

ASSUNTO/MOTIVO

PÁGINA

1 / 11

MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

LOCAL/DATA

Rio, 15/04/15

REDATOR

Carolina

U.O./TEL.

GEC.T / 7576

REFERÊNCIA

Encostas adjacentes ao sítio da CNAAA

CÓDIGO ARQUIVO

CAT-06072389

SUMÁRIO

Nº DE PÁGINAS

ANEXOS

(NOS RELATÓRIOS DE REUNIÃO INDICAR, INICIALMENTE, NO SUMÁRIO: LOCAL, DATA, COORDENADOR, PARTICIPANTES E DURAÇÃO)

11

2

Para ser providenciado
Para conhecimento
prazos

Este relatório apresenta uma análise da instrumentação instalada na Encosta Noroeste, no km 517 da BR-101, junto ao acesso ao sítio da CNAAA. Essa encosta é periodicamente monitorada pela GEC.T, com apoio de campo da DMCV.A (GIA.A).

ASSINATURAS

Carolina

AUTOR

[Handwritten signature]

VERIFICADO/APROVADO

REV.

DATA

PÁG.

VERIFICADO/
APROVADO

DISTRIBUIÇÃO (QUANDO FOR ENCAMINHADO SOMENTE O SUMÁRIO PARA CONHECIMENTO COLOCAR "PC")

Distribuição: DT (PC); DO (PC); SE.T(PC); GIA.A/GGA.G

Este relatório cancela e substitui o relatório RL-AG-0916.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. HISTÓRICO DO INÍCIO DA MOVIMENTAÇÃO DA ENCOSTA.....	3
3. AVALIAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS	5
4. COMPORTAMENTO DOS INCLINÔMETROS	7
5. COMPORTAMENTO DOS PIEZÔMETROS E DRENOS HORIZONTAIS.....	8
6. COMENTÁRIOS FINAIS	11

ANEXOS

Anexo 1 – Desenhos

Anexo 2 – Instrumentação de Campo

1. INTRODUÇÃO

O objetivo dessa instrumentação é acompanhar a movimentação da Encosta Noroeste, de forma a verificar se esta se encontra dentro dos limites aceitáveis e se existe uma tendência à estabilização dos deslocamentos.

A monitoração da Encosta Noroeste consiste na medição dos deslocamentos horizontais da massa de solo coluvionar, através de cinco inclinômetros (séries I e SL), e na variação do nível do lençol freático, através de onze piezômetros (7 simples e 4 duplos).

Este relatório contempla as leituras desde a instalação dos primeiros instrumentos, em outubro/1978, até dezembro/2014. A análise mais detalhada das leituras iniciais é apresentada no relatório BP-G-6560-040022.

Cabe salientar que a movimentação global da encosta é analisada desde outubro/1978, através da série de inclinômetros mais representativa (série SL-4).

A Encosta Noroeste possui uma estrutura de contenção composta por quatro cortinas atirantadas, construídas com o objetivo principal de conter uma área localizada dentro da massa de solo coluvionar/residual que se encontra em movimento. As quatro cortinas atirantadas são periodicamente monitoradas através de células de carga, para verificação de carga nos tirantes, e de pinos de deslocamentos, para análise dos deslocamentos entre os painéis. A análise dessa instrumentação é abordada no relatório das cortinas atirantadas do acesso a CNAAA (km 517 da BR-101), RL-AG-0999.

O histórico do início da movimentação da encosta e o método construtivo utilizado para a sua estabilização (construção de uma berma de equilíbrio) é apresentado no item 2 deste relatório. O item 3 apresenta uma avaliação dos deslocamentos horizontais da encosta, já os itens 4 e 5 analisam o comportamento dos inclinômetros, piezômetros e drenos horizontais instalados.

No Anexo 1 é apresentada a localização da Encosta NW e uma planta geral com a locação dos 11 piezômetros e os 4 inclinômetros e a área do deslizamento global com, aproximadamente, 450m de extensão e 180m de largura. Também são apresentados o perfil longitudinal do terreno (corte AA) com indicação dos quatro níveis das cortinas atirantadas e as superfícies de deslizamento global.

No Anexo 2 são apresentados os resultados da instrumentação de campo instalada.

2. HISTÓRICO DO INÍCIO DA MOVIMENTAÇÃO DA ENCOSTA

Em dezembro de 1978, foram instalados os primeiros piezômetros e inclinômetros para monitorar a movimentação da Encosta Noroeste devido a um deslizamento, de aproximadamente 900.000m^3 de massa de solo coluvionar e residual, provocado pela escavação de 26.000m^3 no pé da encosta para construção de um canal de drenagem.

No início da movimentação dessa encosta foram observados deslocamentos bruscos e acentuados. Entre janeiro/1979 e outubro/1980 registrou-se na BR-101 movimentos horizontais que variaram de 30 a 40cm, enquanto na estrada de acesso a CNAAA estes variaram entre 47 e 72cm e no pé do talude entre 84 e 87cm. Nos marcos

superficiais foram medidos deslocamentos verticais com recalques de 42cm e levantamentos de 5,5 a 11cm.

Para a estabilização da encosta, considerou-se como premissa de projeto que ela estava em processo de ruptura, ou seja, com parâmetros de resistência residual. O fator de segurança da encosta encontrava-se próximo da unidade. O projeto de estabilidade, realizado pela Promon em 1981 (relatório FR32-MS8-065–Projeto Executivo de Estabilização da Encosta Noroeste – Relatório Final), consistiu em um sistema de contenção constituído na execução de uma berma de equilíbrio com cerca de 256.000m³ e na instalação, a montante da BR-101, de 19 (dezenove) drenos horizontais profundos.

O projeto considerou dois cenários, um com o “nível d’água natural” (sem a utilização de drenos horizontais profundos) e obteve-se um coeficiente de segurança de 1,23. O segundo cenário adotava o “nível d’água rebaixado” (com a utilização de drenos horizontais profundos) e obteve-se um coeficiente de segurança 1,31. Sendo adotado o segundo cenário de projeto.

Do projeto proposto, cerca de 80% do volume da berma (205.000m³) foi executado no período entre novembro/1980 e maio/1981. Os 20% restantes não puderam ser executados devido à existência de uma carpintaria junto à extremidade sudoeste dessa berma.

Já com relação aos drenos, todos foram executados no período entre dezembro/1981 e maio/1982. Apesar de alguns deles apresentarem vazões de até 2000 litros/hora após os períodos chuvosos, não houve uma redução significativa da variação do nível do lençol freático.

A eficiência desses drenos é questionável, uma vez que é pequena a quantidade de drenos num trecho de 180m de largura. Soma-se ainda o fato de que somente 11 drenos, localizados na parte central da encosta, apresentaram vazões significativas imediatamente após a sua conclusão.

De acordo com relatório da Nuclen TP3/BP/6900/060.82, “os *piezômetros e indicadores de nível d’água, instalados em 1978 na Encosta Noroeste, que foram monitorados semanalmente pela Geotécnica, indicaram que no período de setembro/81 a julho/82 o nível d’água dentro da Encosta Noroeste praticamente não foi alterado, evidenciando a ineficácia da drenagem profunda executada. Com exceção do INA SL-7, que indicou um abaixamento de 2m no nível d’água a partir de março/82 devido à execução dos drenos horizontais, os demais indicadores de nível d’água não apresentaram alterações no período*”.

A monitoração das encostas foi suspensa em março de 1983 depois da implementação das medidas de estabilização da Encosta Noroeste, pois se constatou que a movimentação diminuiu significativamente em relação ao deslocamento anterior à contenção da encosta. Contudo, a partir de dezembro de 1987, os serviços de monitoração foram retomados através da instalação de novos inclinômetros, devido ao rompimento de alguns tirantes das cortinas atirantadas do acesso ao canteiro que estavam localizados dentro da cunha de deslizamento global.

3. AVALIAÇÃO DOS DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS

Ao longo da encosta, dentro da cunha de ruptura, foram instalados, em 1985, 7 (sete) inclinômetros. Os inclinômetros foram divididos em duas séries, a série I (I1, I2 e I3) localizada abaixo da BR-101 e a série SL (SL-2, SL4, SL11 e SL19) localizada acima da BR-101.

Atualmente, apenas 4 desses inclinômetros se encontram em funcionamento medindo o deslocamento horizontal da massa de solo coluvionar, a saber: I2C, SL4C, SL11B e SL19B. Nesse relatório é apresentado somente o resultado dos últimos inclinômetros das séries que se encontram em funcionamento.

O inclinômetro SL-2C, último da série SL-2, instalado em setembro de 1987, encontra-se rompido desde novembro/2002 quando atingiu um deslocamento de cerca de 242mm. O inclinômetro I-3A, segundo inclinômetro da série I-3 e também instalado em setembro de 1987, teve seu furo abandonado em junho/2005 para que não fosse perdido o equipamento de medição, já que o torpedo não avançava em toda a profundidade do tubo. Quando foi abandonado, esse inclinômetro apresentava um deslocamento de 154mm.

O equipamento de medição utilizado é composto por um torpedo modelo 50325-M e uma unidade leitora modelo Digitilt Indicator 50309-M, ambos da *Slope Indicator*. Os deslocamentos horizontais foram calculados em função da profundidade "corrigida", a qual corresponde, aproximadamente, à profundidade em relação ao nível do terreno.

Em dezembro de 2002, o torpedo começou a apresentar um comportamento errático e as medições foram suspensas temporariamente. O instrumento foi enviado para testes e, constatado um problema, encaminhado para manutenção. Tal problema foi solucionado e as medições foram retomadas em agosto de 2003.

Em setembro de 2007, foram realizadas a manutenção e a calibração do inclinômetro (torpedo) na empresa *Slope Indicator*.

Devido a problemas no torpedo, não foram realizadas leituras no período compreendido entre os meses de novembro/2010 e janeiro/2011.

Em janeiro/2013, o equipamento apresentou um defeito e a Eletronuclear adquiriu um novo torpedo (*Slope Indicator*, modelo 5032510), semelhante ao anterior. As leituras foram retomadas em novembro/2013, com o torpedo novo.

Em janeiro/2014, o torpedo novo começou a apresentar problemas e em outubro/2014 o equipamento foi enviado para manutenção na *Slope Indicator*. A partir desta data, as leituras foram realizadas com torpedo antigo.

3.1 Inclinômetros Série I

3.1.1 Inclinômetro I-2C

O inclinômetro I-2C (quarto inclinômetro da série I-2) foi instalado em setembro de 1987, próximo ao local onde se encontrava o inclinômetro I-2B (rompido em fevereiro de 1983 com deslocamento acima de 100mm), com direção principal (A+A') a 10° NW.

Os Gráficos 1 e 2 (Anexo 2) apresentam as curvas de deslocamento ao longo da profundidade do furo do inclinômetro I-2C para a direção principal (A+A⁻) e para a direção secundária (B+B⁻), respectivamente, para as 235 (duzentos e trinta e cinco) leituras realizadas no período de 04/03/1988 a 19/11/2014.

Pode-se observar no Gráfico 3 (Anexo 2) que o deslocamento resultante é de 204mm, ou seja, cerca de 2,3 vezes superior ao valor do deslocamento principal A+A⁻ (90mm). A direção predominante de deslizamento de 74° NW, portanto mais próximo do eixo secundário B+B⁻.

A superfície de deslizamento encontra-se a uma profundidade de 21,5m em relação à superfície do terreno, em uma camada de solo residual de silte muito arenoso, muito compacto (resistência à penetração média – NSPT – de 44 golpes/15cm).

3.2 Inclinômetros Série SL

3.2.1 Inclinômetro SL-4C

O inclinômetro SL-4C (quarto inclinômetro da série SL-4) foi instalado em janeiro de 1995, próximo do local onde estava instalado o inclinômetro SL-4B (rompido em maio de 1994 com deslocamento superior a 131mm), com direção principal (A+A⁻) a 0°, isto é, coincidente com o eixo NS.

Os Gráficos 4 e 5 apresentam as curvas de deslocamento ao longo da profundidade do furo do inclinômetro SL-4C para a direção principal (A+A⁻) e direção secundária (B+B⁻), respectivamente, para as 192 (cento e noventa e duas) leituras realizadas no período de 20/02/1995 a 13/11/2014.

Não foram realizadas as leituras no período de setembro/1997 a abril/1998, pois o torpedo não conseguia ultrapassar a profundidade de 8m devido à presença de um algum objeto que foi jogado no interior do tubo. Após a remoção do mesmo, em maio/1998, as leituras foram reiniciadas.

O deslocamento resultante (Gráfico 6 – Anexo 2) do inclinômetro SL-4C (229mm) é semelhante ao deslocamento principal A+A⁻ (229mm), que corresponde à direção 4° NW.

A superfície de deslizamento encontra-se a uma profundidade de 22,5m em relação ao nível do terreno, em uma camada de solo residual muito compacto (resistência à penetração média – NSPT – de 45 golpes/30 cm).

3.2.2 Inclinômetro SL-11B

O inclinômetro SL-11B (terceiro inclinômetro da série SL-11) foi instalado em setembro de 1987, próximo do local onde estava instalado o inclinômetro SL-11A (rompido em fevereiro de 1983 com deslocamento superior a 49mm), com direção principal (A+A⁻) a 30° NE.

Os Gráficos 7 e 8 (Anexo 2) apresentam as curvas de deslocamento ao longo da profundidade do furo do inclinômetro SL-11B para a direção principal (A+A⁻) e direção secundária (B+B⁻), respectivamente, para as 232 (duzentos e trinta e duas) leituras realizadas no período de 03/12/1987 a 13/11/2014.

Pode-se observar no Gráfico 9 (Anexo 2) que o deslocamento resultante é de 148mm, ou seja, 1,04 vezes superior ao valor do deslocamento B^+B^- (141mm). A direção de deslizamento é 43°NW.

A superfície de deslizamento encontra-se a uma profundidade de 9,5m em relação à superfície do terreno, em uma camada de solo residual de argila silto-arenosa com pedregulhos, vermelha, consistência dura (resistência à penetração média - NSPT - 46 golpes/30cm).

3.2.3 Inclinômetro SL-19B

O inclinômetro SL-19B (terceiro inclinômetro da série SL-19) foi instalado em setembro de 1987, próximo do local onde estava instalado o inclinômetro SL-19A (rompido em fevereiro de 1983 com deslocamento superior a 170 mm), com direção principal (A^+A^-) a 0°, isto é, coincidente com o eixo NS.

Os Gráficos 10 e 11 (Anexo 2) apresentam as curvas de deslocamento ao longo da profundidade do furo do inclinômetro SL-19B para a direção principal (A^+A^-) e direção secundária (B^+B^-), respectivamente, para as 228 (duzentos e vinte e oito) leituras realizadas no período de 03/12/1987 a 13/11/2014.

Pode-se observar no Gráfico 12 (Anexo 2) que o deslocamento resultante (255mm) é semelhante ao deslocamento principal A^+A^- (254mm), com direção 6° NW.

A superfície de deslizamento é encontrada a 4m de profundidade em relação à superfície do terreno, em uma camada de solo residual de areia média e grossa siltosa com pedregulhos alterados, cinza claro. Verifica-se que a superfície é bastante superficial quando comparada com as superfícies observadas nos demais inclinômetros.

4. **COMPORTAMENTO DOS INCLINÔMETROS**

A locação dos inclinômetros da Encosta Noroeste, bem como a resultante do deslocamento (em mm) nas profundidades da superfície de deslizamento e o ângulo que esta faz com o eixo principal (A^+A^-) de cada inclinômetro (último da série) são apresentados no Desenho 3 (Anexo 1), além de um quadro com as velocidades medidas desde a instalação desses inclinômetros até 19/11/2014.

Os resultados do monitoramento (direção, intensidade e velocidade dos deslocamentos) para cada inclinômetro indicam que a movimentação da massa de solo coluvionar, que apresenta um comportamento viscoplástico, não é uniforme e é extremamente complexa, com direções variáveis e deslocamento maior na parte central da massa.

O deslocamento na parte central da massa de solo coluvionar, onde a profundidade de deslizamento atinge cerca de 20m, é praticamente constante com a profundidade. Já na extremidade da cunha de deslizamento, próximo ao inclinômetro SL-19B (Gráfico 12 – Anexo 2) que apresenta a superfície de ruptura a uma profundidade menor (inferior a 5m), observa-se que os deslocamentos aumentam muito à medida que se aproxima da superfície do terreno.

No Gráfico 13 (série do inclinômetro SL-4) observa-se que a massa de solo coluvionar próxima a este inclinômetro sofreu um deslocamento total de 1298mm de janeiro de 1979 a novembro de 2014 (período de trinta e cinco anos), sendo que a maior movimentação, cerca de 700mm ocorreu entre janeiro de 1979 a março de 1982 (período de três anos), antes da estabilização da encosta.

Neste Gráfico, podemos observar que antes da execução da berma de equilíbrio a encosta Noroeste registrou no inclinômetro SL-4 uma velocidade média de 250mm/ano (período de janeiro/1979 a janeiro/1981) classificada pelo critério de movimentação de massas (Varnes) como um movimento de massa lento.

No período chuvoso de janeiro de 1980 foi registrada (Gráfico 13) a maior velocidade de deformação (1331mm/ano). Esse valor deve-se, principalmente, à grande infiltração da água no subsolo através das fendas de tração provenientes do início da movimentação.

Após a conclusão da berma de equilíbrio, em abril de 1982, a velocidade de deslocamento diminuiu gradativamente e esta redução é observada até os dias atuais.

O deslocamento registrado no inclinômetro SL-4C (Gráfico 13), no período de janeiro/1995 a novembro/2014 foi de 229mm, com velocidade média de deslocamento de cerca de 12mm/ano. Devido a esta redução significativa da velocidade, o movimento é classificado como extremamente lento pela escala de Varnes.

O deslocamento medido no trimestre chuvoso de novembro/2009 a janeiro de 2010 foi de cerca de 2mm para o inclinômetro SL-4C na região central da superfície de ruptura. Neste período, o deslocamento máximo foi registrado no inclinômetro I-2C, 7,6mm.

Cabe salientar que mesmo com a intensa precipitação de janeiro/2010 (97mm em 8h), não ocorreram deslocamentos significativos no processo de movimentação da Encosta Noroeste.

Após as chuvas de abril/2011 (414mm em 72h), o maior deslocamento foi registrado no inclinômetro SL-19B (6,2mm/mês). Cabe ressaltar, que não ocorreram deslocamentos significativos no processo de movimentação da Encosta Noroeste.

Como complemento ao estudo, apresenta-se no Gráfico 14 a precipitação pluviométrica da região desde janeiro/1979 até dezembro/2014, juntamente com as precipitações acumuladas por ano. Verifica-se que a máxima precipitação anual registrada foi de 3.135mm em 2008 e a mínima de 862mm em 2014, sendo a média anual, até dezembro/2014, de 2.118mm.

5. COMPORTAMENTO DOS PIEZÔMETROS E DRENOS HORIZONTAIS

As variações do nível d'água em relação ao nível do terreno para cada um dos 11 piezômetros (7 simples e 4 duplos) instalados na Encosta Noroeste, desde maio/1992 a dezembro/2014, são apresentadas nos Gráficos 15 a 17 (Anexo 2).

Os piezômetros duplos superiores (PD-I4-S, PD-SL4-S PD-SL19-S) e piezômetro simples NA-1 foram instalados no contato entre os solos coluvionar e residual. Já os piezômetros simples (PS-I1, PS-I2, PS-I3, PS-SL2, PS-SL3 e PS-SL11) e os

piezômetros duplos inferiores (PD-I4-I, PD-SL4-I, e PD-SL19-I) foram instalados na base do solo residual jovem, próximo ao contato da rocha alterada.

O piezômetro duplo PD-I4-I e PD-I4-S foi atingido por um guindaste no dia 07/04/10, portanto a última leitura realizada neste instrumento foi em 18/03/2010. Desta forma, atualmente existem 10 piezômetros em funcionamento na Encosta Noroeste.

Analisando os Gráficos 15 a 17 (Anexo 2), observa-se que ocorrem pequenas variações no nível do lençol freático, exceto nos períodos de chuva intensa.

Os piezômetros instalados no contato entre o solo coluvionar e o solo residual (Gráfico 15) indicaram uma faixa de variação do nível d'água de 2,63m a 4,53m, enquanto que os instalados no contato entre o solo residual e a rocha alterada (Gráficos 16 e 17) apresentaram uma faixa de variação do nível d'água entre 1,63m e 9,51m.

O nível d'água médio medido no piezômetro PD-SL4-I, junto à BR-101, apresentou-se cerca de 2,99m abaixo do nível d'água médio medido no piezômetro PD-SL4-S. Esta variação indica um fluxo descendente.

No piezômetro PD-I4-I, abaixo da BR-101, o nível d'água médio medido estava cerca de 0,76m abaixo do PD-I4-S. Cabe ressaltar, que nestes piezômetros as leituras se referem ao período de maio/1992 a março/2010, pois estes instrumentos foram danificados em abril/2010.

Já nos piezômetros PD-SL19-I e PD-SL19-S, à montante da BR-101, os níveis d'água medidos possuem uma diferença de cerca de 0,24m.

No piezômetro PD-SL-19-I, situado aproximadamente na elevação +88m, apresentou artesianismo no período chuvoso (novembro a abril) desde 1992. O artesianismo foi observado em outros períodos e já atingiu 1,54m acima do nível do terreno (15/02/05, 08/01/10, 21/01/11 e 02/04/13), conforme Gráfico 17 e observações de campo. Cabe ressaltar que esse valor corresponde ao comprimento do tubo do piezômetro acima do nível do terreno, ou seja, o tubo estava cheio.

A existência de artesianismo já tinha sido observada no piezômetro PS-SL8 (atualmente desativado), localizado na elevação +105m, nas primeiras investigações geotécnicas efetuadas em 1979 e 1980. Outros piezômetros também apresentam artesianismo, a saber: PS-SL-2, PS-SL-3, PD-I4-S, PD-I4-I e PD-SL19-S.

Observou-se no campo também que os drenos horizontais profundos localizados à montante da BR-101, executados em 1979, estão colmatados e praticamente não contribuem para o rebaixamento do lençol freático.

A ineficiência atual dos drenos horizontais profundos pode ser confirmada pelo nível d'água máximo registrado no PD-SL4, que está acima do nível d'água rebaixado registrado após a instalação dos drenos.

O Desenho 4 apresenta a seção I. Esta seção é a mais representativa das análises estáticas de estabilidade realizadas pela Promon (Relatório FR32-MS8-065, "Projeto executivo de estabilização da Encosta Noroeste"), pois está localizada na parte central da área de deslizamento.

Nesse relatório, a Promon considera que para a situação do “nível d’água natural”, o coeficiente de segurança de estabilidade da Encosta Noroeste é de 1,23 e para a situação do “nível d’água rebaixado” (com utilização de drenos horizontais profundos) esse coeficiente é de 1,31.

No Desenho 4 apresenta-se também o máximo nível d’água registrado no período entre maio/1992 e dezembro/2014. Com base neste desenho, pode-se observar o disposto a seguir.

No piezômetro PS-I2, que está localizado à jusante da BR-101, o nível d’água máximo registrado (janeiro/2013) está a 10,87m abaixo do nível do terreno, coincidente com o “nível d’água natural” (sem a utilização de drenos profundos) considerado no cenário 1 das análises de estabilidade realizadas pela Promon. Nesse trecho, a Promon considera o “nível d’água natural” igual ao “nível d’água rebaixado”.

No piezômetro PD-SL4-S (contato entre solo coluvionar e solo residual), que está localizado à montante da BR-101, o nível d’água máximo registrado (maio/2004) está a 4,99m abaixo do nível do terreno, cerca de 2m abaixo do “nível d’água natural” e cerca de 5m acima do “nível d’água rebaixado”.

No piezômetro PD-SL19-I (contato entre solo residual e a rocha alterada), que está localizado acima da BR-101, o nível d’água máximo registrado está 1,54m acima do nível do terreno. Porém, esse valor não influencia significativamente na estabilidade da encosta uma vez que essa área está situada no final da cunha de deslizamento considerada pela Promon.

As leituras de todos os piezômetros realizadas após as chuvas intensas de janeiro/2010 registraram uma elevação média de 0,33m nos piezômetros instalados no contato entre o solo coluvionar e o solo residual e 0,38m nos piezômetros contato entre o solo residual e a rocha alterada. A maior variação do nível d’água foi observada no piezômetro PD-SL19-I, localizado no contato solo residual-rocha alterada, 1,19m.

Apesar da ocorrência de variação de nível d’água, as análises realizadas indicam que os valores medidos após a precipitação de janeiro/2010 apresentam-se inferiores ou semelhantes aos níveis d’água máximos já observados em outra época em cada piezômetro. Portanto, as chuvas de janeiro/2010 não provocaram uma alteração no nível d’água que se configurasse um risco para a estabilidade da Encosta Noroeste.

De forma semelhante, a chuva de abril/2011 também não provocou alteração significativa no nível d’água.

Em ambas as ocorrências de precipitação intensa (janeiro/2010 e abril/2011) observou-se artesianismo nos piezômetros PS-SL-2, PS-SL-3 e PD-SL19-I e PD-SL19-S. Contudo, conforme citado anteriormente, os valores medidos após essas precipitações são semelhantes aos níveis d’água máximos já registrados em outra época.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

Com base na instrumentação de campo instalada na Encosta Noroeste, pode-se concluir que essa encosta encontra-se em um processo de movimentação, tendo-se obtido os registros abaixo apresentados para o período de agosto/2003 a dezembro/2014.

A maior velocidade mensal (velocidade pontual) na profundidade da superfície de ruptura dentre todos os inclinômetros é de 22mm/mês, registrada pelo inclinômetro SL-19B no período entre 30/11/2004 e 16/12/2004.

De acordo com a escala de Varnes, essa movimentação, apesar de não apresentar tendência à estabilização, é considerada extremamente lenta e em processo de "creep", não apresentando perigo para a rodovia BR-101 ou para o acesso a CNAAA.

Cabe salientar que a velocidade máxima de deslocamento registrada, da ordem de 22mm/mês (inclinômetro SL-19B), é bem inferior à velocidade de 111mm/mês (1331mm/ano) medida no inclinômetro SL-4C antes da execução da berma, quando a encosta estava próxima da ruptura global (Gráfico 13).

Para valores de deslocamento horizontal pequenos, o cálculo da velocidade de deslocamento pontual tem se apresentado errático perdendo, portanto, sua representatividade. Além disso, é nossa opinião que a análise do deslocamento ao longo do tempo é muito mais importante do que a interpretação do coeficiente de segurança.

A segurança da Encosta Noroeste está garantida, pois não ocorreu um aumento significativo da velocidade de deslocamento. Este comportamento demonstra, aparentemente, uma tendência à estabilização da movimentação dessa encosta.

Cabe ressaltar que o nível d'água máximo na parte central da cunha de deslizamento está abaixo do "nível d'água natural" considerado no projeto de estabilização da Encosta Noroeste elaborado pela Promon.

A partir das observações anteriores em relação ao nível d'água máximo registrado, pode-se considerar que o coeficiente de segurança da Encosta Noroeste está entre os valores 1,23 e 1,31. O coeficiente de segurança é considerado adequado tendo em vista que houve um aumento de cerca de 23% em seu valor antes da execução das obras de estabilização ($FS \approx 1,00$) e que não há indícios de deslocamento da berma de equilíbrio.

A análise dos deslocamentos (inclinômetros) e da variação do nível d'água (piezômetros) não indicou ainda a necessidade da conclusão dos 20% da berma de equilíbrio ou da substituição dos drenos horizontais profundos existentes. Porém, a monitoração da Encosta Noroeste não será interrompida até que seja verificada uma tendência à estabilização bem definida.

DESENHOS

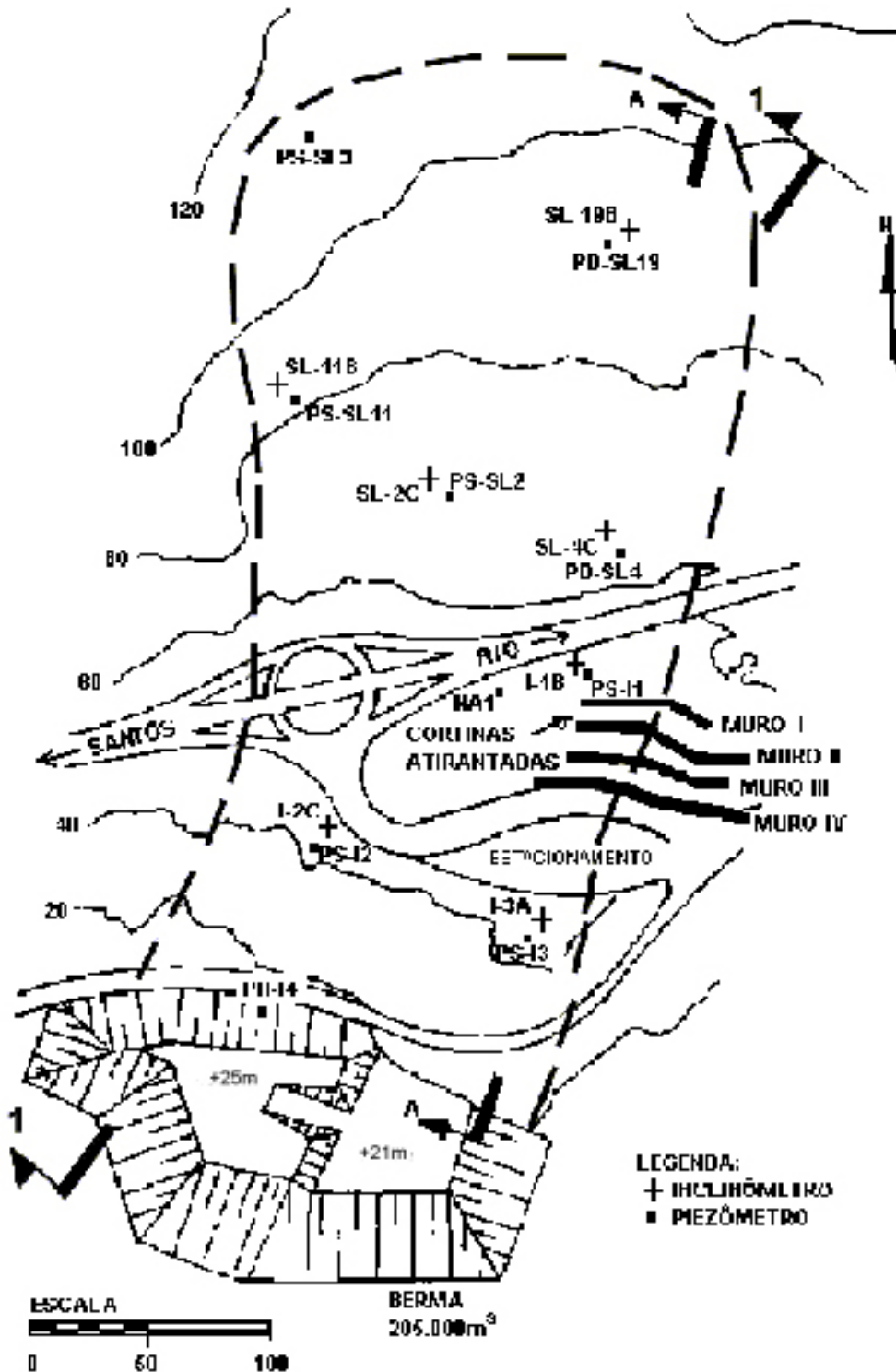
DESENHO 1 - Planta Geral da Encosta Noroeste

DESENHO 2 - Encosta Noroeste – Perfil longitudinal (corte AA)

DESENHO 3 - Encosta Noroeste – Planta de locação dos inclinômetros com suas velocidades médias anuais e deslocamentos totais

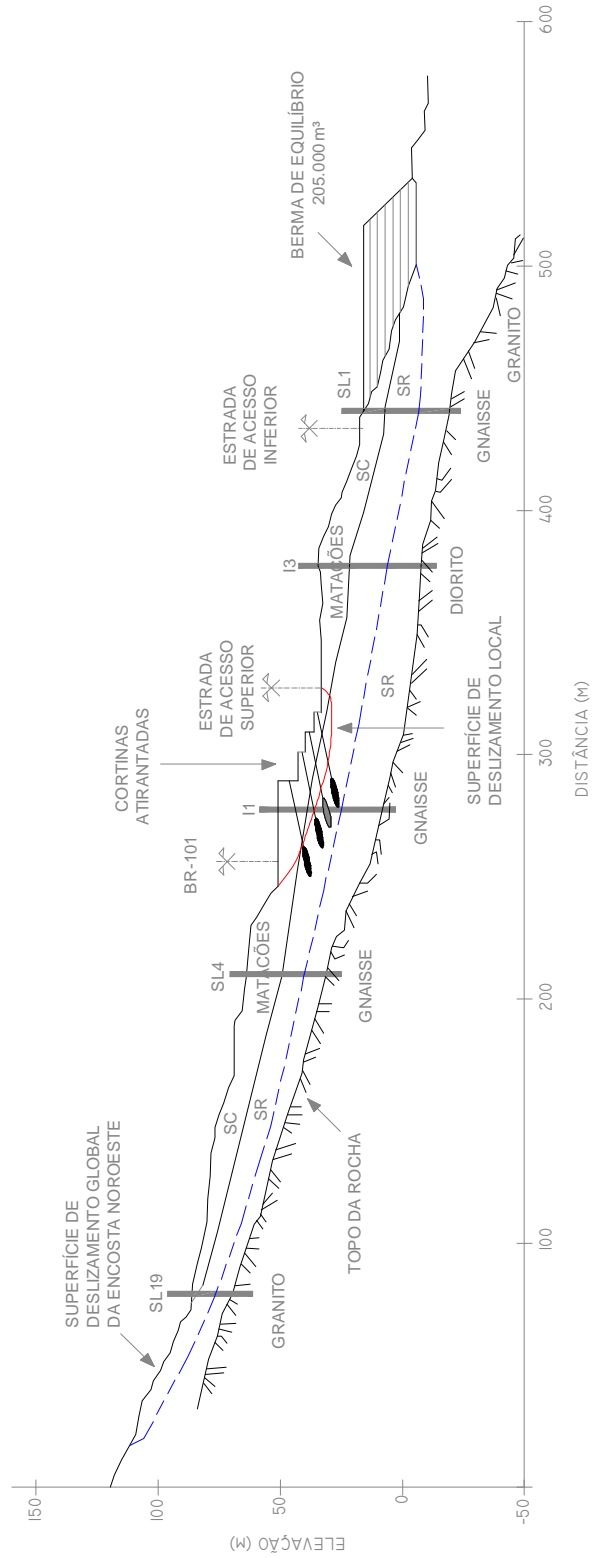
DESENHO 4 - Seção I das análises estáticas de estabilidade da Promon

RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE



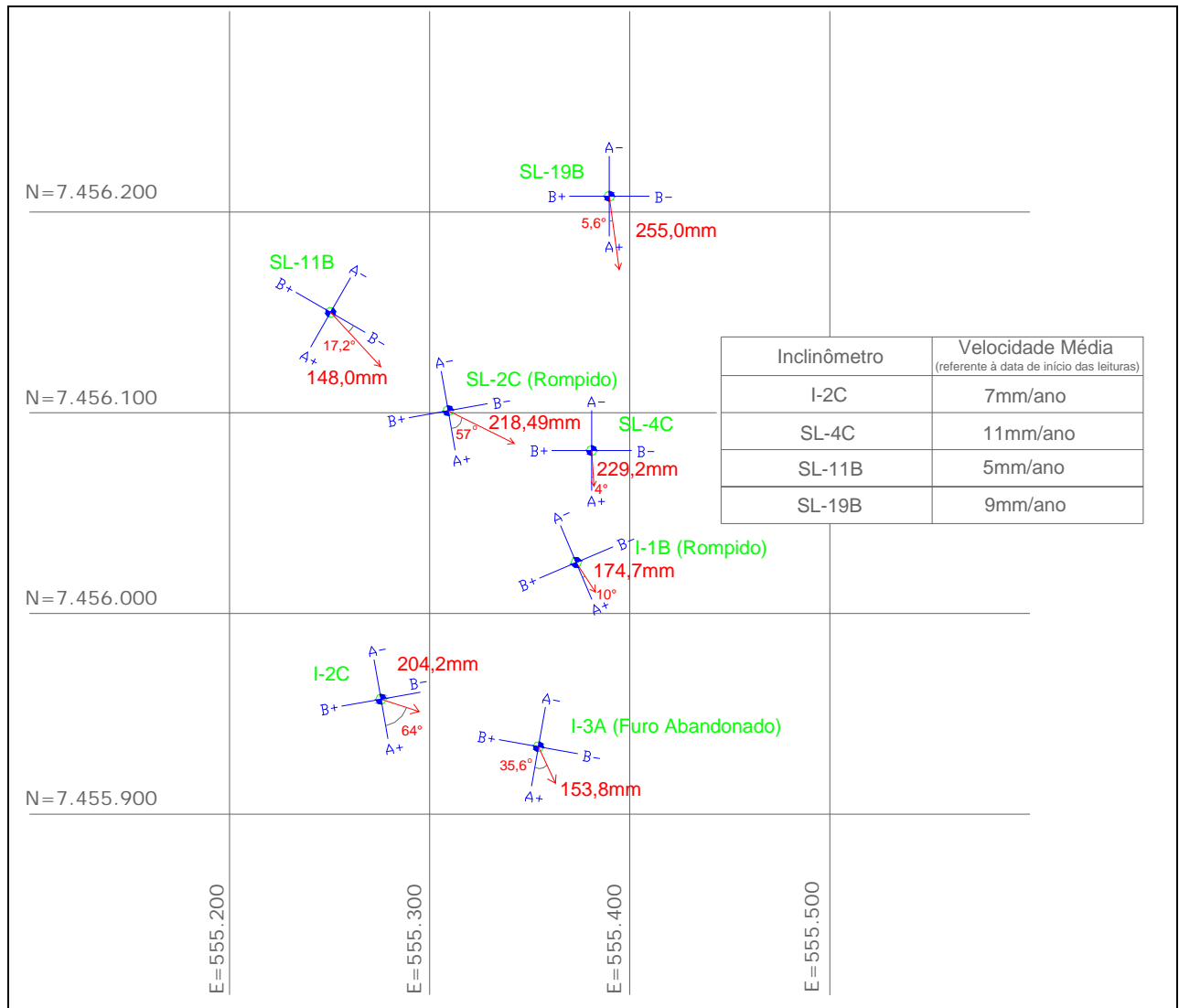
DESENHO 1

Planta Geral da Encosta Noroeste.



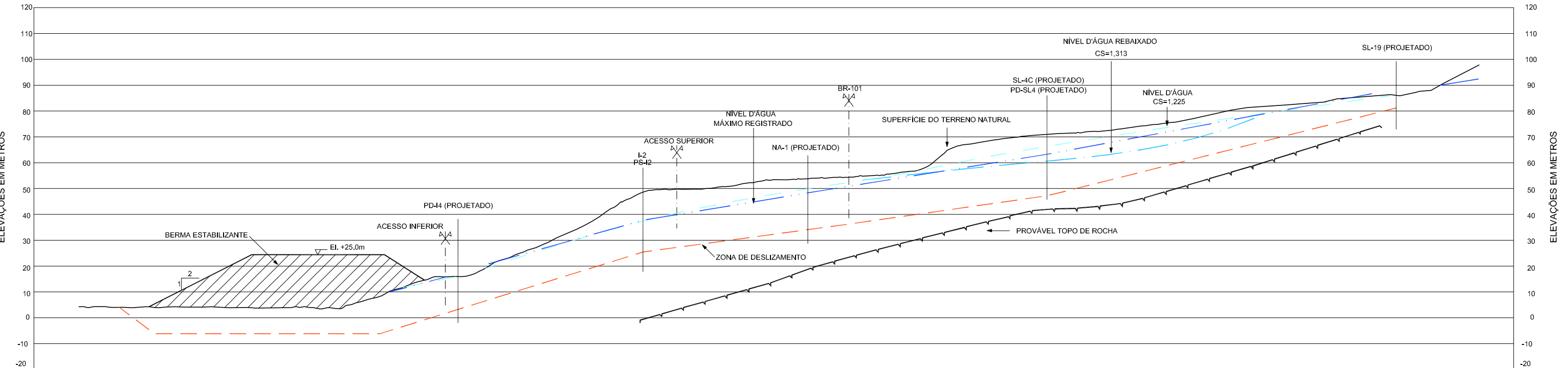
DESENHO 2

Encosta Noroeste – Perfil longitudinal (corte AA).



DESENHO 3

Encosta Noroeste - Planta de locação dos inclinômetros com suas velocidades médias anuais e deslocamentos totais.



ESCALA: 1:1000

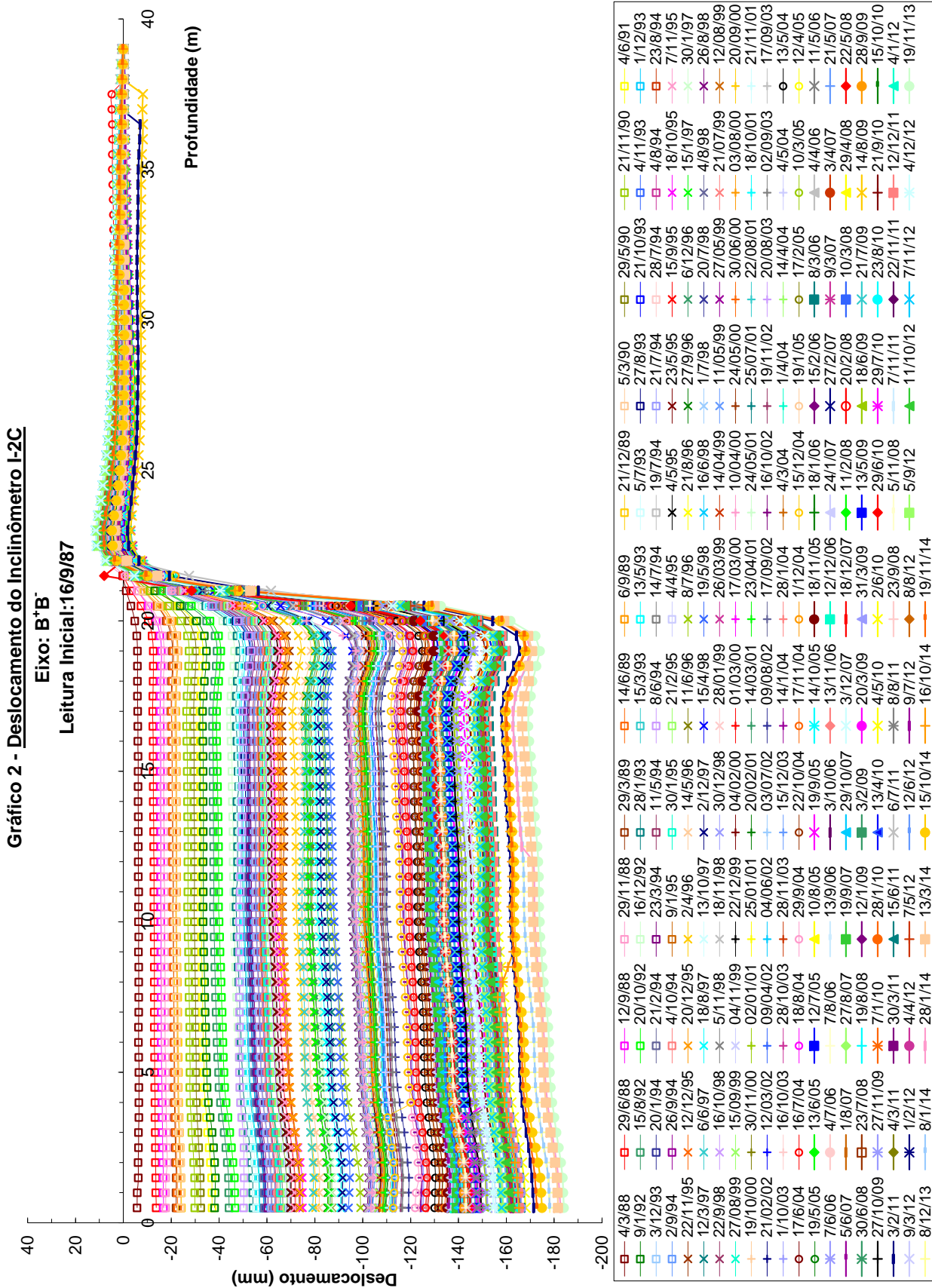
DESENHO 4 - SEÇÃO I DAS ANÁLISES ESTADÍSTICAS DE ESTABILIDADE DA PROMON

INSTRUMENTAÇÃO DE CAMPO

- Gráfico 1** - Deslocamento do Inclinômetro I-2C (Eixo A⁺A⁻)
- Gráfico 2** - Deslocamento do Inclinômetro I-2C (Eixo B⁺B⁻)
- Gráfico 3** - Deslocamento do Inclinômetro I-2C (Resultante)
- Gráfico 4** - Deslocamento do Inclinômetro SL-4C (Eixo A⁺A⁻)
- Gráfico 5** - Deslocamento do Inclinômetro SL-4C (Eixo B⁺B⁻)
- Gráfico 6** - Deslocamento do Inclinômetro SL-4C (Resultante)
- Gráfico 7** - Deslocamento do Inclinômetro SL-11B(Eixo A⁺A⁻)
- Gráfico 8** - Deslocamento do Inclinômetro SL-11B (Eixo B⁺B⁻)
- Gráfico 9** - Deslocamento do Inclinômetro SL-11B (Resultante)
- Gráfico 10** - Deslocamento do Inclinômetro SL-19B (Eixo A⁺A⁻)
- Gráfico 11** - Deslocamento do Inclinômetro SL-19B (Eixo B⁺B⁻)
- Gráfico 12** - Deslocamento do Inclinômetro SL-19B (Resultante)
- Gráfico 13** - Velocidade de Deslocamento dos Inclinômetros da série SL-4
- Gráfico 14** - Precipitação Pluviométrica nas Encostas de Itaorna
- Gráfico 15** - Piezômetros instalados no contato entre o solo coluvionar e o solo residual
- Gráfico 16** - Piezômetros instalados no contato entre o solo residual e a rocha alterada
- Gráfico 17** - Piezômetros instalados no contato entre o solo residual e a rocha alterada

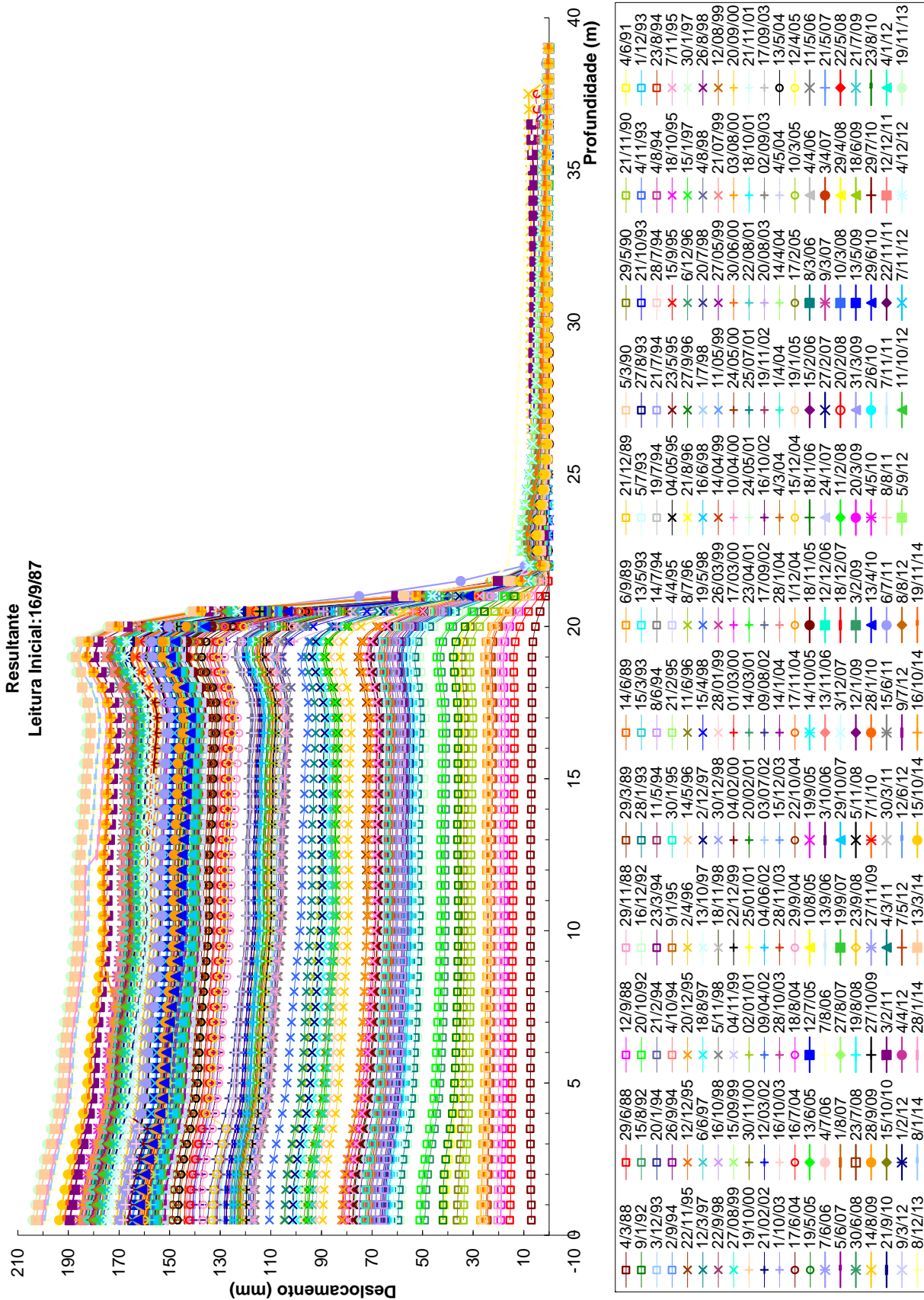
RELATÓRIO

MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE



RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

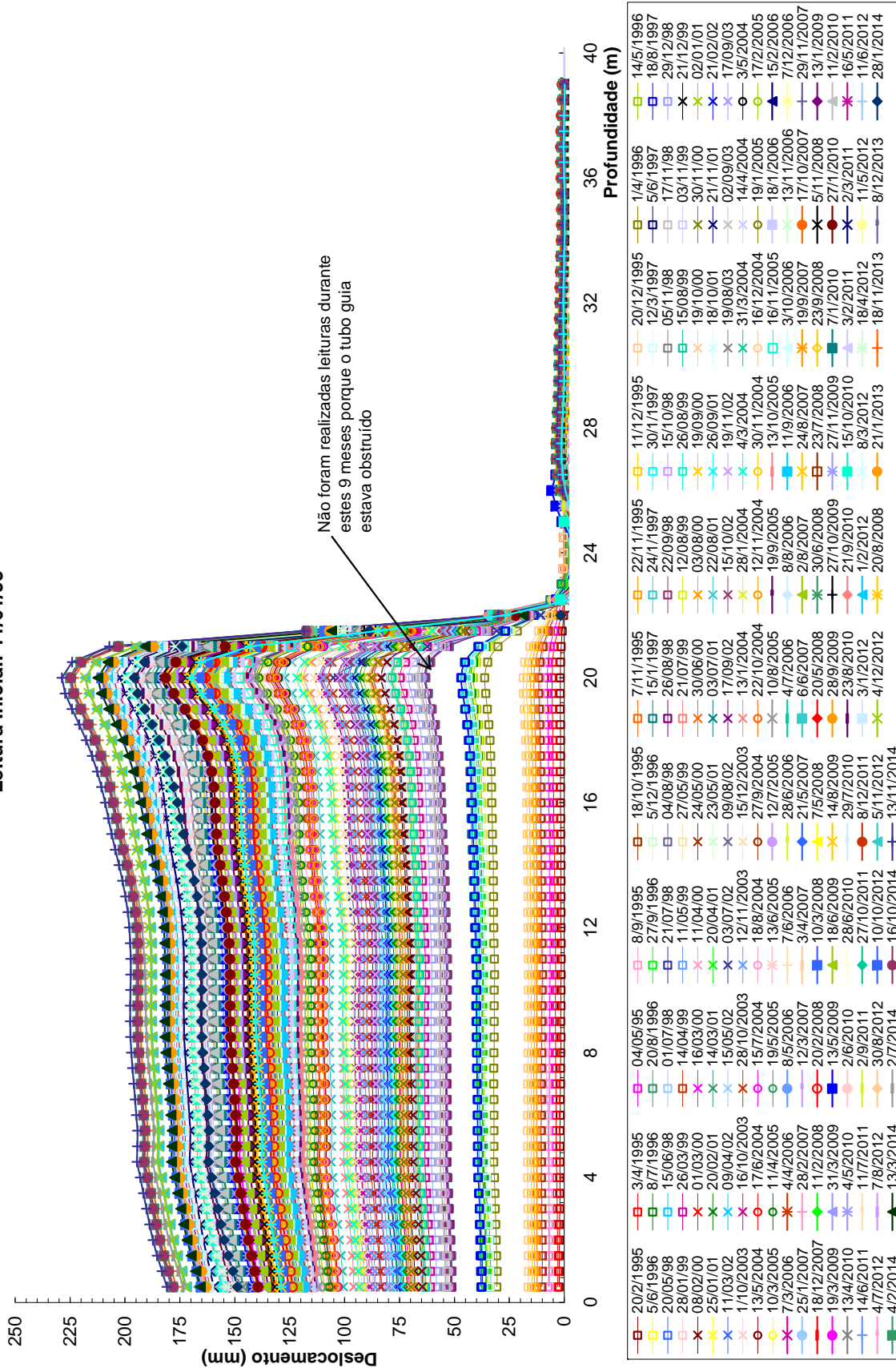
Gráfico 3 - Deslocamento do Inclínômetro I-2C



RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

Gráfico 4 - Deslocamento do Inclinômetro SL-4C

Eixo: A-A
Leitura Inicial: 1/01/95

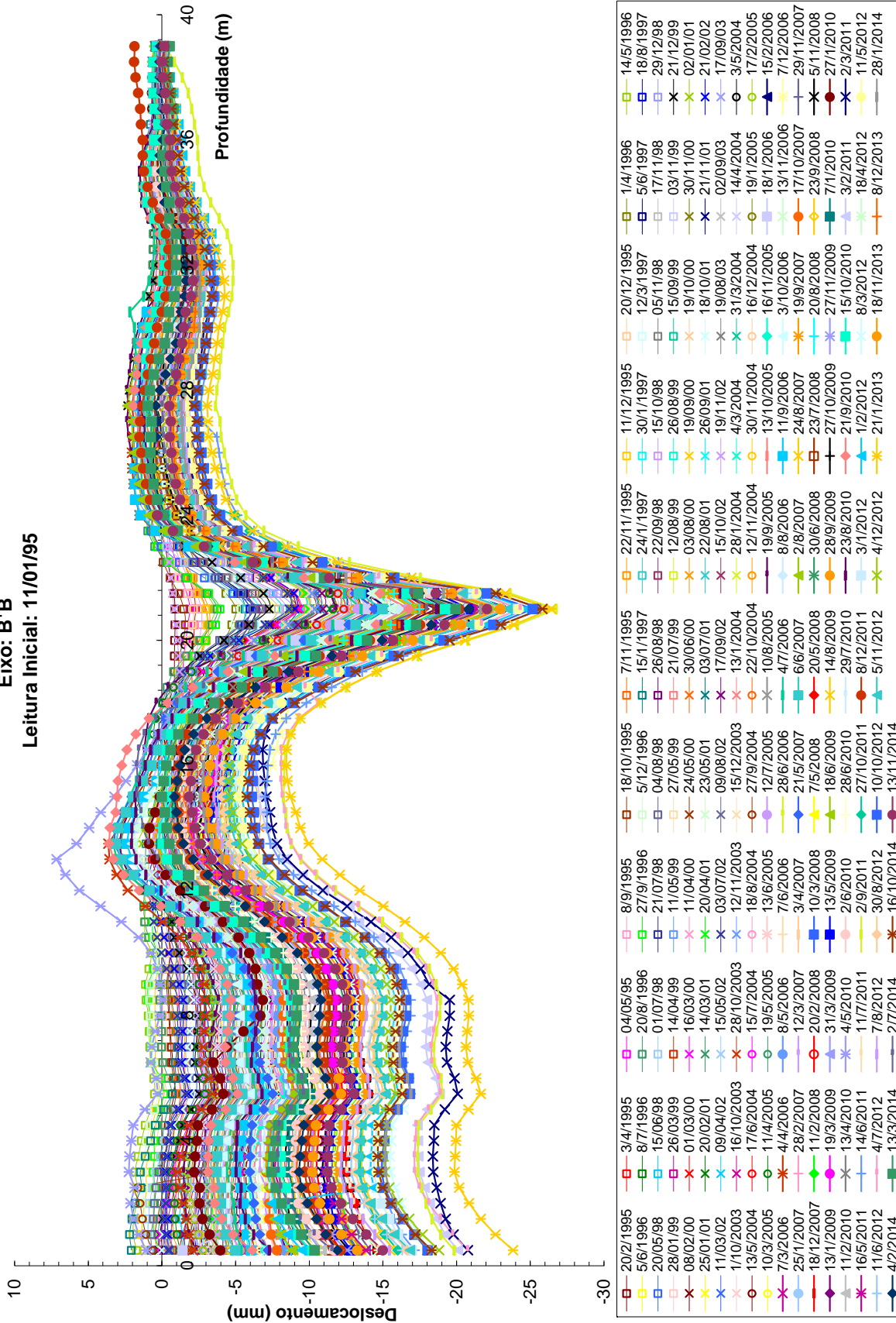


RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

Gráfico 5 - Deslocamento do Inclinômetro SL-4C

Eixo: B^TB

Leitura Inicial: 11/01/95

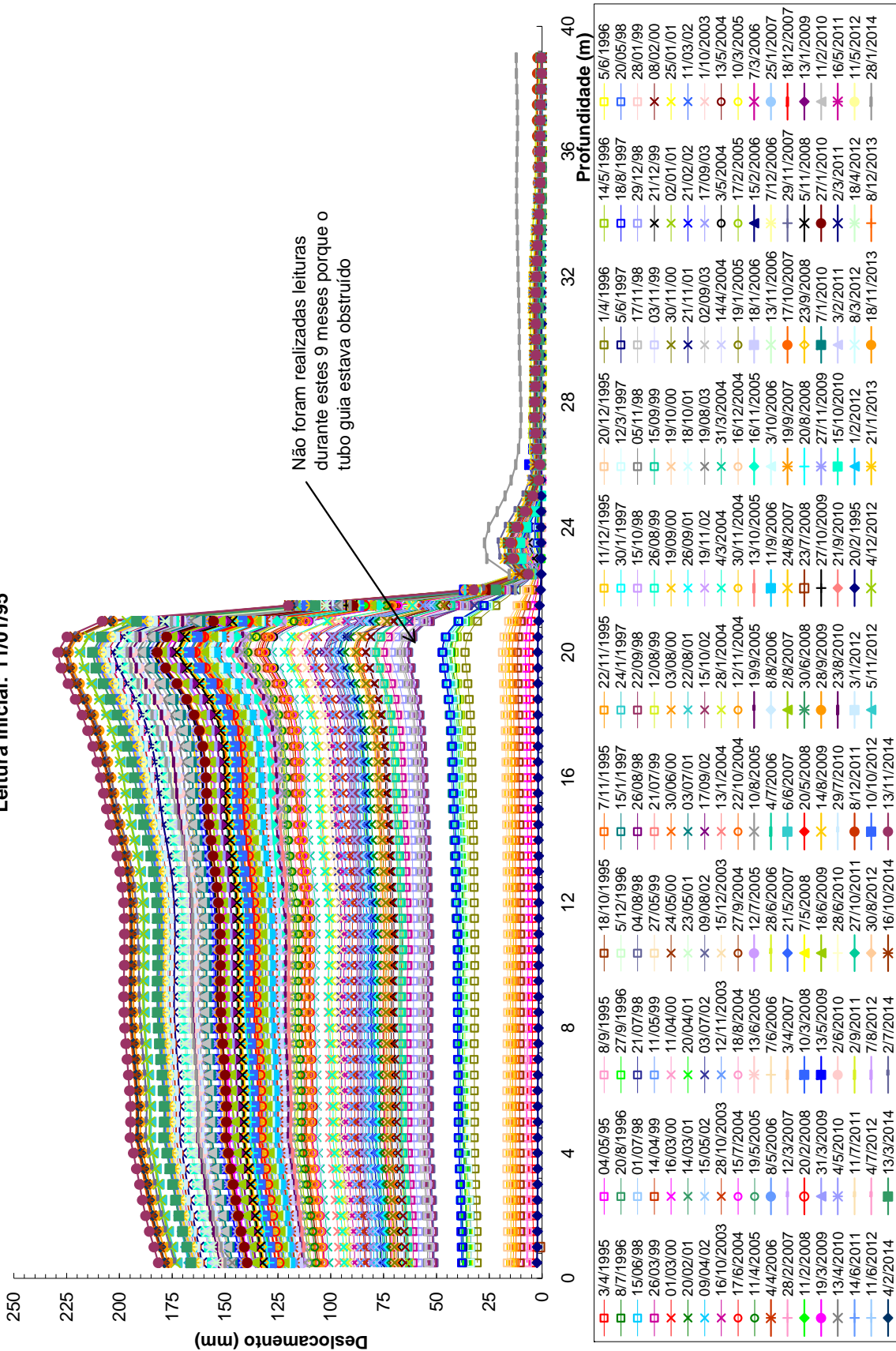


RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

Gráfico 6 - Deslocamento do Inclínômetro SL-4C

Resultante

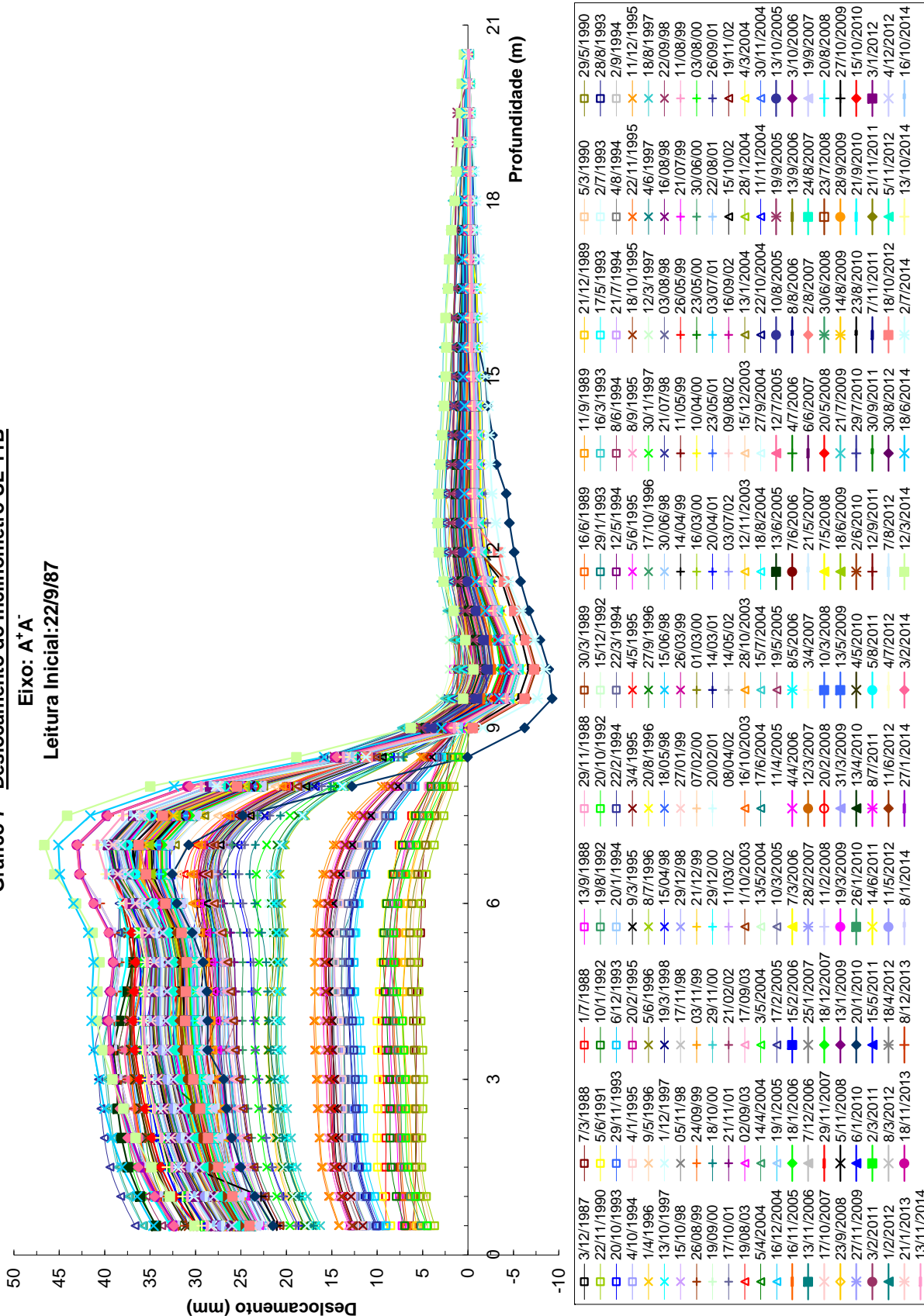
Leitura Inicial: 11/01/95



**RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE**

Gráfico 7 - Deslocamento do Inclinômetro SL-11B

Eixo: A+A
Leitura Inicial:22/9/87



RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

Gráfico 8 - Deslocamento do Inclínômetro SL-11B

Eixo: B+B'

Leitura Inicial: 22/9/87

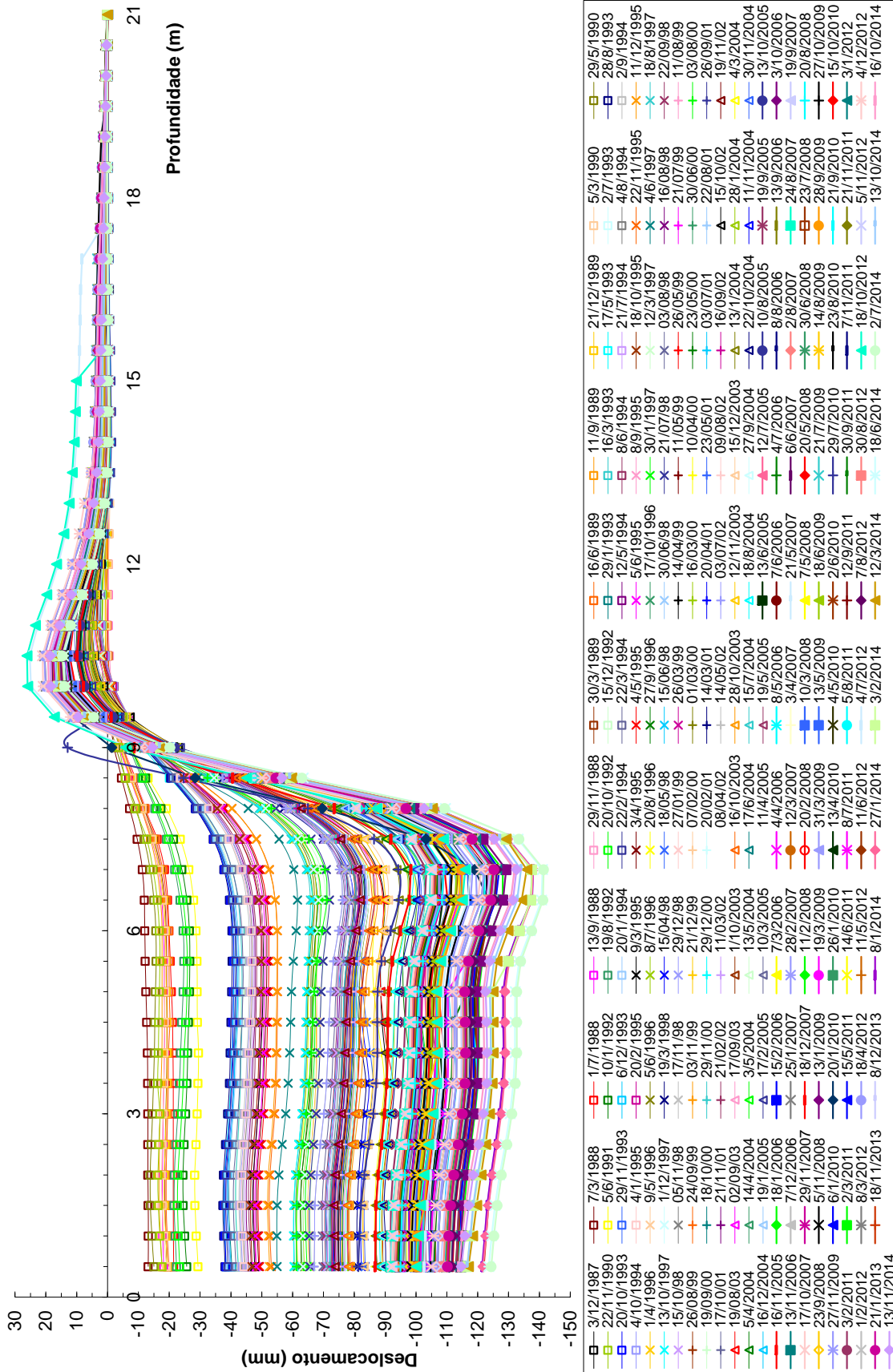
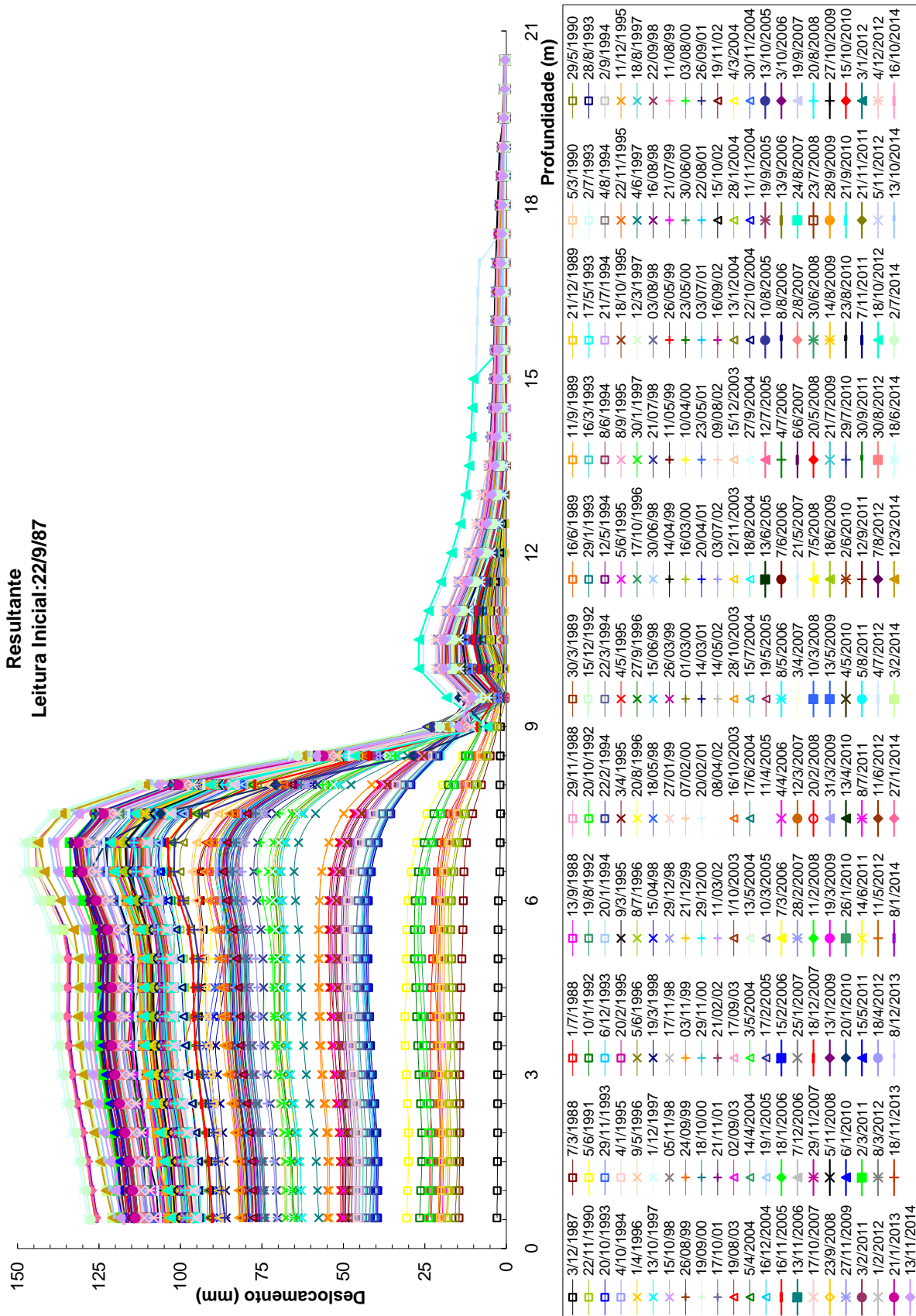


Gráfico 9 - Deslocamento do Inclínômetro SL-11B



RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

Gráfico 10 - Deslocamento do Inclínômetro SL-19B

Eixo: A*A
Leitura Inicial: 15/9/87

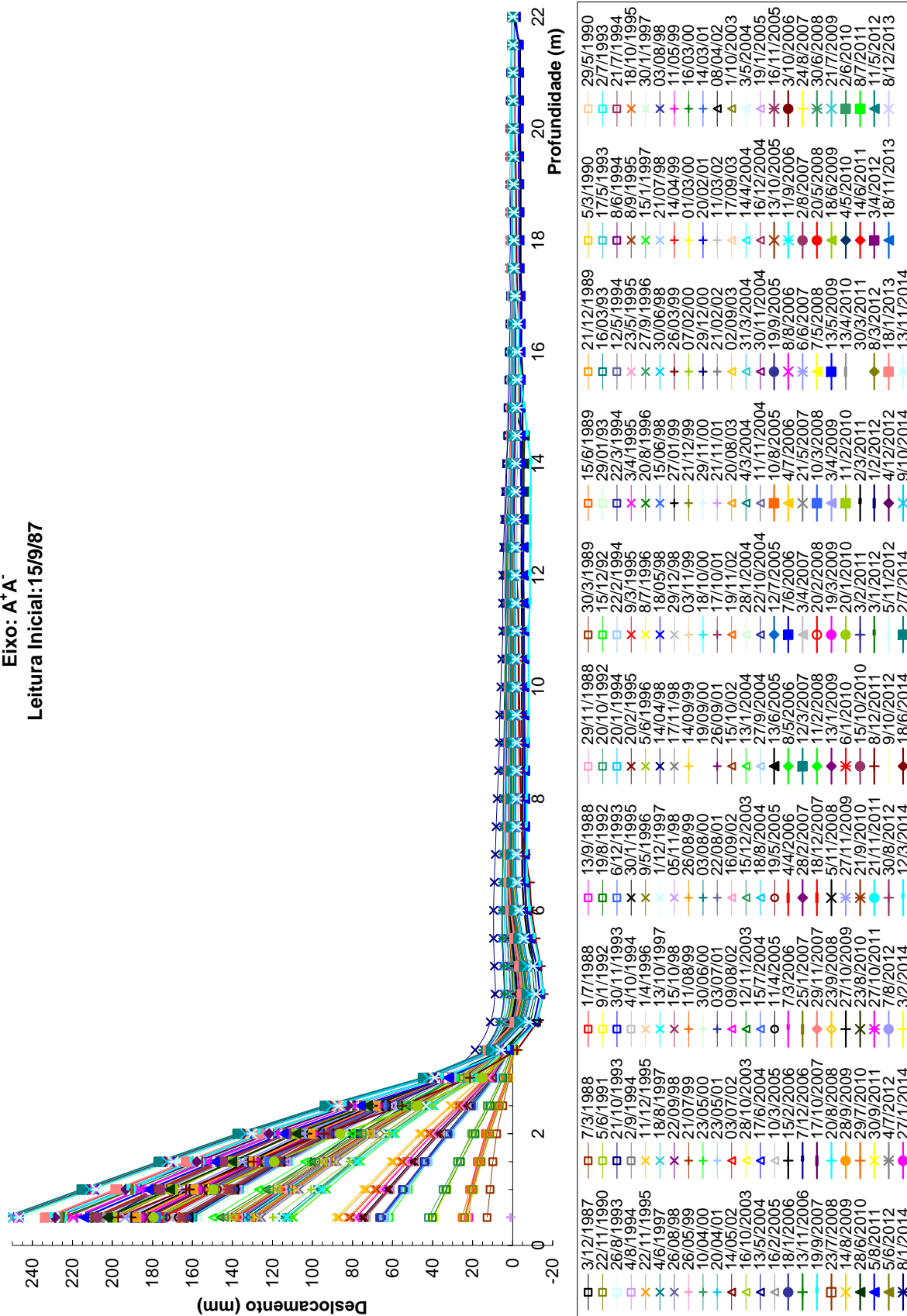


Gráfico 11 - Deslocamento do Inclinômetro SL-19B

Eixo: B'B'

Leitura Inicial: 15/9/87

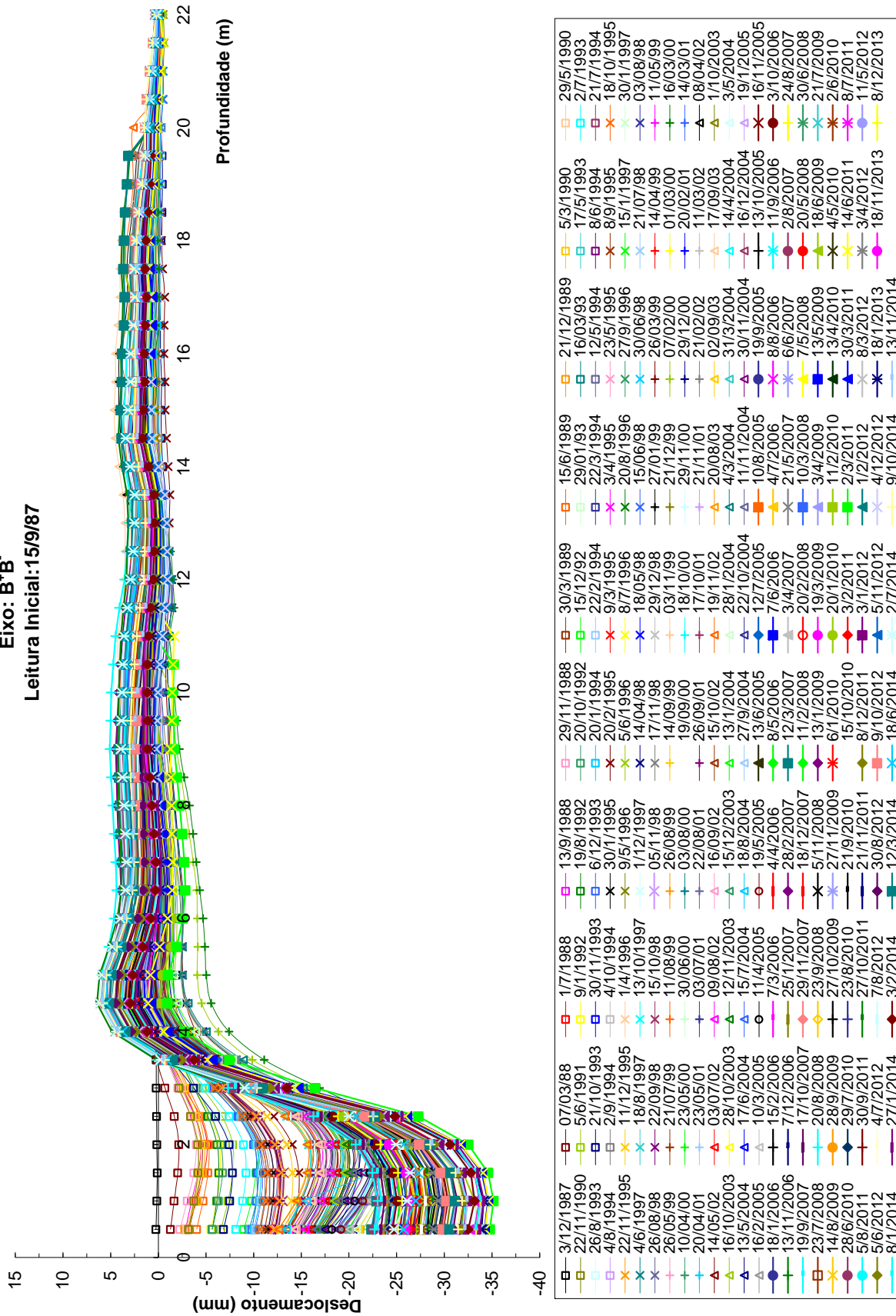
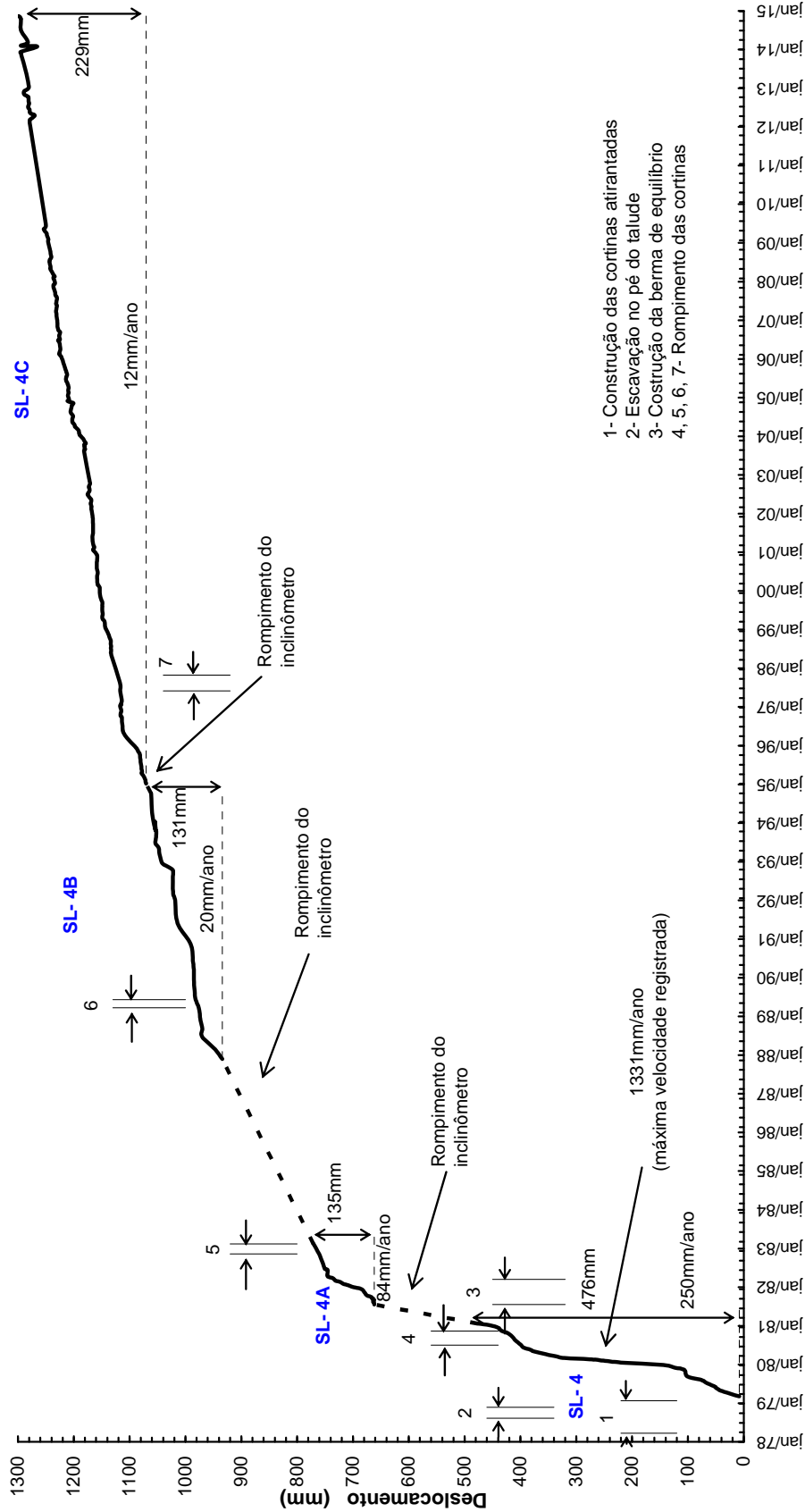
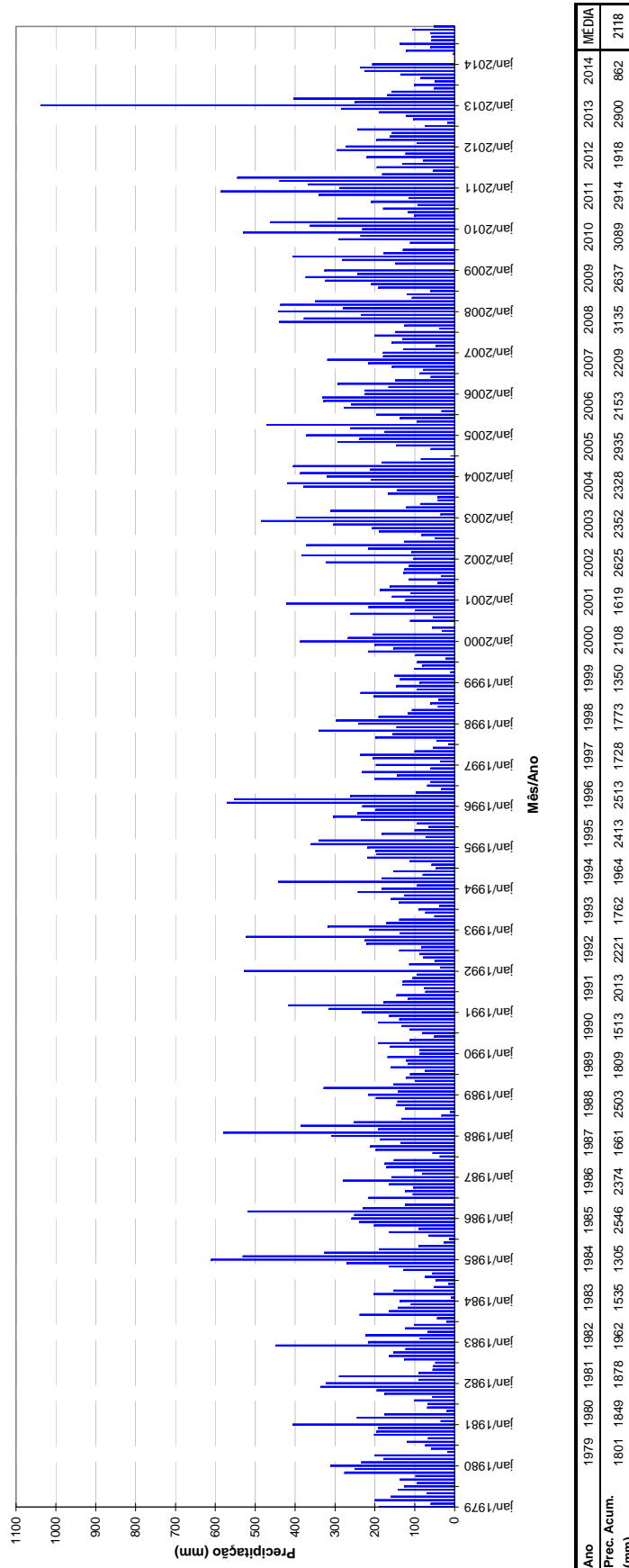


Gráfico 13 - Velocidade de Deslocamento dos Inclínômetros da Série SL-4



RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

Gráfico 14 – Precipitação Pluviométrica nas Encostas de Itaorna



RELATÓRIO
MONITORAÇÃO DA ENCOSTA NOROESTE

Gráfico 15 - Piezômetros instalados no contato entre o solo coluvionar e o solo residual

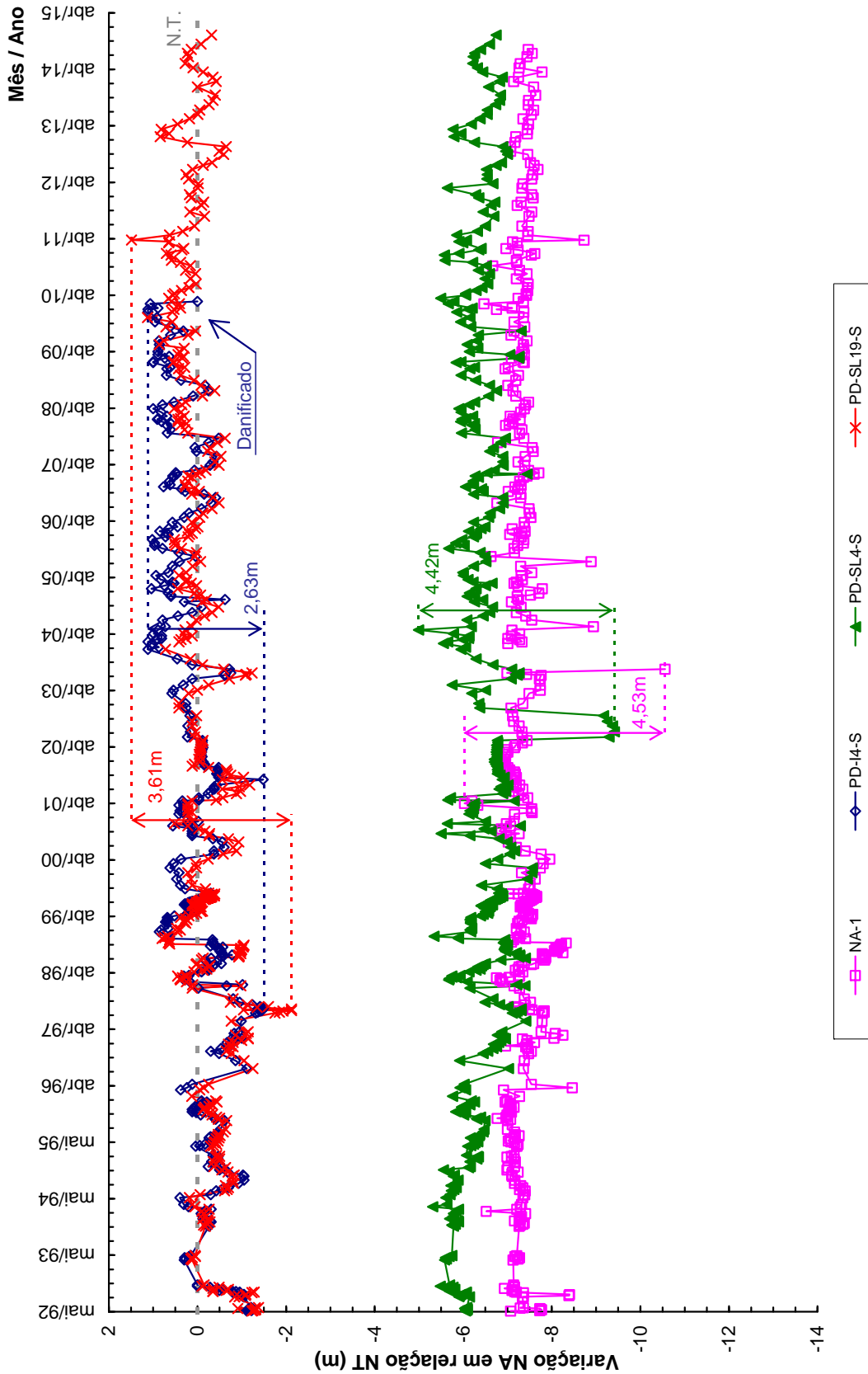


Gráfico 16 - Piezômetros instalados no contato entre o solo residual e a rocha alterada

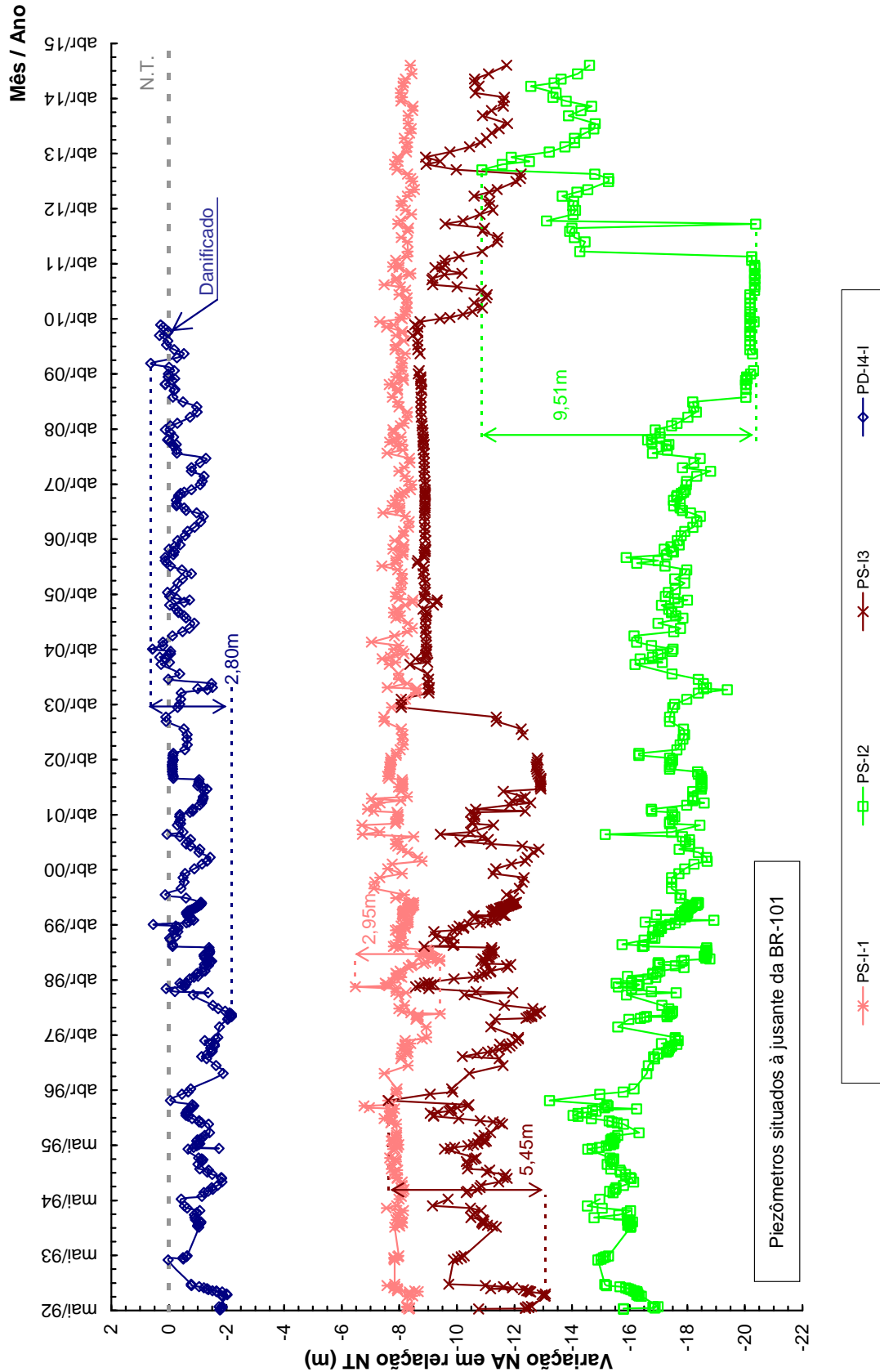
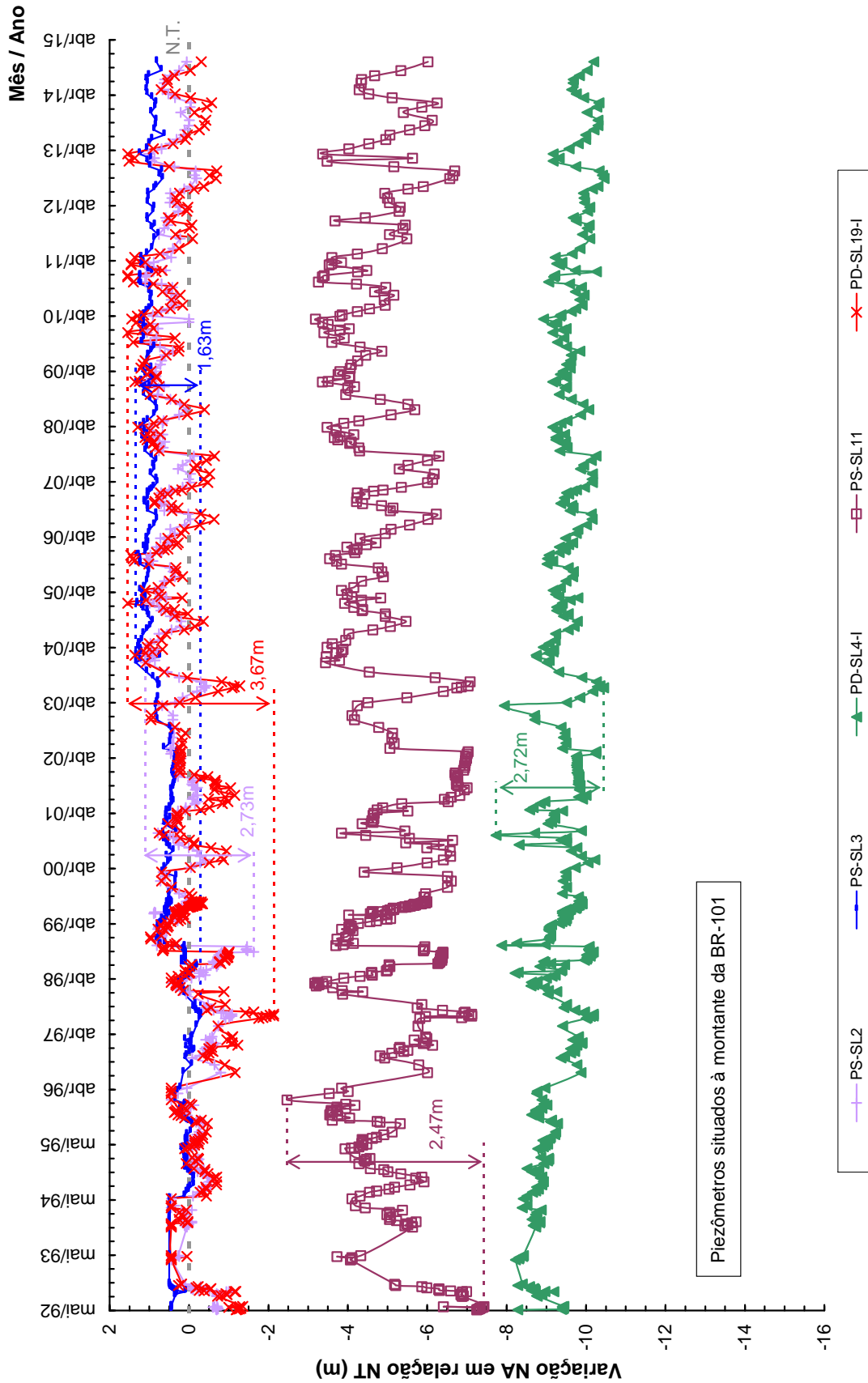


Gráfico 17 - Piezômetros instalados no contato entre o solo residual e a rocha alterada



Piezômetros situados à montante da BR-101