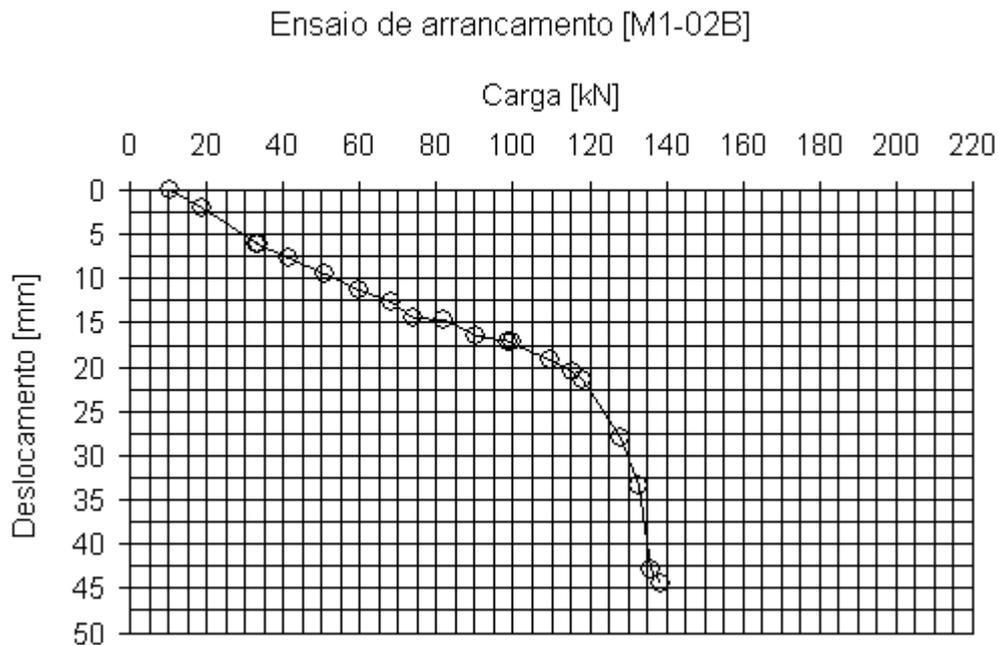


Figura 76 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-02B

Este ensaio foi executado em grampo instrumentado com *strain gages*. A curva de distribuição de carga ao longo do grampo é apresentada na (Figura 77). Observa-se que quando o arrancamento ocorre no contato grampo-solo, a mobilização da resistência ao arrancamento ocorre gradualmente, a partir da cabeça, em direção à parte mais interna do grampo. Ao se aproximar da carga de ruptura do grampo, as curvas tendem a se tornar lineares, da cabeça do grampo até a extremidade final. Este comportamento foi observado no grampo M1-02B (Figura 77). Entretanto, as últimas duas etapas de carregamento do grampo M1-02B (Figura 77) devem ser ignoradas, pois refletem a solicitação da luva que se prendeu à grade de reação.

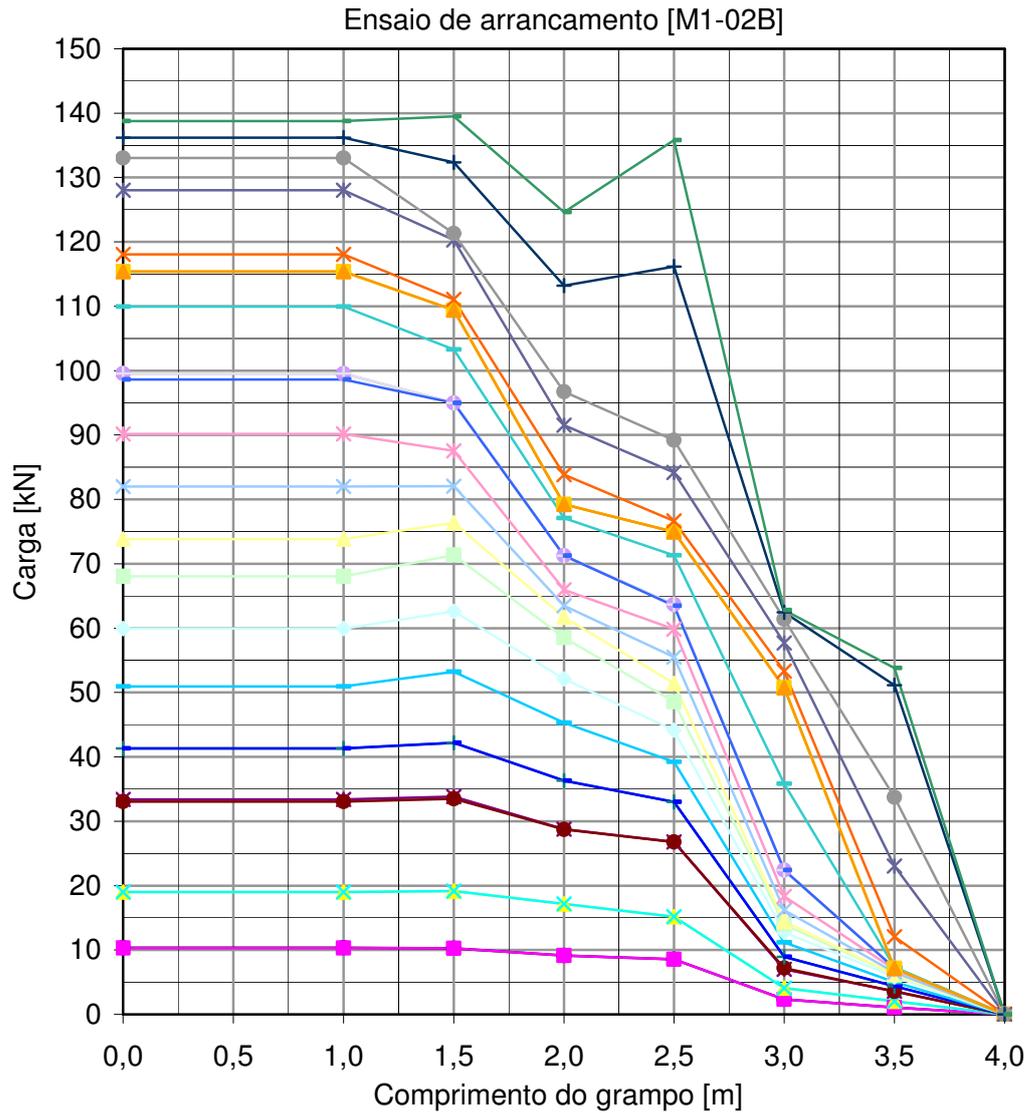


Figura 77 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-02B

### 6.7. Ensaio de arrancamento M1-03

O ensaio de arrancamento M1-03 apresentou alguns problemas e deve ser desconsiderado como arrancamento de grampo (Figura 79). O sistema foi mal montado, por consequência, a luva agarrou na grade de reação (Figura 78), danificando a mesma. Na Figura 78a observa-se a luva presa à grade de reação e na Figura 78b vê-se que a rosca da luva foi parcialmente arrancada de seu interior.

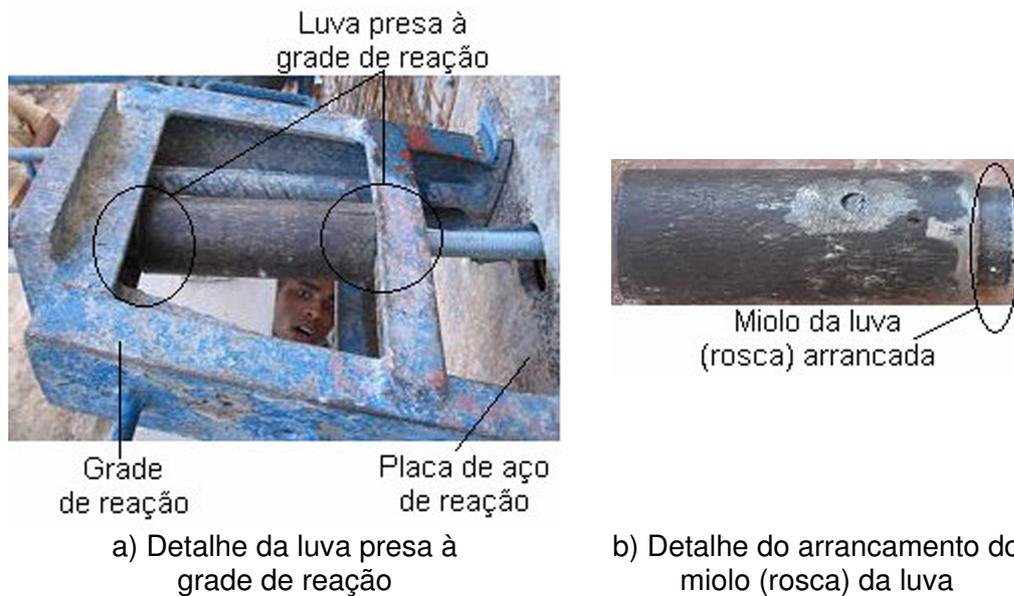


Figura 78 – Luva presa à grade de reação no ensaio M1-03

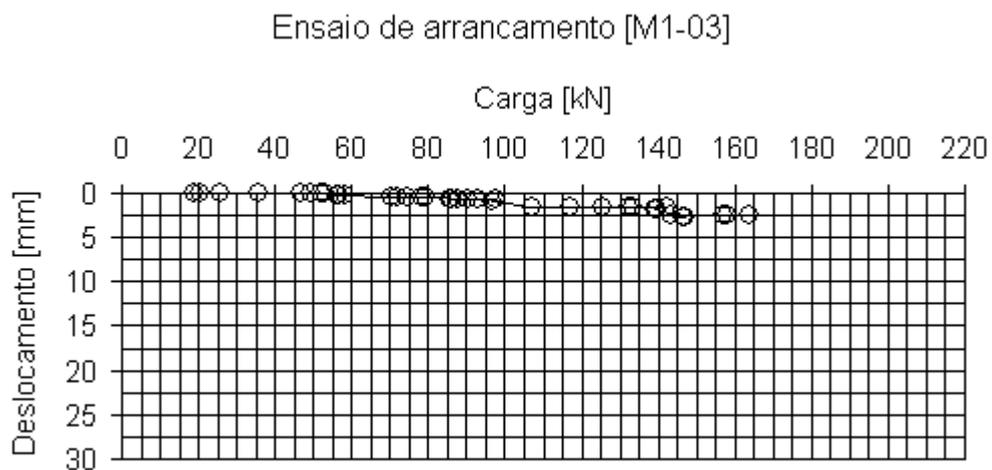


Figura 79 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-03

### 6.8. Ensaios de arrancamento M1-04 e M1-05

Os ensaios M1-04 e M1-05 foram executados com 10 dias de cura. Estes ensaios foram preparados com duas injeções. Observa-se nos dois ensaios que os valores mínimos de rigidez são muito elevados, respectivamente 24,8 e 17,0MN/m para os grampos M1-04 e M1-05, com deslocamentos reduzidos e iguais a 6 e 10mm, respectivamente.

Com relação aos ensaios M1-04 (Figura 80) e M1-05 (Figura 81), optou-se pelas suas interrupções para que evitassem danos à célula de carga, cujo limite de utilização é de 200kN.

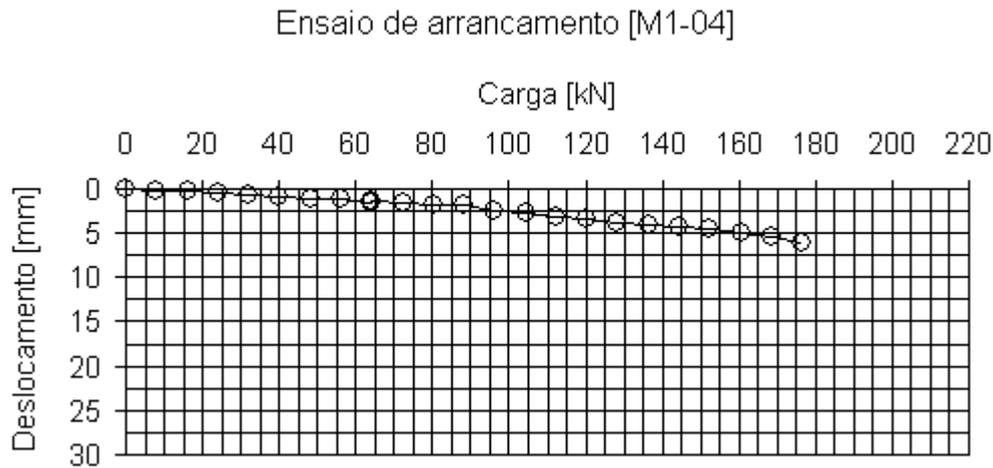


Figura 80 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-04

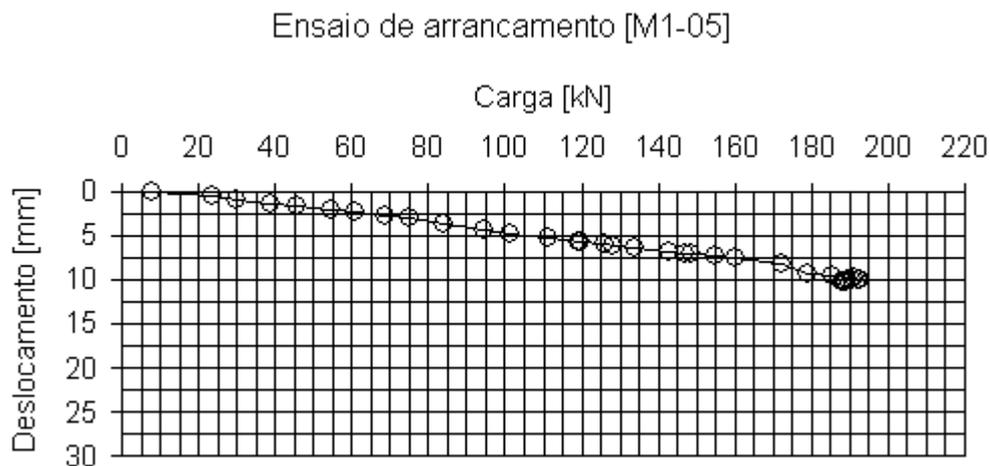


Figura 81 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-05

O grampo M1-05 foi instrumentado com *strain gages*. A curva de distribuição de carga ao longo do grampo é apresentada na Figura 82. Nota-se a tendência de uma distribuição triangular, apesar do acréscimo abrupto de carga acusado pelo *strain gage* 0 (à 1,5m da cabeça do grampo). Isto pode ser devido ao mal funcionamento do medidor ou à inadequação do fator de calibração adotado em relação a real área usinada da barra para fixação do *strain gage*.

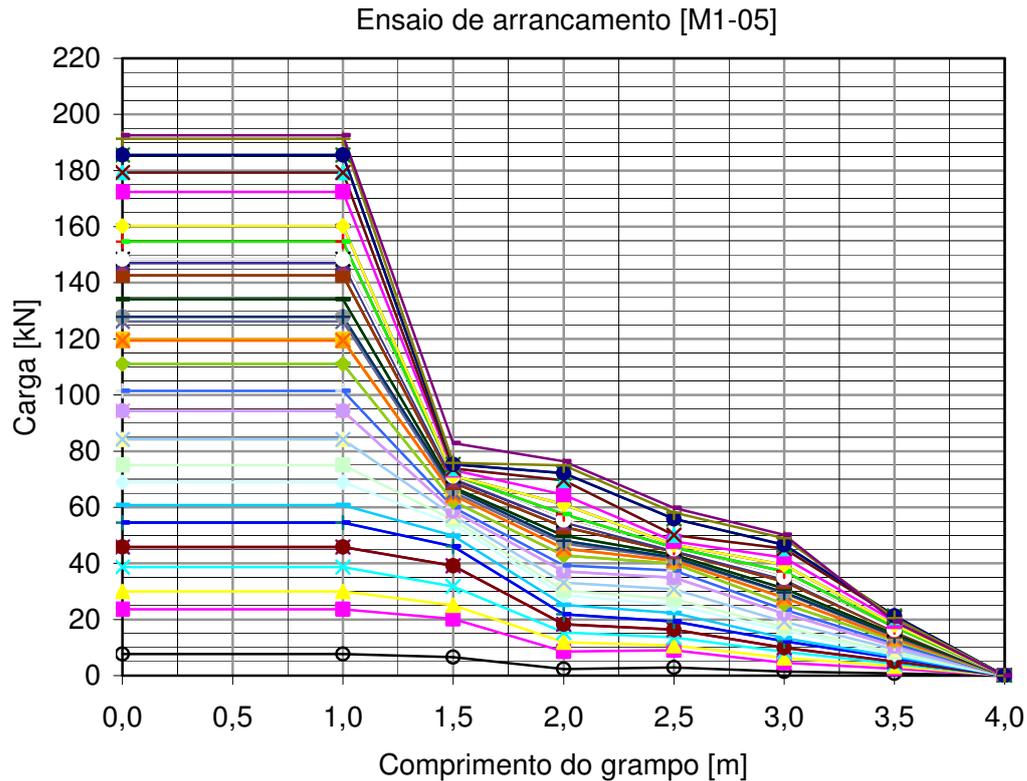


Figura 82 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-05

### 6.9. Ensaio de arrancamento M1-06

O ensaio M1-06, re-injetado e instrumentado, foi executado com 10 dias de cura da nata.

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M1-06 (Figura 83) apresenta quatro retas bem definidas: A primeira até 61kN, correspondente à fase de ajuste do sistema, a segunda até 145kN, a terceira até 180kN e a quarta também com 180kN, com comportamento de cisalhamento, já que o deslocamento aumentou de 17 para 27mm, com reduzida perda de carga. Ignorada a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 14,1, 7,0MN/m e aproximadamente zero. A curva de distribuição de carga ao longo do grampo (Figura 84) indica uma mobilização de resistência típica de arrancamento no contato grampo-solo, semelhante à do grampo M1-02B.

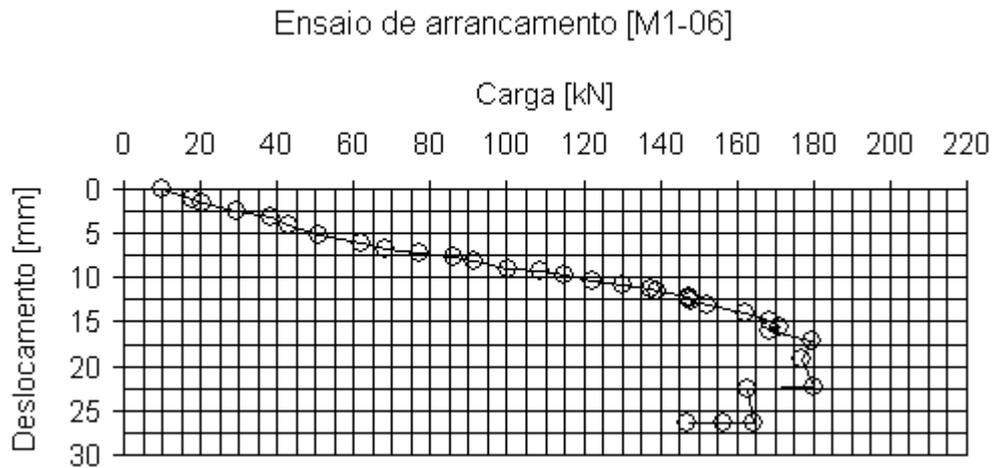


Figura 83 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-06

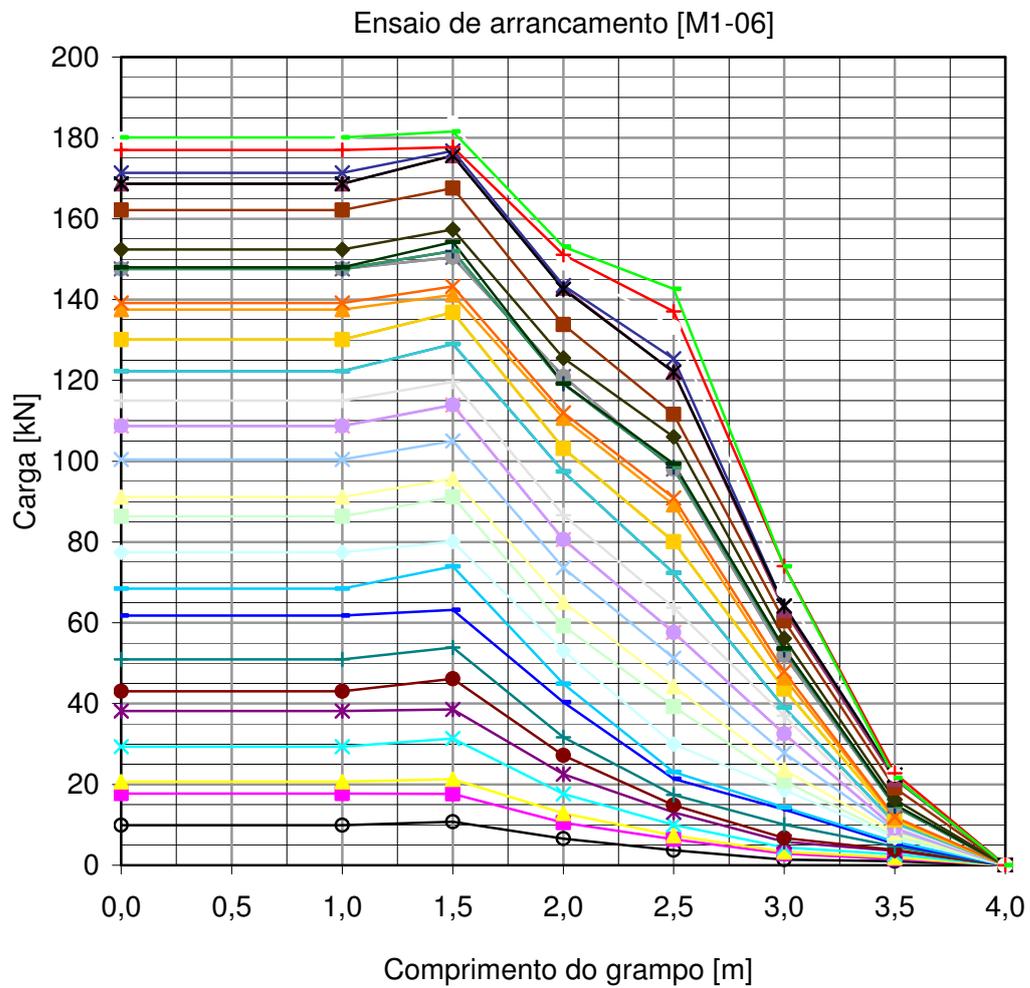


Figura 84 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-06

### 6.10. Ensaio de arrancamento M1-07

O ensaio de arrancamento M1-07 também apresentou problemas e deve ser desconsiderado como arrancamento de grampo. A luva que havia sido danificada durante o ensaio M1-03, foi reparada e re-utilizada neste ensaio, porém não suportou o carregamento, rompendo-se novamente (semelhante ao ocorrido na Figura 78b). O ensaio foi interrompido conforme apresentado na Figura 85.

Apesar disto, os *strain gages* foram monitorados e suas leituras permitiram a obtenção das curvas de distribuição de carga no grampo ao longo do ensaio (Figura 86).

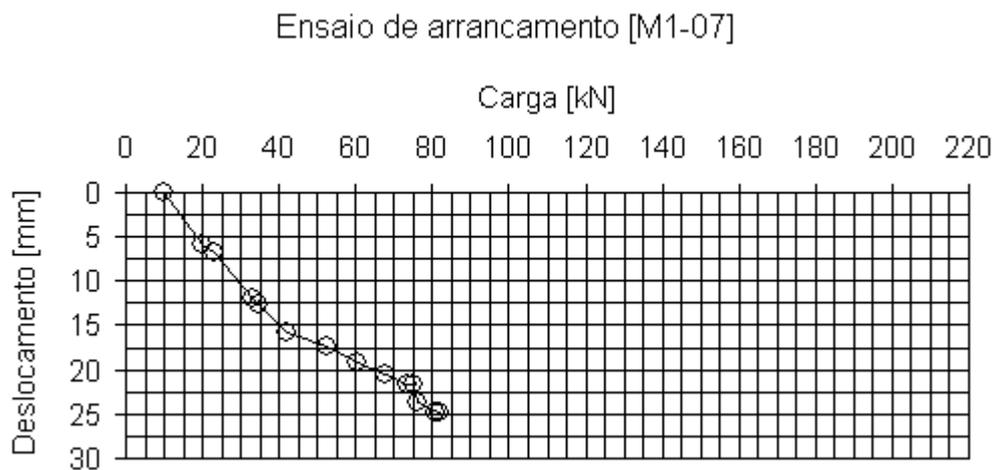


Figura 85 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-07

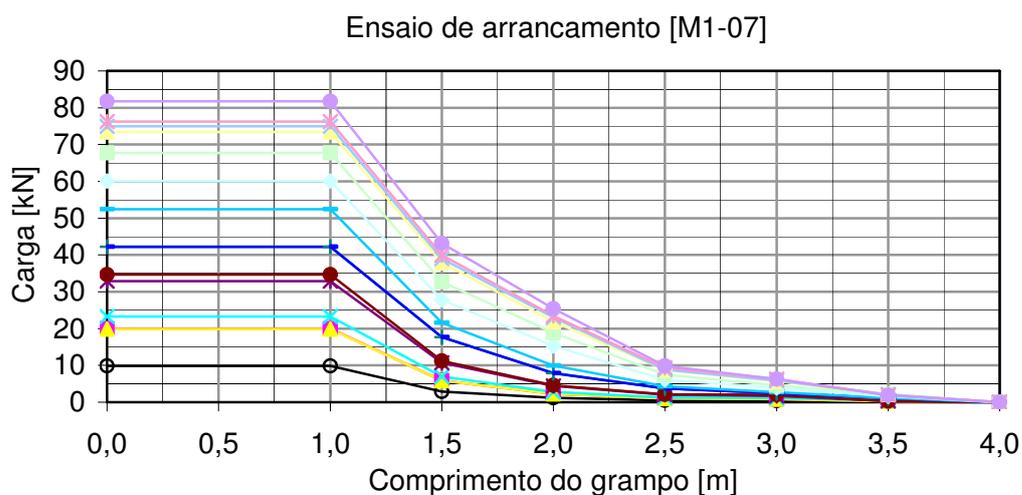


Figura 86 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-07

### 6.11. Ensaio de arrancamento M1-08

Uma nova luva foi utilizada para montagem do ensaio M1-08, que atingiu 217kN sem sinais de arrancamento. Optou-se pela interrupção do ensaio para que evitasse danos à célula de carga. O deslocamento máximo medido foi de 22mm e a rigidez mínima de 5,8MN/m (Figura 87).

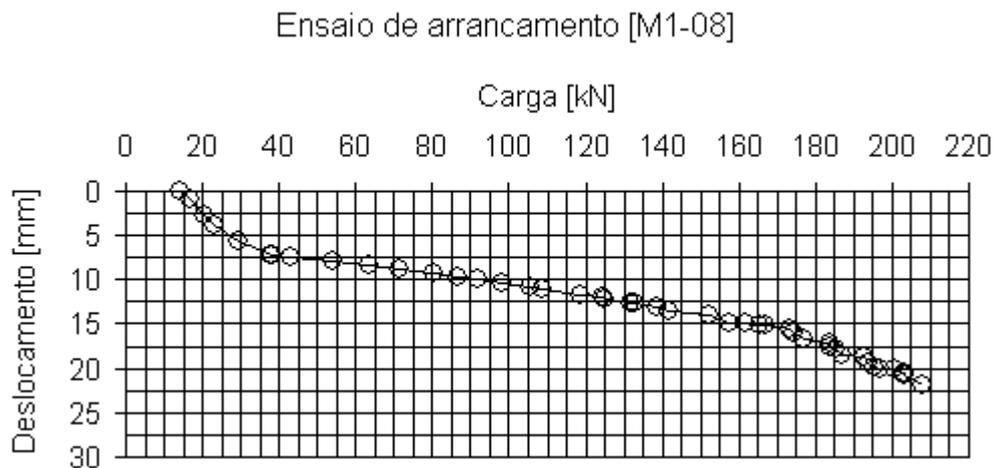


Figura 87 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-08

A curva de distribuição de carga ao longo do grampo (Figura 88) mostra uma mobilização de resistência progressiva, de forma triangular, até a extremidade de 4,0m.

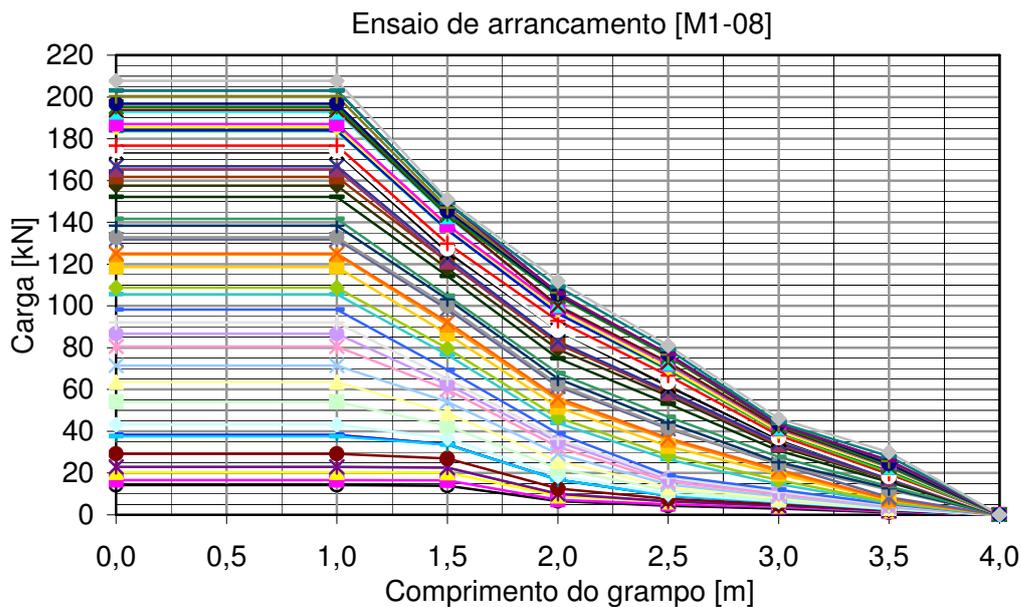


Figura 88 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-08

### 6.12. Ensaio de arrancamento M1-09

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M1-09 é muito parecida com a do ensaio M1-08, ambos com 2 injeções. Também se optou pela interrupção do ensaio para evitar danos à célula de carga. O deslocamento máximo medido foi de 26mm e a rigidez mínima de 6,6MN/m (Figura 89).

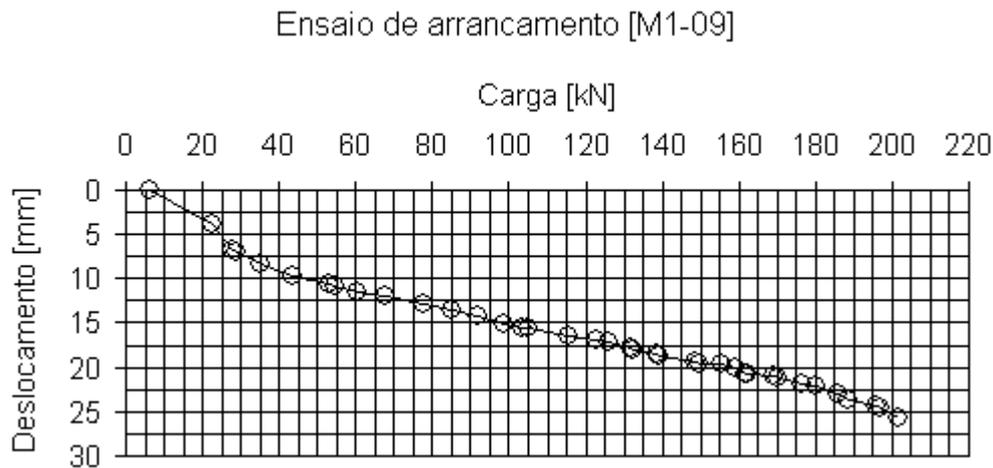


Figura 89 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-09

Este ensaio também foi instrumentado com *strain gages* e as curvas de distribuição de carga ao longo do grampo são apresentadas na (Figura 90). Nota-se a tendência de uma distribuição triangular. Entretanto, os valores de carga obtidos do *strain gage* 0, situado a 1,5m da cabeça do grampo são reduzidos quando comparados aos valores de carga aplicada e transferida, integralmente ao início do trecho injetado, a 1,0m da cabeça do grampo. Provavelmente, estes valores refletem uma certa inadequação da equação de calibração adotada. O fato é que a equação de calibração utilizada para o *strain gage* 0 do grampo M1-09, corresponde à média dos resultados de calibração dos *strain gages* das barras M2-01 e M2-02. Se a área usinada para a colagem do *strain gage* 0 for inferior à área média considerada nas calibrações, a carga calculada também será menor que a esperada na distribuição triangular.

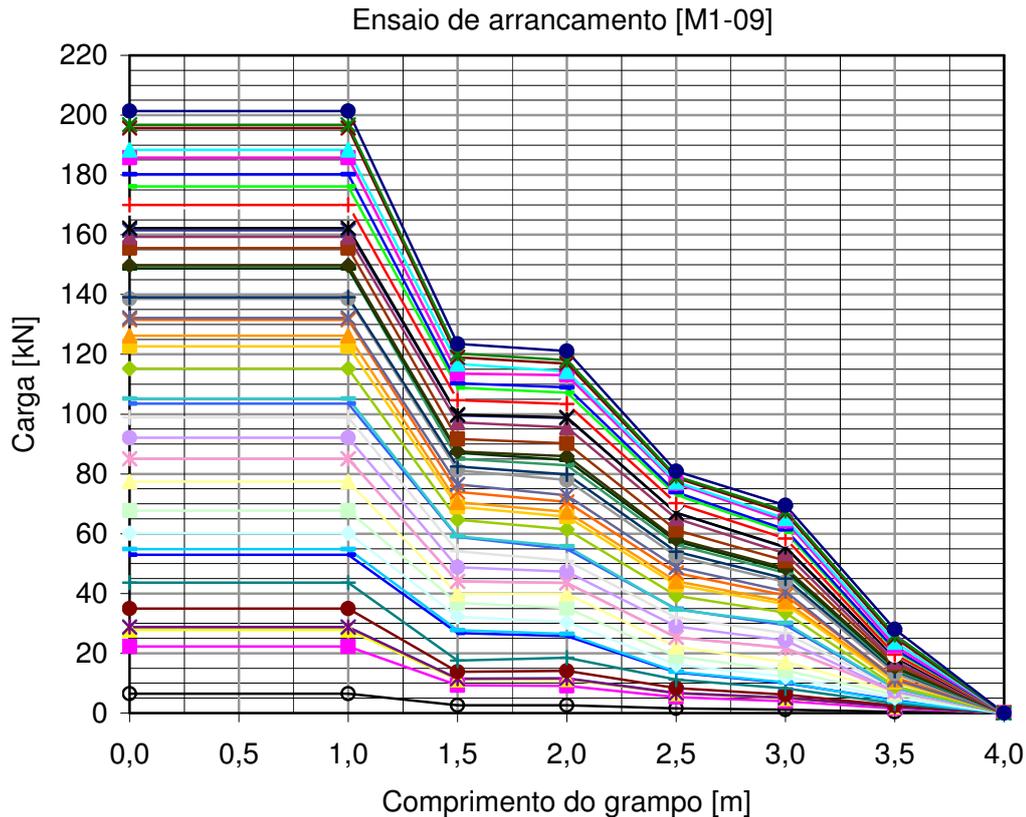


Figura 90 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-09

### 6.13. Ensaio de arrancamento M1-10

O ensaio M1-10 também foi interrompido ao atingir-se o limite da célula de carga. O deslocamento máximo medido foi de 16mm. Três fases distinguem-se neste ensaio: fase de ajuste, até 46kN, a segunda fase até 107kN e rigidez de 7,2MN/m e a terceira fase até 192kN e rigidez de 18,2MN/m (Figura 91). Nota-se um aumento da taxa de deslocamento durante o ensaio.

O grampo do ensaio M1-10 também foi instrumentado com *strain gages*, cujo monitoramento permitiu a obtenção das curvas de distribuição de carga ao longo do grampo (Figura 92).

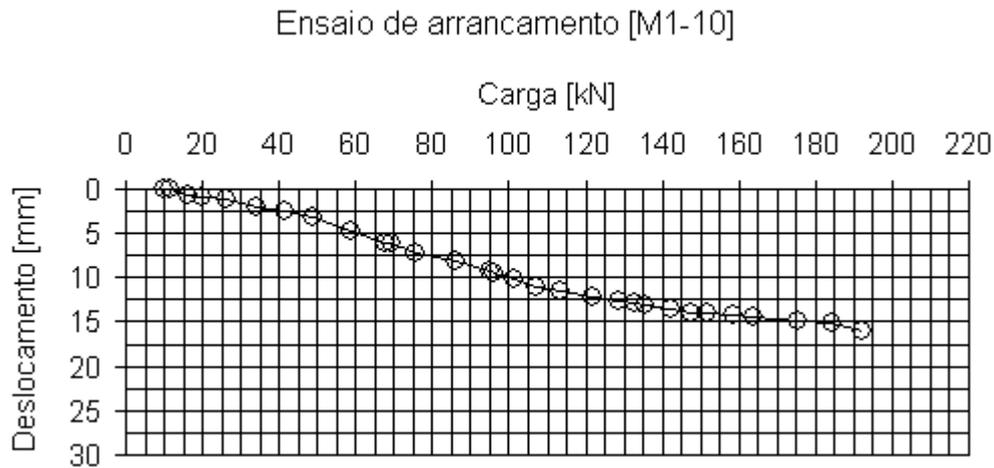


Figura 91 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-10

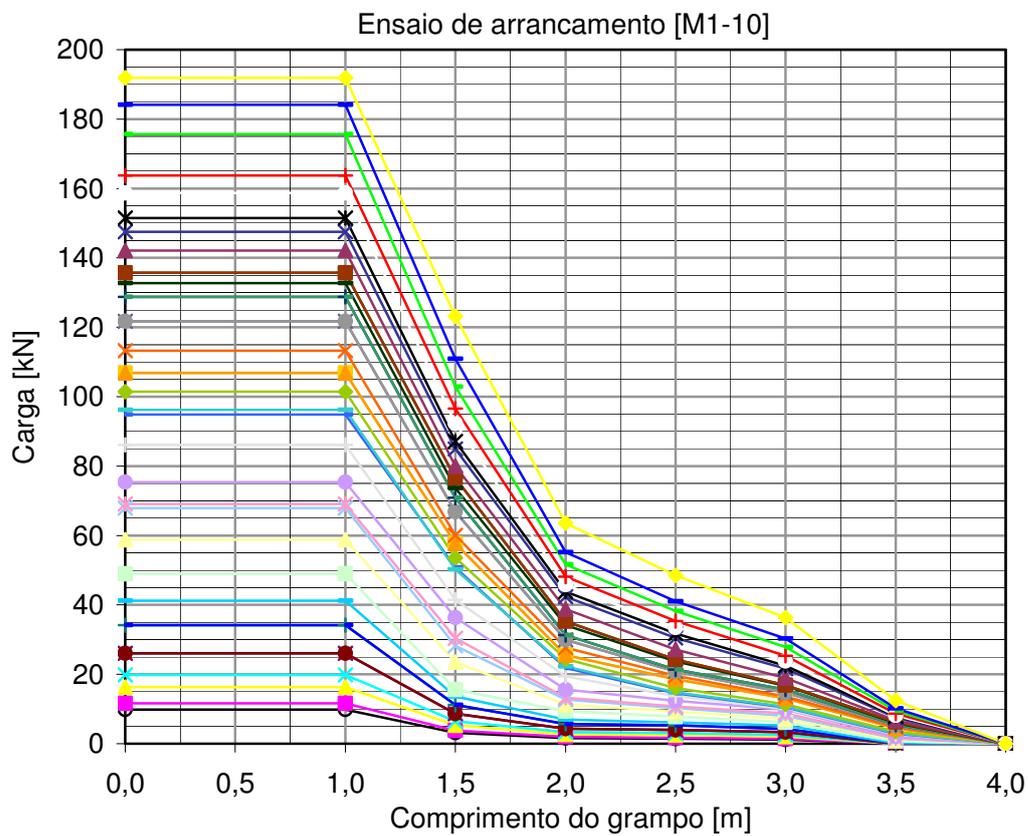


Figura 92 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-10

#### 6.14.

#### Ensaio de arrancamento M1-11, M1-12, M1-13 e M1-14

Os grampos M1-11, M1-12, M1-13 e M1-14, todos executados com apenas 1 injeção de preenchimento de bainha, situavam-se na cota 44m, cujo solo

residual maduro (Solo 4) é intercalado por 2 tipos de solo: Argila-arenosa marrom avermelhada e silto-argiloso branco (menos resistente).

Os ensaios M1-11, M1-13 e M1-14 foram interrompidos por excesso de deslocamento, respectivamente com, 76, 135 e 155mm. Os ensaios M1-13 e M1-14 foram interrompidos nas proximidades do limite de extensão do curso do êmbolo do macaco de 155mm.

Do ensaio M1-11 (Figura 93) é possível identificar duas fases distintas. A primeira até 77kN e a segunda até 111kN, com valores de rigidez de 5,7 e de 0,5MN/m, respectivamente.

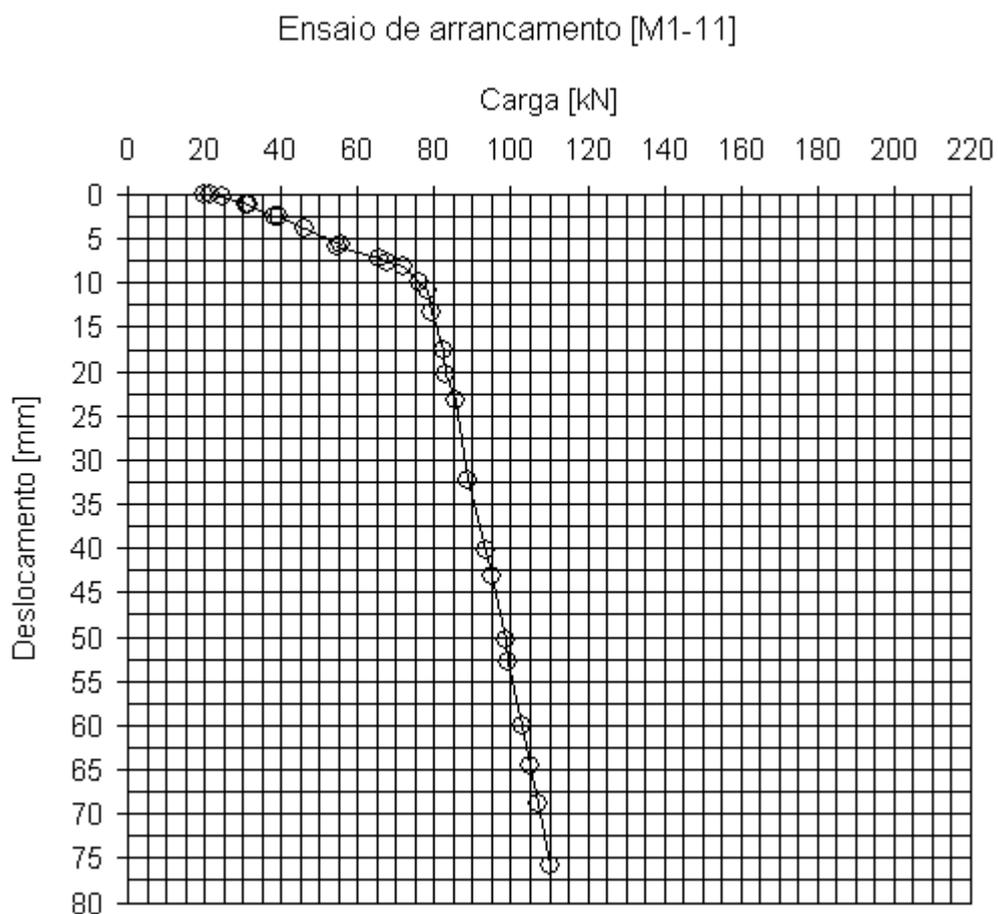


Figura 93 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-11

Do ensaio M1-12 (Figura 94), além da fase de ajuste do sistema até 46kN, é possível identificar mais duas fases. A primeira até 124kN e a segunda até 128kN, com valores de rigidez de 6,1 e de 0,6MN/m, respectivamente. A segunda etapa pode ser considerada como de cisalhamento, seguindo-se imediatamente a ruptura do ensaio.

O ensaio M1-12 foi instrumentado com *strain gages*. A curva de distribuição de carga ao longo do grampo é tipicamente triangular (Figura 95).

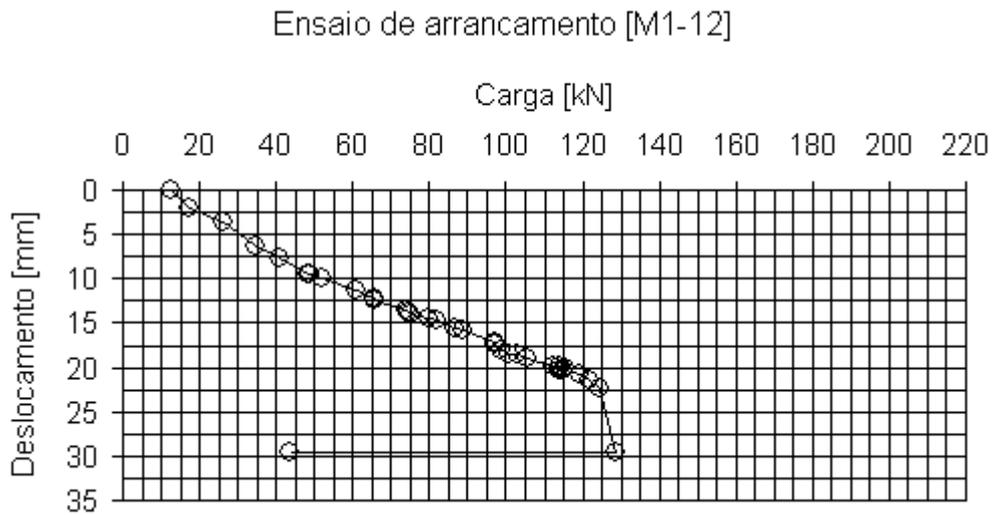


Figura 94 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-12

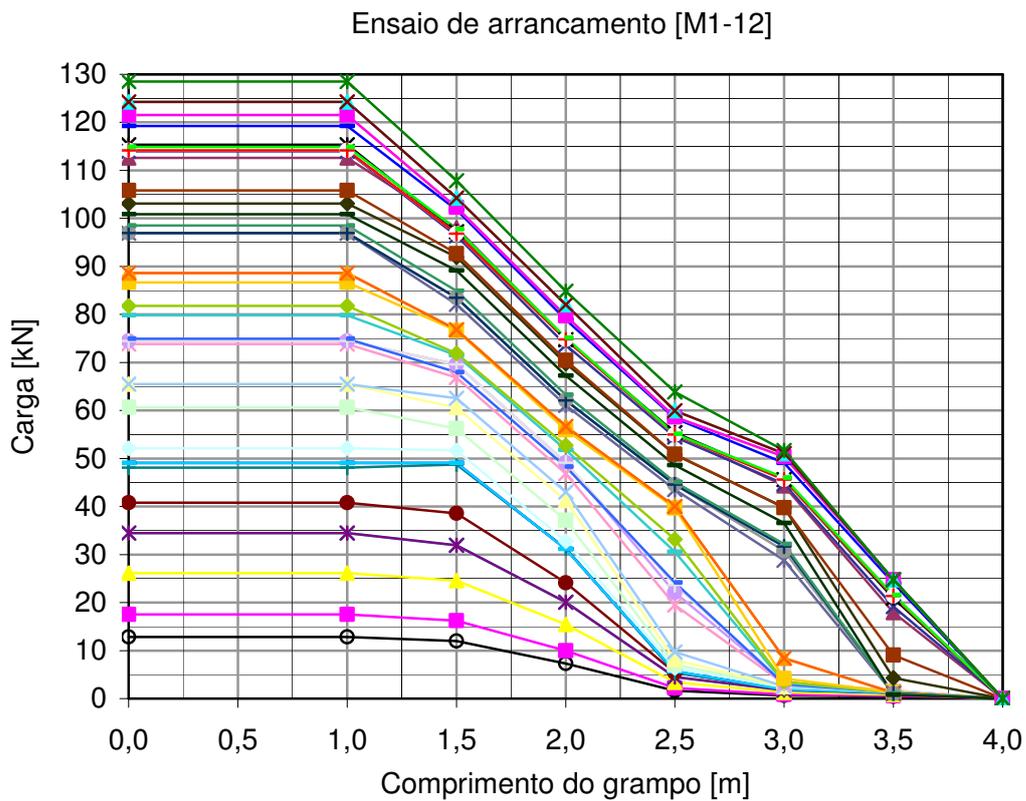


Figura 95 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-12

Os ensaios M1-13 (Figura 96) e M1-14 (Figura 97), ambos executados com 10 dias de cura da nata, apresentam deslocamentos excessivos, maiores que 135mm e apresentam três fases bem definidas. A fase de ajuste não foi identificada. O ensaio M1-13 apresenta a primeira fase de carga até 39kN, a segunda fase até 76kN e a terceira de 90kN, com valores de rigidez de 3,7, 0,6 e 0,2MN/m, respectivamente. O ensaio M1-14 apresenta na primeira etapa, carga de 95kN, a segunda fase até 109kN e a terceira de 124kN, com valores de rigidez de 1,8, 0,5 e 0,2MN/m, respectivamente. Em ambos os casos analisados, pode-se dizer que a segunda fase identificada representa a fase de cisalhamento, uma vez que o aumento de carga é muito reduzido com relação ao acréscimo de deslocamento.

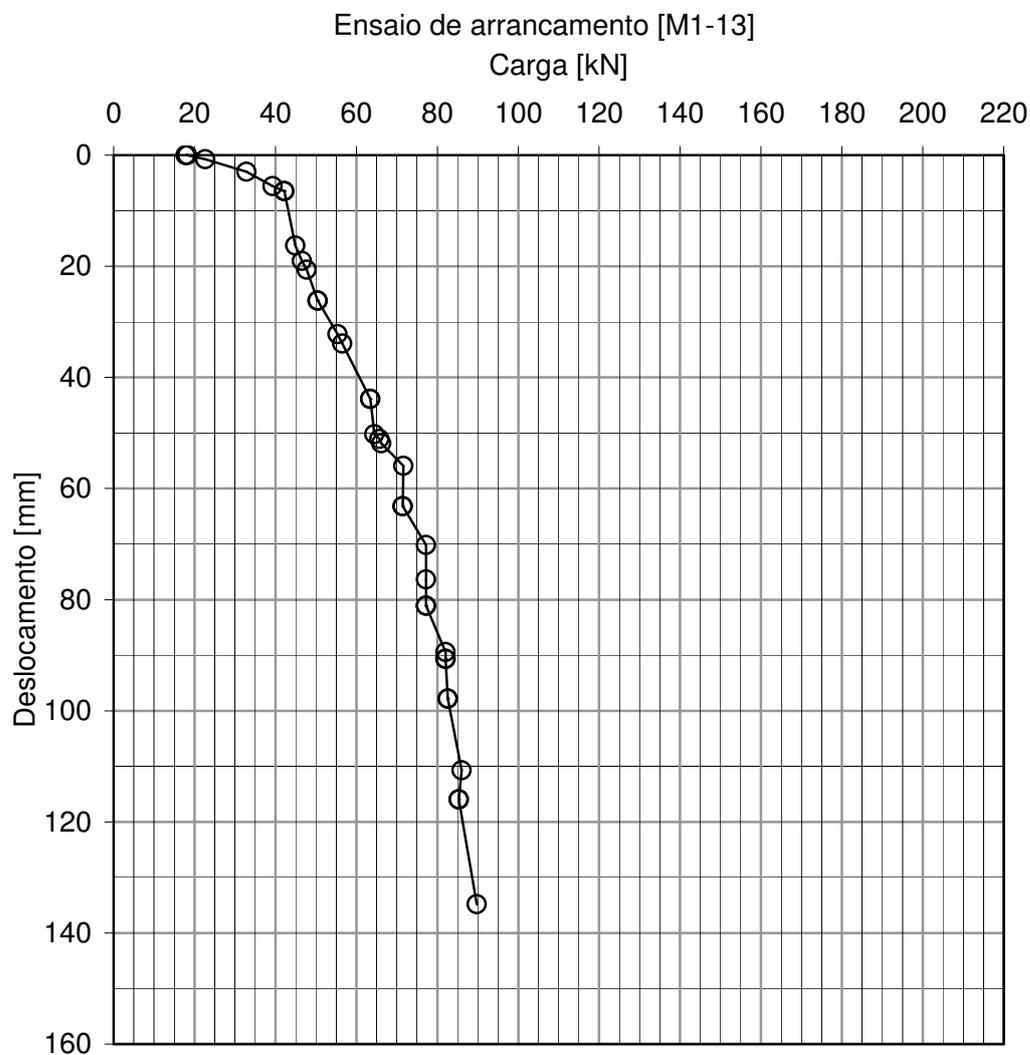


Figura 96 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-13

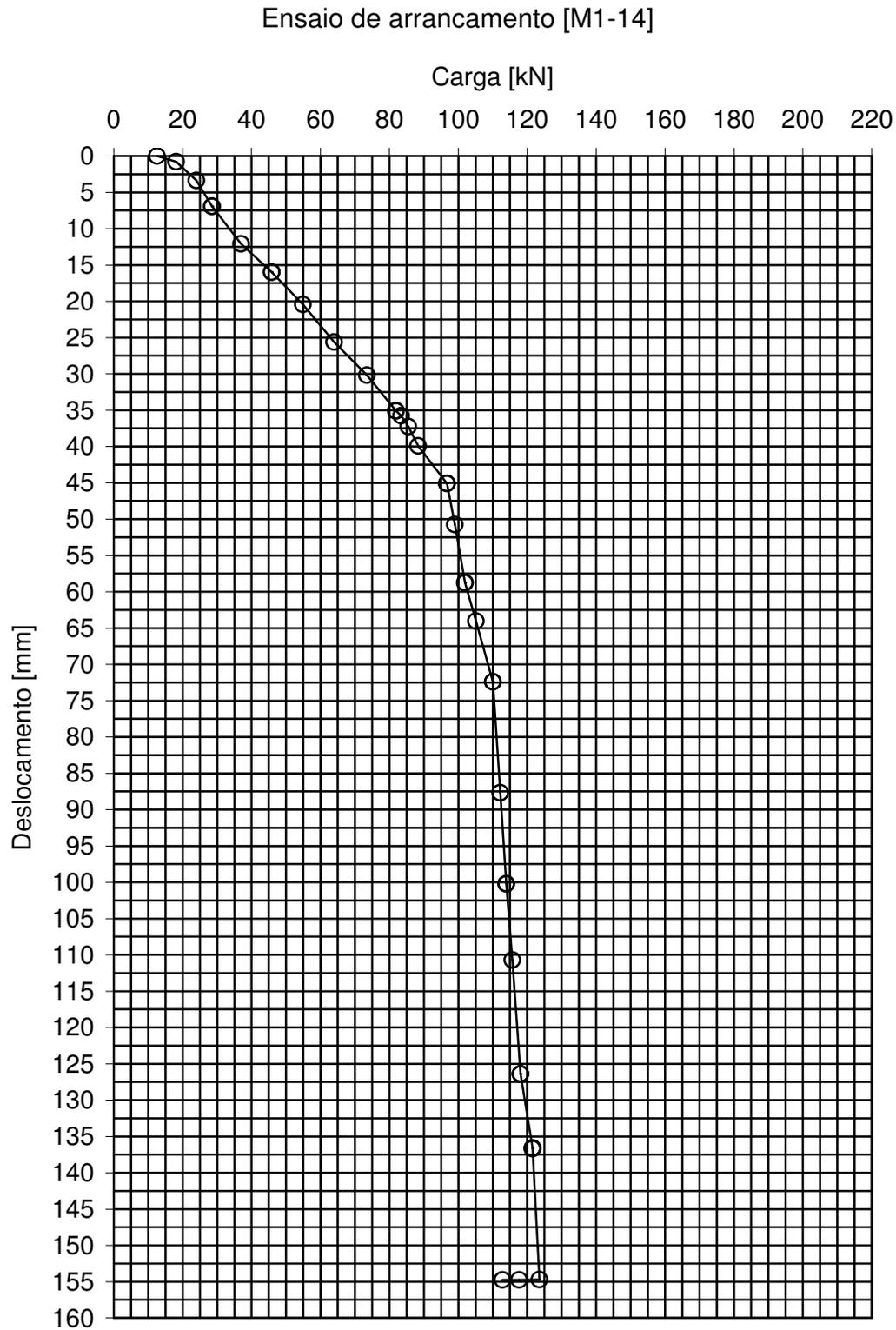


Figura 97 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-14

### 6.15. Ensaio de arrancamento M1-15

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M1-15 (Figura 98), apresenta quatro retas bem definidas: A primeira até 36kN, correspondente à fase de ajuste do sistema, a segunda até 137kN, a terceira até 162kN e a quarta até 167kN, com comportamento de cisalhamento. Desprezando-se a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 10,5, 4,6 e 0,4MN/m. O deslocamento no início do cisalhamento é de 32mm e o máximo é de 48mm.

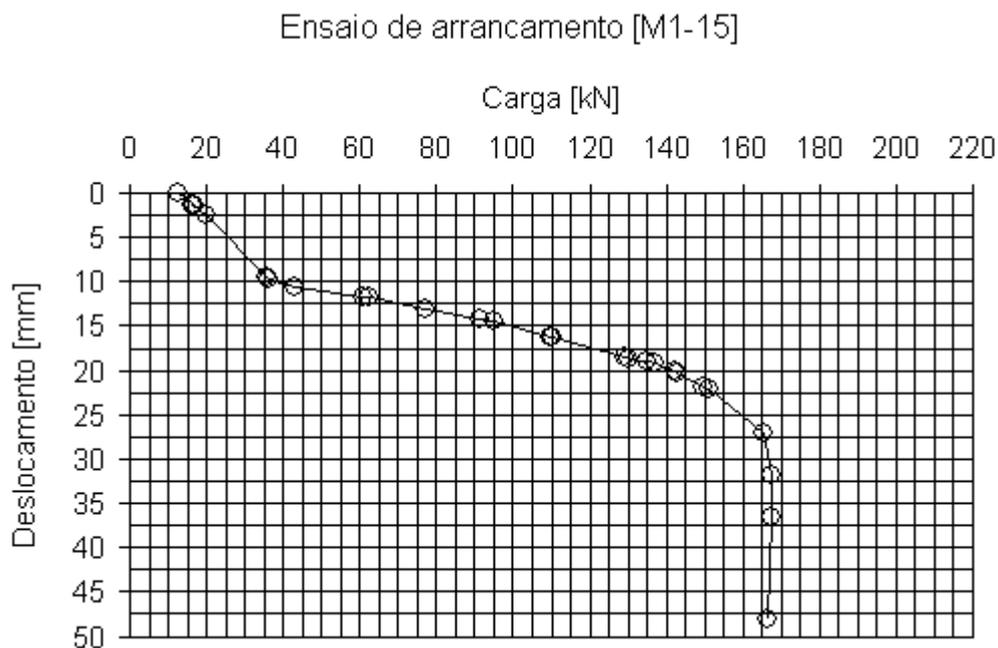


Figura 98 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-15

### 6.16. Ensaios de arrancamento M1-16 e M1-17

O ensaio de arrancamento M1-16 apresentou problemas e deve ser desconsiderado como arrancamento de grampo. A luva prendeu-se na grade de reação (semelhante ao ocorrido na Figura 78a), porém sem sofrer danos. O ensaio foi interrompido (Figura 99). Apesar disto, a curva de distribuição de carga ao longo do grampo é tipicamente triangular (Figura 100). Porém, ela deve refletir a solicitação da luva durante o ensaio de arrancamento e conseqüentemente, os valores de carga são duvidosos.

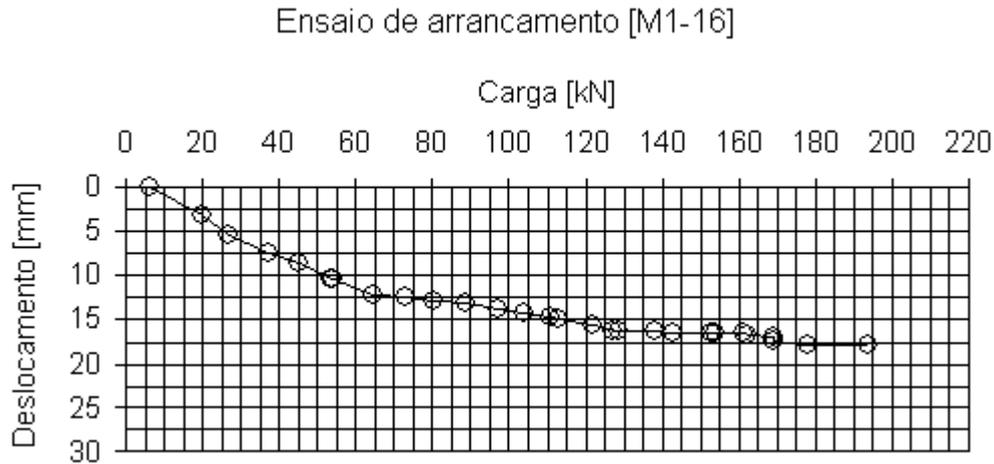


Figura 99 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-16

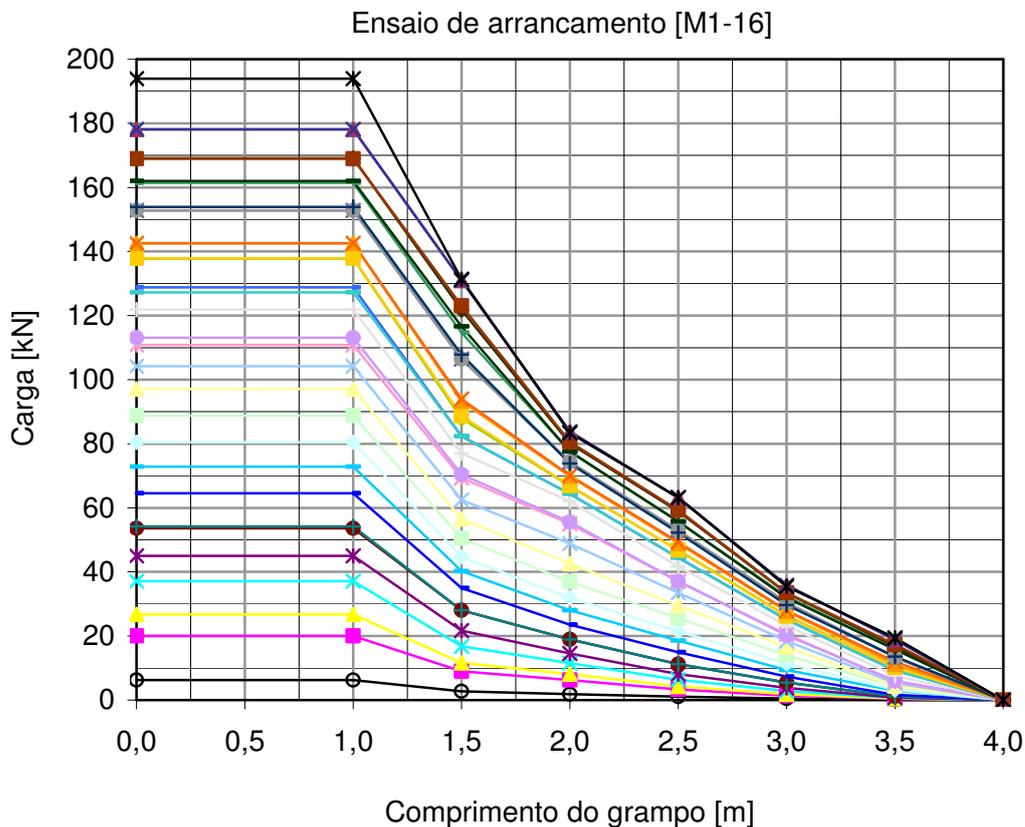


Figura 100 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-16

O ensaio M1-17 representa uma tentativa de re-ensaio do grampo anterior, com uma nova montagem. Entretanto as informações de carga da célula de carga e deformações dos *strain gages* foram perdidas devido a um corte de energia elétrica. Desta forma, o valor de carga utilizado é o da leitura do manômetro da bomba. Por se tratar de um grampo solicitado duas vezes,

apresenta um único comportamento durante todo o ensaio, com rigidez igual a 10,0MN/m, carga máxima de 177kPa e deslocamento máximo de 17mm (Figura 101).

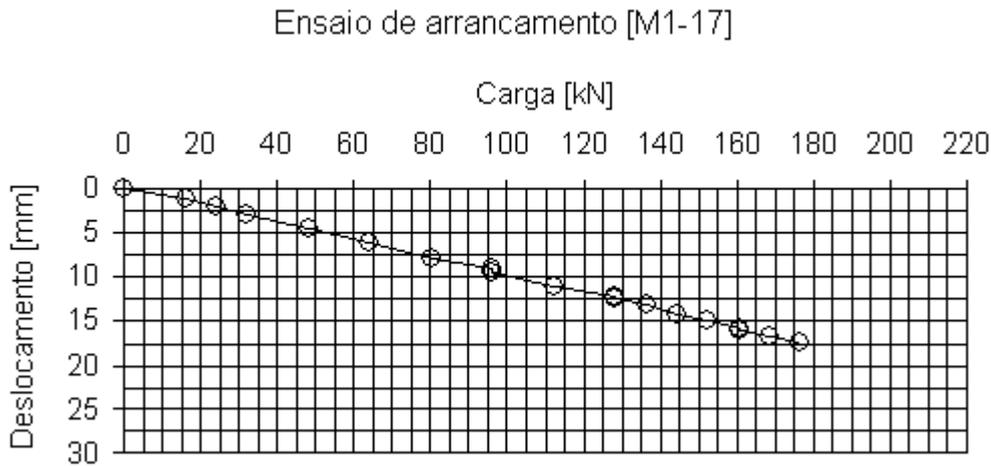


Figura 101 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-17

## 6.17.

### Ensaio de arrancamento M1-18

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M1-18 (Figura 102) apresenta três retas bem definidas: A primeira até 25kN, a segunda até 122kN e a terceira até 135kN, com comportamento de cisalhamento. Os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 5,9, 4,3 e 0,4MN/m. O deslocamento no início do cisalhamento foi de 28mm e o máximo de 61mm.

O grampo do ensaio M1-18 também foi instrumentado com *strain gages*. A curva de distribuição de carga de tendência triangular é apresentada na Figura 103. O *strain gage* 03, localizado a 3,5m da cabeça do grampo e seus resultados não puderam ser plotados. Porém, o mal funcionamento deste *strain gage* 3 acabou afetando os *strain gages* adjacentes que pertencem a um mesmo circuito elétrico que alimenta as pontes de Wheatstone.

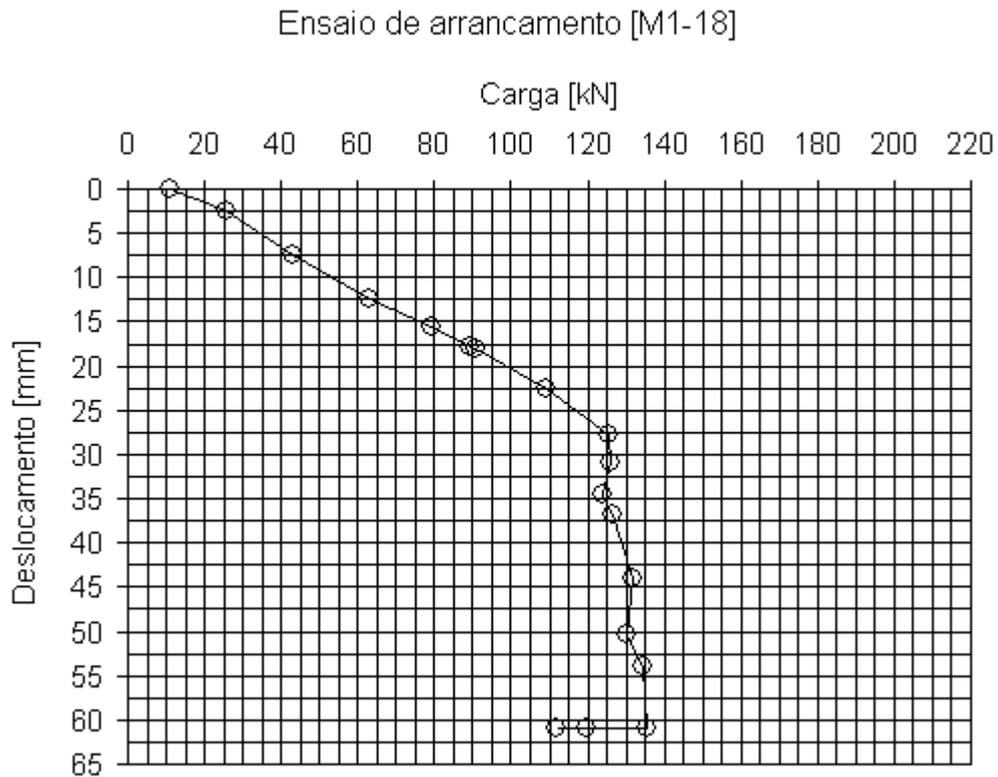


Figura 102 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-18

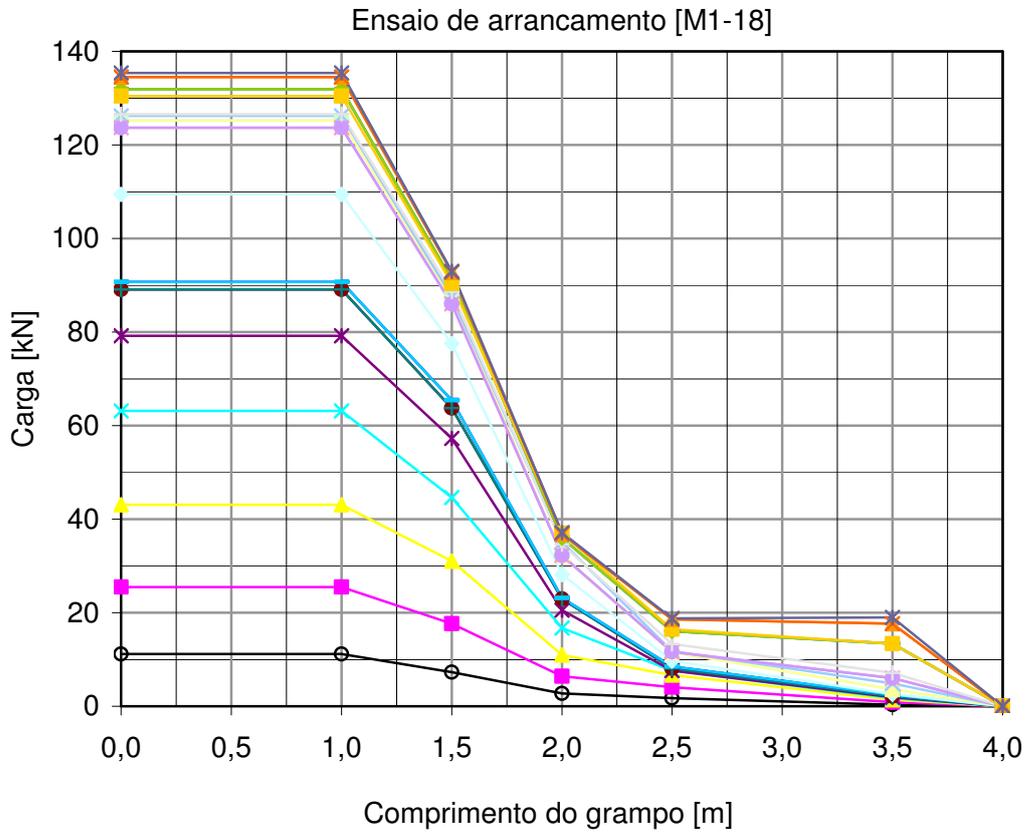


Figura 103 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-18

### 6.18. Ensaio de arrancamento M1-19A e M1-19B

O sistema de ensaio do grampo M1-19A (Figura 104) foi montado inadequadamente, fazendo com que o eixo do grampo se elevasse, assim, obrigando à uma interrupção do ensaio com 69kN de carga de tração e à uma nova montagem (M1-19B).

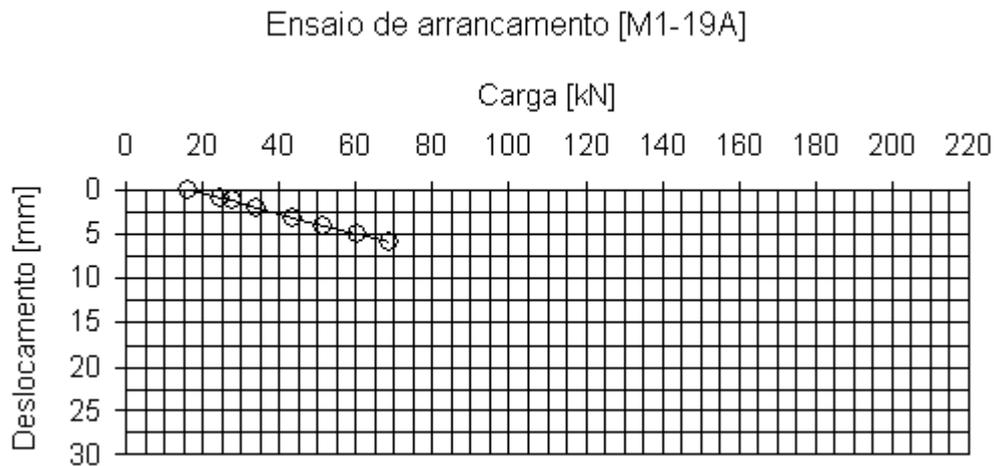


Figura 104 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-19A

A curva de distribuição de carga no grampo durante o ensaio M1-19A (Figura 105) indica forma triangular típica de mobilização.

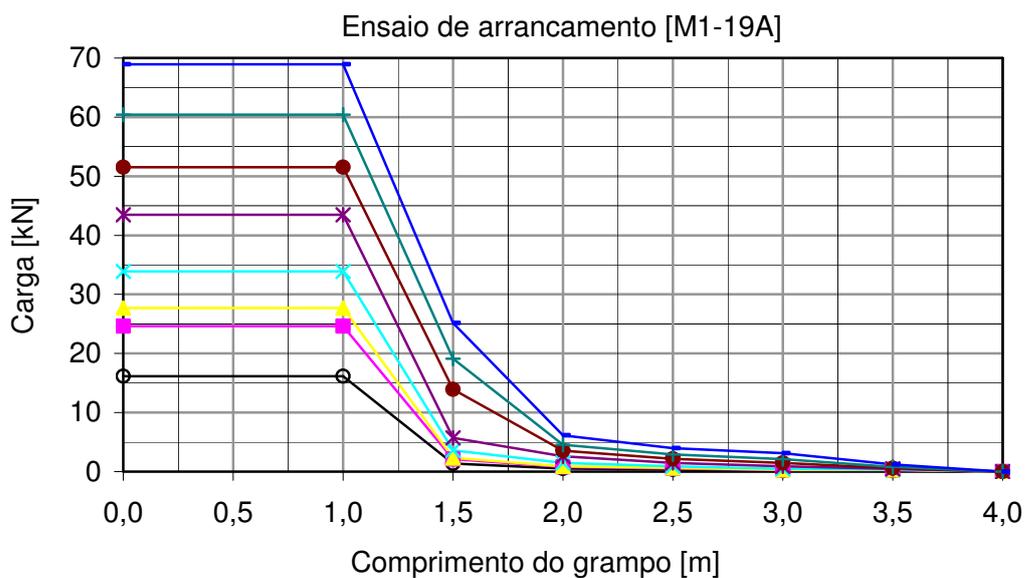


Figura 105 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-19A

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M1-19B (Figura 106) apresenta três retas bem definidas: A primeira até 46kN, correspondente à fase de ajuste do sistema, a segunda até 137kN e a terceira até 172kN. Ignorada a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 11,3 e 4,7MN/m.

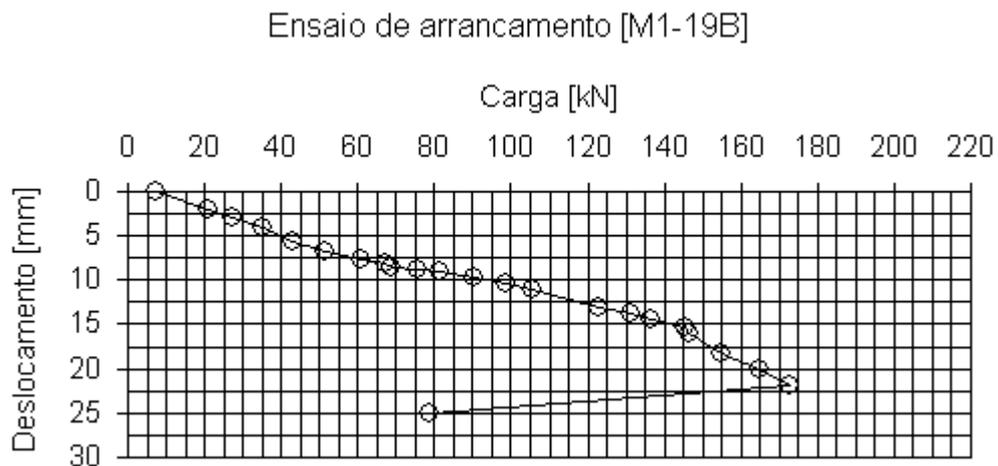


Figura 106 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-19B

O grampo correspondentes aos ensaios M1-19A e M1-19B é instrumentado com *strain gages*. O monitoramento das deformações ao longo do ensaio M1-19B permitiu a obtenção da curva de distribuição de carga no grampo (Figura 107). Nota-se a mudança de padrão das deformações para cargas superiores à 100kN. A exumação deste grampo indicou que a mobilização de resistência ocorreu no contato barra-nata, diferentemente do arrancamento grampo-solo.

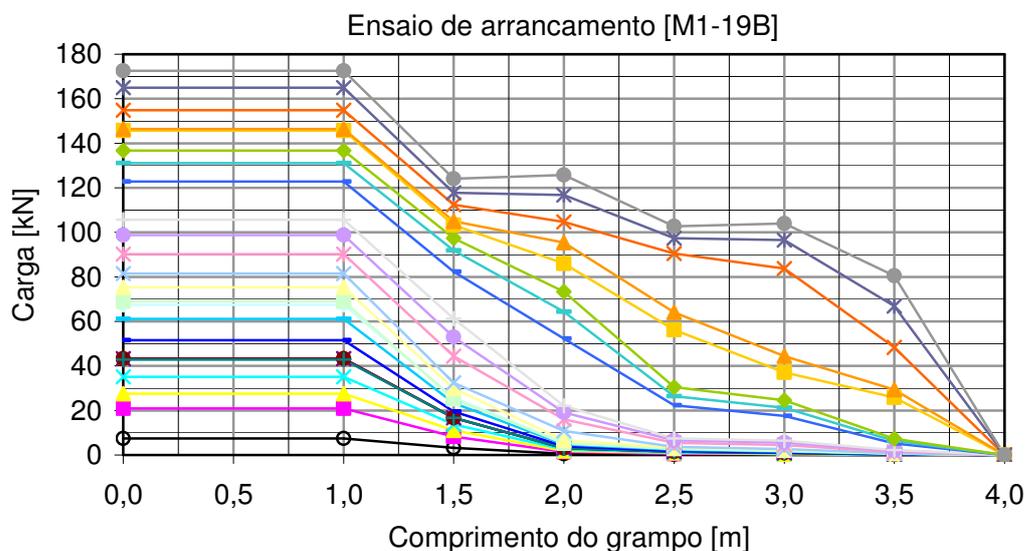


Figura 107 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-19B

### 6.19. Ensaio de arrancamento M1-20

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M1-20 (Figura 108), apresenta três retas bem definidas. A primeira até 29kN, correspondente à fase de ajuste do sistema, a segunda até 154kN e a terceira até 168kN. Desprezando-se a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 9,1 e 4,2MN/m.

De forma análoga ao ensaio M1-19B, o ensaio M1-20 rompeu abruptamente, desmontando o sistema de ensaio. A partir da ruptura, as leituras do sistema de aquisição (célula de carga e *strain gages*) foram perdidas.

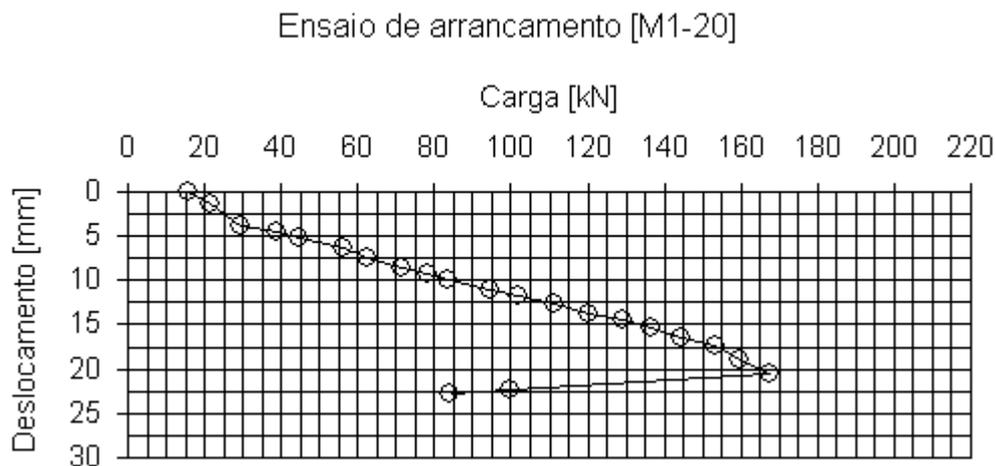


Figura 108 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M1-20

A curva de distribuição de carga ao longo do grampo (Figura 109) é similar à do ensaio M1-19B e apresenta uma mudança de comportamento para cargas superiores a 100kN.

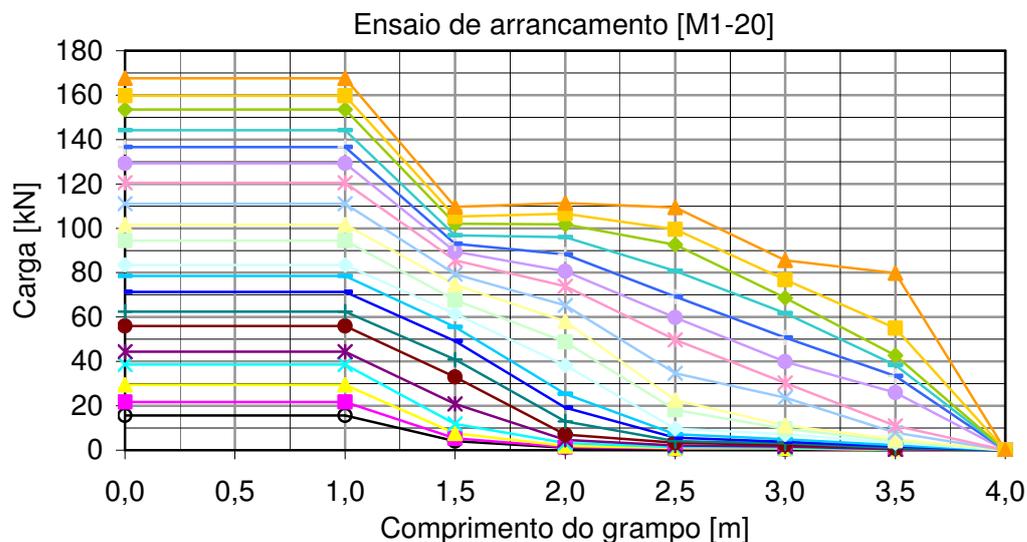


Figura 109 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M1-20

Os grampos M1-19B e M1-20 foram exumados após a realização dos ensaios de arrancamento e, da observação visual (Figura 129), sabe-se que o contato mobilizado durante o carregamento foi o da barra-nata. Desta forma as distribuições de carga ao longo do comprimento do grampo (Figura 107 e Figura 109) são representativas de arrancamento no contato barra-nata. Uma característica comum a ambos é a de não apresentar distribuição triangular (decrecente da cabeça em direção à parte mais interna do grampo). Constatase uma tendência de estabilização de carga ao longo do comprimento (principalmente os *strain gages* 0, 1 e 2) para etapas próximas à ruptura do ensaio.

## 6.20.

### Ensaio de arrancamento M2-01 e M2-02

O Solo 7 correspondente à região dos ensaios M2-01 (1 injeção) e M2-02 (2 injeções), é um solo residual maduro (silte areno-argiloso amarelo). Apesar do grampo M2-02 ser re-injetado, apresentou resistência ao arrancamento inferior à do grampo M2-01 (180 e 240kN/m<sup>2</sup>, respectivamente). Este fato pode ser explicado pela presença de um cupinzeiro de grandes dimensões (Figura 110). Nesta região, após terem sido realizados os ensaios, houve injeção de nata de cimento no solo para preenchimento dos vazios do cupinzeiro. Em ambos os ensaios, a placa de reação de aço penetrou no solo, gerando leituras negativas de deslocamento da cabeça do grampo.

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M2-01 (Figura 111) apresenta uma fase de ajuste e mais três retas bem definidas. A primeira até 22kN, a segunda até 74kN e a terceira até 172kN. Desprezada a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 27,3, 12,6MN/m e zero (cisalhamento).

A curva Carga x Deslocamento do ensaio M2-02 (Figura 112) apresenta uma fase de ajuste e mais três retas bem definidas. A primeira até 41kN, a segunda até 86kN e a terceira até 126kN. Ignorando a fase de ajuste, os módulos de rigidez são respectivamente iguais a 16,4, 7,7MN/m e zero (cisalhamento).

A presença do cupinzeiro na área torna estes ensaios bem particulares, com comportamento diverso. Em ambos os casos a distribuição de carga ao longo do comprimento do grampo, não é linear, porém é decrecente da cabeça em direção à parte mais interna. No grampo M2-01 (Figura 113) são definidas

duas inclinações principais para cada etapa de carregamento. No grampo M2-02 (Figura 114), há uma queda de carga acentuada entre o valor medido pela célula de carga e o registrado no *strain gage* 0. Os *strain gages* 0, 1, 2 deste ensaio tiveram deformações muito próximas.



Figura 110 – Cupinzeiro na região dos grampos M2-01 e M2-02 (Gomes Silva, 2006)

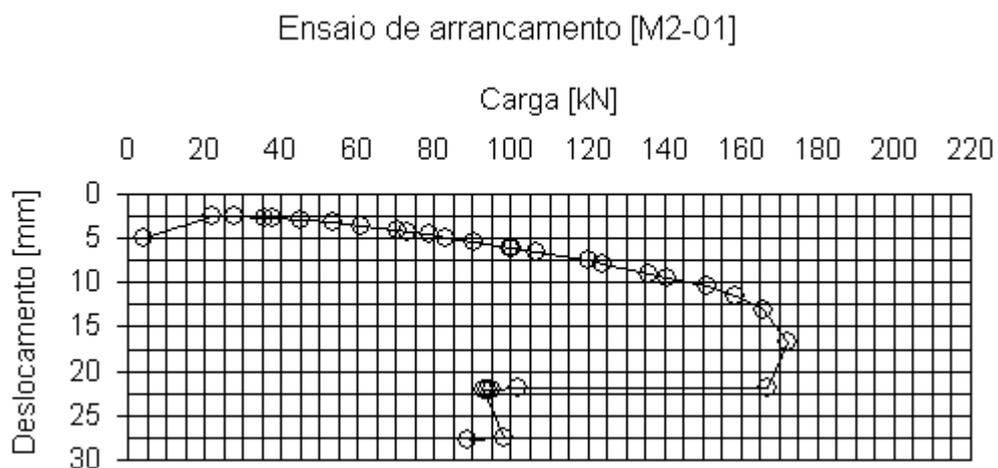


Figura 111 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M2-01

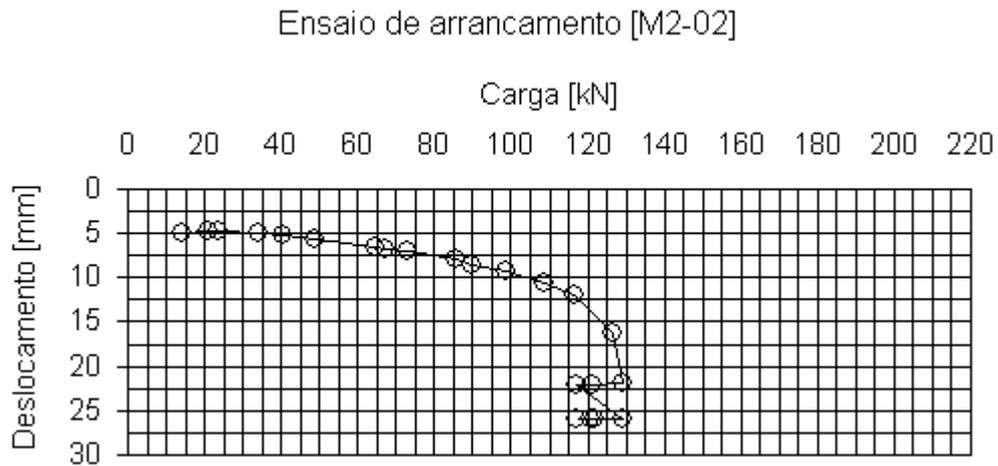


Figura 112 – Curva Carga x Deslocamento do ensaio de arrancamento M2-02

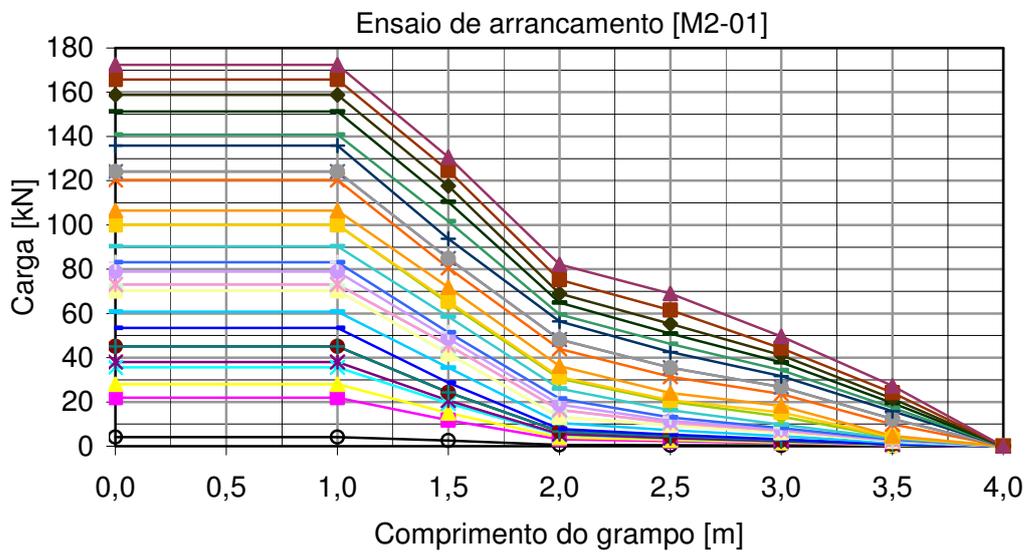


Figura 113 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M2-01

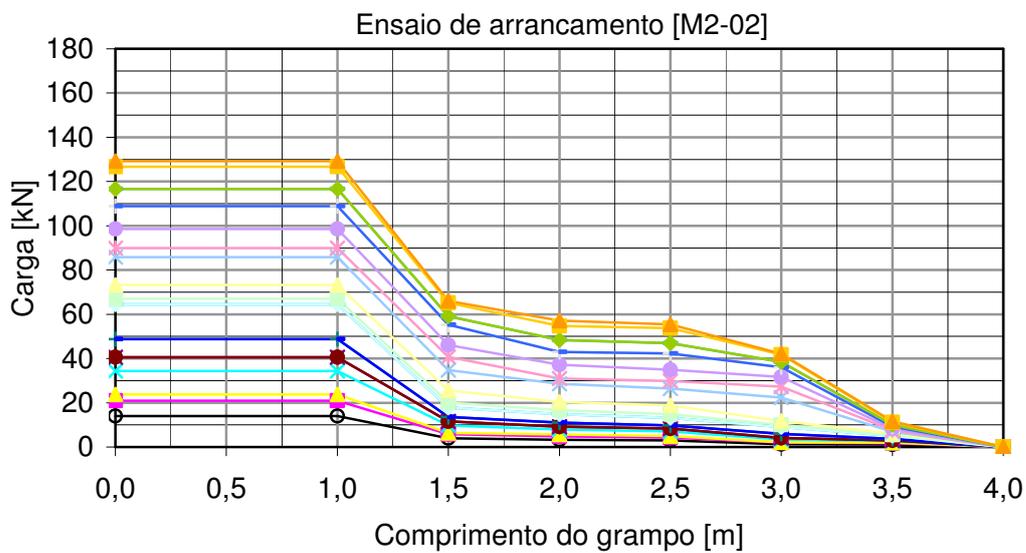


Figura 114 – Distribuição de carga ao longo do grampo do ensaio M2-02