



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**Estudo no uso do inclinômetro nos serviços terceirizados de
desmonte de rochas: Pedreira Esperança - Vitória de Santo Antão
/PE.**

Graduando: Guilherme Alves Cavalcanti de Albuquerque

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz Siqueira Campos Barros (UFPE).

Co-Orientadora: Prof. Msc. Maria Carolina de Albuquerque Feitosa (IFRN).

Recife, Agosto de 2016.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**Estudo no uso do inclinômetro nos serviços terceirizados de
desmonte de rochas: Pedreira Esperança - Vitória de Santo Antão
/PE.**

Graduando: Guilherme Alves Cavalcanti de Albuquerque

Trabalho de conclusão de curso apresentado à UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO;
como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro de Minas, com a orientação do
Professor Doutor Márcio Luiz Siqueira Campos Barros.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz Siqueira Campos Barros (UFPE).

Co-Orientadora: Prof. Msc. Maria Carolina de Albuquerque Feitosa (IFRN)

Recife, Agosto de 2016.

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

A345e Albuquerque, Guilherme Alves Cavalcanti de.

Estudo no uso do inclinômetro nos serviços terceirizados de desmonte de rochas: Pedreira Esperança - Vitória de Santo Antão/PE / Guilherme Alves Cavalcanti de Albuquerque. – 2016.

115 folhas, il., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Luiz Siqueira Campos Barros.

Coorientadora: Profa. Msc. Maria Carolina de Albuquerque Feitosa.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Departamento de Engenharia de Minas, 2016.

Inclui Referências e Anexo.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS
PARECER DA BANCA EXAMINADORA

Guilherme Alves Cavalcanti de Albuquerque

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do Dr.
Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros, declara.

Aprovado em: ____/____/____.

Presidente: Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros

Examinador: Prof. Dr. Carlos Magno Muniz e Silva.

Examinador: Prof. Msc. Maria Carolina de Albuquerque Feitosa (IFRN).

Examinador: Mestrando Saulo Dantas de França.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Rinaldo e Magnilde pelo apoio e a compreensão durante esses anos de estudo, agradeço por todas as oportunidades que vocês, com muito trabalho e perseverança, puderam me proporcionar e por me ensinarem que o mais importante é investir em educação e o retorno vem naturalmente em prosperidade e felicidade.

A minha noiva Mariana pelos dias fáceis e dias difíceis que passamos juntos durante o curso e fora dele, agradeço também por ela ser meu ponto de equilíbrio e porto seguro nas horas complicadas.

Agradeço a minha irmã Manuela por ter esse espírito forte e aguerrido, você se tornou com passar dos anos o meu referencial de perseverança e fé em Deus.

Também agradeço ao meu irmão/cunhado Lucas, por toda coragem e tranquilidade que ele me passou para minha família durante anos de convívio.

Dedico também a todos meus grandes amigos de curso que direta ou indiretamente participaram deste processo, amigos de longa data que me ajudaram durante todos os anos de curso.

AGRADECIMENTOS

Ao orientador Prof. Dr. Márcio Luiz de Siqueira Campos Barros pelo conhecimento compartilhado durante a pesquisa

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Minas e o CTG da UFPE.

A todos os colegas que participaram de alguma forma da realização deste trabalho.

Aos Engenheiros de Minas Mariana Mendes, Maria Carolina e Jorge Valença, pela ajuda em campo e por repassar seus conhecimentos acadêmicos e de vida.

A PEDREIRA ESPERANÇA representado por Engenheiro de Minas Jorge Valença e a OPEX, representados por Dr. Antônio Braga, Caíque D'auria e Gabriel D'auria, por acreditar e incentivar esse projeto, cedendo dados para o estudo e ter deixado a disposição toda a infraestrutura da sua empresa

RESUMO

Este trabalho pretende avaliar e melhorar a execução da técnica perfuração e desmonte de rochas com explosivos, resultando no aumento do controle da perfuração, melhoria na fragmentação e na redução do custo das operações unitárias de lavra na área de perfuração, carregamento, desmonte. As atividades foram realizadas na Pedreira Esperança, localizada no município de Vitória de Santo Antão/PE, por meio de uma empresa de serviços terceirizados em desmonte de rochas. Os dados iniciais foram recolhidos em Fevereiro de 2016, durante o período de estágio realizado na mesma empresa terceirizada, em Cachoeiro do Itapemerim/ES. A partir desta primeira análise, foi desenvolvida a pesquisa e os testes na Pedreira Esperança. Durante todo o desenvolvimento do trabalho, pode-se acompanhar a operações de perfuração e desmonte, assim como a dinâmica do carregamento de explosivos e as tecnologias no controle da detonação. Foi observado que a perfuração é geralmente um dos principais fatores que influenciam o resultado de um desmonte de rochas, já que seu rigor afeta diretamente a eficiência da detonação. Hoje em dia, além da adequação dos métodos de perfuração, existem ferramentas que nos permitem visualizar as circunstâncias em que se desenvolvem os trabalhos. O Inclinômetro, aplicado na unidade como um serviço da terceirizada, ajudou a controlar o posicionamento e inclinação dos furos perfurados para o desmonte. Esse acompanhamento registra as coordenadas que permitem verificar a posição do furo após sua execução e decidir sobre o carregamento de explosivo mais adequado, em função da distância entre o furo e a face da bancada. A utilização do inclinômetro permite avaliar a distância real do furo perfurado e compara com a sua distância frente à face livre da bancada. Com o uso desse equipamento, foi observado um maior controle sobre ultra-lançamentos, aumentando muito a segurança do desmonte e também um maior controle da perfuração, aumentando a sua eficiência e reduzindo os custos de produção.

PALAVRAS-CHAVE: Perfuração, Desmonte, Desvio de furo, Inclinômetro, ultra-lançamento, Segurança.

ABSTRACT

This work aims to evaluate and improve the implementation of technical drilling rocks and blasting rocks with explosives, increasing control of drilling, improving fragmentation and reducing the cost of the unit operations of mining in the drilling area, loading, disassemble. The work was carried out in the quarry Hope, located in the municipality of Santo Antônio / PE Victoria, through a third party service company in rock blasting the initial data was collected in February 2016 during the probationary period and learning in outsourcing company, performed in Cachoeiro Itapemerim /ES. During work could follow the dynamic loading of explosives and technologies to control detonation. Having started the study report on the unit and continued the search until June 2016. Durante work was observed that drilling is usually one of the main factors that influence the result of blasting rocks, as its accuracy may depend on the efficiency the explosive. Today, besides the adequacy of drilling methods, there are tools that allow us to visualize precisely the circumstances in which they develop the work, including those used by the drilling equipment to monitor the depth and tilt control and direction. The inclinometer applied to the unit as an outsourced service helps to control the positioning and inclination of the drilled holes for the dismantling. This monitoring is coordinated records to monitor the position of the hole after its implementation and decide on the most correct position due to its location. The use of inclinometer allows to evaluate the distance of the drilled hole and real compared to its distance front face free counter. This equipment allows greater control over ultra -Launch greatly increasing the safety of the dismantling, also allows a control drilling increasing their efficiency and reducing production costs.

KEYWORDS: Drilling, Blasting, hole deviation, inclinometer, ultra- Release, Security.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MAPA RODOVIÁRIO DA ZONA METROPOLITANA DE PERNAMBUCO, ABRANGENDO VITÓRIA DE SANTO ANTÃO. FONTE: GOOGLE MAPS.	18
FIGURA 2 - MAPA GEOLÓGICO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO.	22
FIGURA 3 - MAPA PEDOLÓGICO DO MUNICÍPIO DE VITÓRIA DE SANTO ANTÃO.	23
FIGURA 4 - MAPA DA REGIÃO COM ÊNFASE NA LOCALIZAÇÃO DA PEDREIRA ESPERANÇA. (8° 7'11.25"S; 35°13'9.99" O).....	23
FIGURA 5 - POLIGONAL DA CONCESSÃO DE LAVRA REQUERIDA PARA O DNPM (POLÍGONO LARANJA).	25
FIGURA 6 - MODELA DE PERFURATRIZ AIRROC T25 DA ATLAS COPCO.	27
FIGURA 7 - MODELOS MARTELO, À DIREITA TH E ESQUERDA DTH.	28
FIGURA 8 - TIPOS DE MALHAS DE PERFURAÇÃO.	29
FIGURA 9 - PRINCIPAIS ERROS DURANTE UMA PERFURAÇÃO.	30
FIGURA 10 - EXEMPLO DEMONSTRATIVO DE DESVIO DE PERFURAÇÃO.	31
FIGURA 11 - INTERAÇÃO DO EXPLOSIVO COM O MACIÇO.	36
FIGURA 12 - EXPANSÃO VOLUMÉTRICA (V/V0) EM RELAÇÃO COM O TEMPO (MS).....	37
FIGURA 13 - INÍCIO DO PROCESSO DE FRATURAMENTO	37
FIGURA 14 - PROPAGAÇÃO DA ONDA DE CHOQUE NO MACIÇO ROCHOSO.	38
FIGURA 15 - RUPTURA FLEXURAL DA BANCADA PROMOVIDA PELA EXPANSÃO DOS GASES.....	39
FIGURA 16 - INDICATIVO DOS TERMOS USADOS PARA CÁLCULOS NA DETONAÇÃO	41
FIGURA 17 - DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO INCLINÔMETRO..	47
FIGURA 18 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO SENSOR - PÊNDULO SUSPENSO.....	49
FIGURA 19 - ESQUEMA DE UM ACELERÔMETRO.....	50
FIGURA 20 - MEDIÇÃO DAS INCLINAÇÕES DO FURO NA PEDREIRA ESPERANÇA.	51
FIGURA 21 - PRINCÍPIO PARA DETERMINAÇÃO DO DESLOCAMENTO HORIZONTAL COM O...	52

FIGURA 22 - PERFURAÇÃO EXECUTADA COM OS FUROS ALINHADOS (ESQUERDA) E RESULTADO FINAL COM FUROS ALINHADOS (DIREITA).....	53
FIGURA 23 - FALTA DE RIGOR RELATIVAMENTE DIREÇÃO E INCLINAÇÃO DOS FUROS (ESQUERDA) E RESULTADO FINAL DA PERFURAÇÃO SEM RIGOR (DIREITA).....	54
FIGURA 24 - RAIOS DE INFLUÊNCIA DE CADA FURO AO NÍVEL DA SOLEIRA CONDICIONADO PELO	55
FIGURA 25 - RAIOS DE INFLUÊNCIA DE CADA FURO AO NÍVEL DA SOLEIRA NA SITUAÇÃO IDEAL	56
FIGURA 26 - LINHA ONDE SÃO REALIZADAS AS MEDIÇÕES DE INCLINAÇÃO USANDO O INCLINÔMETRO.	57
FIGURA 27 - MARCAÇÃO PRATEADA INDICANDO A POSIÇÃO QUE DEVE ESTAR DE FRENTE PARA A BANCADA.	58
FIGURA 28 - DISPLAY SDF DO INCLINÔMETRO DA ZTEX.....	59
FIGURA 29 - MEDIÇÃO DO AFASTAMENTO REAL.....	60
FIGURA 30 - TRENA LASER LEICA, USADA CONJUNTAMENTE COM O INCLINÔMETRO.	61
FIGURA 31 - USO DA TRENA LASER PARA REALIZAR O PERFIL DA FACE DA BANCADA.	62
FIGURA 32 - MODELO DE VALORES EXPORTADOS DA TRENA LASER PARA EXCEL.....	63
FIGURA 33 - INFORMAÇÕES DA MALHA PARA GERAÇÃO DO RELATÓRIO.....	64
FIGURA 34 - IMAGEM DO RELATÓRIO. MOSTRANDO OS FUROS EM UMA VISÃO SUPERIOR..	65
FIGURA 35 - INTERPRETAÇÃO DO AFASTAMENTO REAL OBTIDO NO RELATÓRIO DO INCLINÔMETRO	67
FIGURA 36 - GRÁFICO DE RESULTADOS DO AFASTAMENTO REAL NOS FUROS DA PRIMEIRA LINHA NA VISÃO SUPERIOR. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.	68
FIGURA 37 - VALORES DOS ESPAÇAMENTOS DA PRIMEIRA LINHA ANALISADOS NA VISTA SUPERIOR.....	69
FIGURA 38 - FACE DA BANCADA GERADA NO RELATÓRIO.....	70
FIGURA 39 - IMAGEM MOSTRANDO A FACE DA BANCADA, E EM VERMELHO MATERIAL QUE IMPOSSIBILITA A OBTENÇÃO COMPLETA DO PERFIL DA FACE NOS FUROS.....	71

FIGURA 40 - ANÁLISE DOS AFASTAMENTOS MÍNIMOS (ESQUERDA) E MÁXIMOS (DIREITA) DO FURO 01.....	72
FIGURA 41 - ANÁLISE DOS AFASTAMENTOS MÍNIMOS (ESQUERDA) E MÁXIMOS (DIREITA) DO FURO 11.....	73
FIGURA 42 - - SITUAÇÃO FINAL DOS FUROS QUANTO A SUA RELAÇÃO COM A FACE DA BANCADA.	75
FIGURA 43 - - ANÁLISE DA SITUAÇÃO FINAL DOS FUROS ANTES E DEPOIS DO USO DO INCLINÔMETRO FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.	76
FIGURA 44 - - RELATÓRIO ENTRE MINAS (MOSTRANDO OS ESPAÇAMENTOS MÁXIMOS ENTRE FUROS).....	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE PERFURAÇÃO PARA OPERAÇÕES EM PEDREIRAS COM ALTURA DE BANCADA DE 20 M	28
TABELA 2 - RELAÇÃO ENTRE DESVIO DE FURO (°) X ALTURA DA BANCADA (CM). RESULTANDO NO DESVIO FINAL DO FURO (CM). FONTE: AUTORIA PRÓPRIA.	32
TABELA 3 - RELAÇÃO ENTRE TEMPOS DE RETARDOS	42
TABELA 4 - PROPRIEDADES TÍPICAS DAS ROCHAS.....	42
TABELA 5 - RAZÕES DE CARGA PARA DETONAÇÕES PRIMÁRIAS.....	43
TABELA 6 - RAZÕES DE CARGA PARA DETONAÇÕES DE PRÉ-CORTE E AMORTECIDAS	43
TABELA 7 - PLANO DE FOGO APLICADO NA PEDREIRA ESPERANÇA.	44
TABELA 8 - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DA SONDA DO INCLINÔMETRO	47
TABELA 9 - INFORMAÇÕES TÉCNICAS DO CABO DO INCLINÔMETRO	48
TABELA 10 - VALORES LIMITES PARA AFASTAMENTO REAL. FONTE: AUTORIA PRÓPRIA	66
TABELA 11 - DEMONSTRAÇÃO DA SITUAÇÃO REAL DOS FUROS APÓS A ANÁLISE DO PERFIL DOS FUROS X PERFIL DA FACE DA BANCADA.	74
TABELA 12 - VALORES DE REFERÊNCIA PARA ESPAÇAMENTOS.	78

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	15
1.1 – JUSTIFICATIVA.....	16
1.2 - OBJETIVOS.....	16
1.2.1 – <i>Objetivos Gerais</i>	16
1.2.2 – <i>Objetivos Específicos</i>	17
2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	18
2.2 - ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.....	19
2.3 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	20
2.4 - GEOLOGIA DA REGIÃO.....	20
2.5 - CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	23
2.6 – PERFURAÇÃO DE ROCHAS.....	25
2.6.1 - <i>Noções de Perfuração</i>	25
2.6.2 - <i>Equipamentos de Perfuração</i>	26
2.6.3 - <i>Malhas de Perfuração</i>	28
2.6.4 - <i>Desvio de Perfuração</i>	29
2.6.5 - <i>Dimensionamento da Perfuratriz</i>	32
2.7 - DESMONTE DE ROCHAS E EXPLOSIVOS.....	33
2.7.1 - <i>Explosivos</i>	33
2.7.2 - <i>Fatores na Seleção do Explosivo</i>	34
2.7.3 - <i>Fragmentação da Rocha</i>	35
2.7.4 - <i>Plano de Fogo</i>	40
2.7.5 - <i>Informações Complementares</i>	42
2.7.6 - <i>Plano de Fogo na Pedreira Esperança</i>	43
2.8 - SERVIÇOS TERCEIRIZADOS NO DESMONTE DE ROCHA.....	44
2.8.1 – <i>Aspectos legais</i>	45
2.8.2 - <i>Registros</i>	45
2.8.3 - <i>Tecnologias agregada aos serviços terceirizados</i>	46

3 – METODOLOGIAS NO USO DO INCLINÔMETRO.....	46
3.1 - DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO.	46
3.1.1 – Sonda, Probe ou torpedo.	47
3.1.2 - Cabo elétrico.	47
3.2 - FUNCIONAMENTO DA SONDA.....	48
3.3 - CONTROLES DA INCLINAÇÃO E PROFUNDIDADE NA PERFURAÇÃO	53
3.3.1 - Posicionamento inicial e final do furo.	54
3.4 - USOS DO INCLINÔMETRO NA PEDREIRA ESPERANÇA	56
3.4.1 - Metodologia de aplicação do inclinômetro.	57
4 – DISCUSSÃO E RESULTADOS.	64
4.1 - INFORMAÇÕES DA MALHA.	64
4.2 - ANÁLISES DA VISÃO SUPERIOR.	65
4.3 - ANÁLISES DA FACE DA BANCADA.....	69
4.4.1 - Análise dos dados dos afastamentos máximos e mínimos.	73
4.5 - ANÁLISE DO ESPAÇAMENTO ENTRE OS FUROS.....	76
5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
6 - BIBLIOGRAFIA	79
ANEXOS	81
1 - RELATÓRIO COMPLETO DO INCLINÔMETRO, PEDREIRA ESPERANÇA:	81

1 – INTRODUÇÃO.

A mineração é um dos setores básicos da economia do país, contribuindo de forma decisiva para o bem estar e a melhoria da qualidade de vida das presentes e futuras gerações, sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade equânime, desde que seja operada com responsabilidade social, estando sempre presente os preceitos do desenvolvimento sustentável.

O rápido crescimento da população mundial levou à necessidade de grandes incrementos da produção minerária, os quais vêm sendo obtidos através da aplicação intensiva de novas tecnologias e pela conquista de novas fronteiras. A produção mineral brasileira, que contempla inúmeras substâncias, é reflexo natural dessa característica. A atividade mineral requer, para seu êxito, cuidadoso planejamento a partir do conhecimento efetivo da situação, a adoção de tecnologia evoluída e aplicável sobre o comando de uma equipe qualificada e atenta aos riscos e detalhes da operação.

No desmonte de rocha por bancadas, o bom andamento das operações da perfuração e carregamento de explosivos influencia diretamente todas as operações seguintes, como o possível desmonte secundário, a etapa do carregamento do material, transporte até a britagem e o próprio custo da britagem primária, podendo o somatório dos custos das operações individuais serem mais elevado do que o desejado por influência de uma fragmentação grosseira.

É a fragmentação que condiciona as operações posteriores e contribui decisivamente para o custo de produção, no caso concreto de exploração de uma pedreira, onde o que se pretende é maximizar a fragmentação da rocha, visando produção de agregados para a construção civil.

A perfuração é a operação preponderante para o sucesso da fragmentação da rocha, pois os erros cometidos podem influenciar diretamente as operações seguintes no que diz respeito aos rendimentos e custos, devendo ser dada particular importância, rigor e formação dos operadores, com uma monitorização contínua ao longo do tempo.

O desmonte de rochas com explosivos depende de diversos fatores: características geológicas do maciço rochoso, temporização no Plano de Fogo, qualidade da perfuração, qualidade do explosivo. Com essa quantidade de variáveis, a operação de desmonte de rocha com explosivos é uma tarefa que exige uma permanente observação dos resultados, correções para aperfeiçoamento e otimização.

1.1 – JUSTIFICATIVA.

Este documento constitui o relatório no âmbito curricular do Projeto de Graduação do curso apresentado no Centro de Tecnologia e Geociência da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 – *Objetivos Gerais.*

Neste contexto, o estudo realizado teve como objetivo enquadrar o conhecimento e experiência obtida na Pedreira Esperança em Vitória de Santo Antão/PE, juntamente com a empresa Ouro Preto Explosivo (OPEX) de serviços terceirizados em desmonte de rochas ao longo de três meses de estudo, com recolhimento de dados nas seguintes operações: perfuração, carregamento de explosivos, e desmonte, aplicando o uso do inclinômetro no monitoramento dos furos, correções na razão de carga e diminuição dos ultra-lançamentos.

O inclinômetro surge como uma alternativa rápida para a obtenção de relatórios detalhados sobre o perfil do furo, essas informações são capazes de detectar furos com desvios na inclinação, aproximação exagerada com a face da bancada e profundidade real perfurada. Além dessas informações o relatório do inclinômetro mostram os valores dos Afastamentos e Espaçamentos de cada furo, metro a metro fazendo uma relação entre os furos e mostrando os pontos críticos.

Essa informação é impossível de ser obtida sem o uso da instrumentação do inclinômetro e testes em campo mostram que as interpretações visuais quanto ao carregamento ou não de possíveis furos problemáticos são de modo geral

equivocadas. Uma análise sobre o perfil dos furos é a mais indicada para se ter exatidão quanto à segurança e eficiência de um desmonte.

1.2.2 – Objetivos Específicos.

Este trabalho está estruturado em oito capítulos, assim distribuído:

- Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura dos assuntos a serem trabalhados no tema, bem como apresentação da região, geologia e as operações unitárias de lavra como Perfuração e Desmonte
- Capítulos 3 Têm a análise sobre o inclinômetro sendo bem como suas metodologias
- Capítulo 4 aborda todos os resultados e relatórios que o inclinômetro pode gerar na obtenção dos dados do perfil do furo.
- Capítulo 5 apresenta as principais conclusões do estudo
- Capítulo 6 apresenta as referências citadas no texto além de outras consultadas.
- Por fim temos um relatório completo do inclinômetro, esse relatório foi a base para os estudos e suas respectivas conclusões.

2.2 - ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS.

O município foi criado em 27/06/1811, pela Lei Estadual nº 952, sendo formado pelos distritos: Sede e Pirituba e pelos povoados de Cidade de Deus, Engenho Cachoeirinha e Engenho Pitu. De acordo com o Censo Demográfico IBGE (2010), a população residente total de Vitória de Santo Antão é de 129.974 habitantes, sendo 113.429 (87,2%) na zona urbana e 16.545 (12,7%) na zona rural. Os habitantes do sexo masculino totalizam enquanto que do feminino totalizam 67.565 (51,9%), resultando numa densidade demográfica de 349,58 hab/km².

Dos 30 010 domicílios particulares permanentes, 22410 (74,7)% são abastecidos pela rede geral de água, 3961 (13,2)% são atendidos por poços ou fontes naturais e 3639 (12,1)% por outras formas de abastecimento. A coleta de lixo urbano atende 24397 (81,3) % dos domicílios.

Vitória de Santo Antão é um dinâmico polo econômico, cujo raio de influência se estende a 15 municípios vizinhos. Apresenta uma sólida economia baseada na agricultura, na indústria, no comércio e prestação de serviços (ÁLVARES et al, 2010). 43 Sua atividade agrícola baseia-se no cultivo de hortaliças, verduras, tuberosas (macaxeira, mandioca e batata doce) e de cana de açúcar. A cultura dos produtos hortifrutigranjeiros, que abastecem Recife, cidades circunvizinhas, assim como outras capitais nordestinas (João Pessoa, Maceió e Natal), ocupa quatro polos principais: Natuba, Pirituba, Galileia e Oiteirinho. Já a cultura da cana de açúcar localiza-se, sobretudo, nas regiões sul e leste, mais favoráveis, pela umidade, a este tipo de lavoura (ÁLVARES et al, 2010).

Sua indústria tomou um grande impulso nos últimos anos. Seu parque industrial conta com grandes empresas: Engarrafamento Pitú, CIV (Companhia Industrial de Vidros), SADIA, Grupo JB, Kraft Food, Elcoma Computadores, Isoeste, MC Bauchemie Brasil, Metafrio Solutions, entre outras. Seu comércio é bastante diversificado, com uma feira diária que ocupa dezenas de quarteirões com especial movimentação as sextas e aos sábados, onde os munícipes e visitantes encontram uma variedade imensa de produtos agrícolas e artesanais. Encontram-se ainda nos bairros periféricos (Cajá, Lídia Queiroz e Maués), feiras livres nos finais de semana.

Atualmente a participação do setor industrial no município de Vitória corresponde a 38,75% do PIB, com aproximadamente R\$ 380.000.000,00 (milhões de reais), gerando uma fonte de receitas significativas (IBGE, 2012).

O Índice de Desenvolvimento Humano Municipal-IDH-M é de 0,663. Este índice situa o município em 41º no ranking estadual e em 3558º no nacional.

2.3 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.

O município de Vitória de Santo Antão está inserido na Mesorregião da Mata Sul do Estado de Pernambuco que condiciona a vegetação, as culturas e a fixação do homem ao meio. O relevo de Vitória de Santo Antão faz parte da unidade das Superfícies Retrabalhadas que é formada por áreas que têm sofrido reestruturação intensa, com relevo bastante dissecado e vales profundos. Na região litorânea de Pernambuco e Alagoas, é formada pelo “mar de morros” que antecede a Chapada da Borborema, com solos pobres e vegetação de floresta hipoxerófila. O clima é do tipo Tropical Chuvoso com verão seco. O período chuvoso começa no outono/inverno tendo início em dezembro/janeiro e término em setembro.

A precipitação média anual é de 1309,9 mm. A vegetação é predominantemente do tipo Floresta Subperenifólia, com partes de Floresta Hipoxerófila. Os solos dessa unidade geoambiental são representados pelos Latossolos nos topos planos, sendo profundos e bem drenados; pelos Podzólicos nas vertentes íngremes, sendo pouco a medianamente profundos e bem drenados e pelos Gleissolos de Várzea nos fundos de vales estreitos, com solos orgânicos e encharcados.

2.4 - GEOLOGIA DA REGIÃO.

O município de Vitória de Santo Antão está integralmente situado numa província estrutural designada como Borborema. Tal província está localizada na

porção Nordeste da ampla Plataforma Estrutural Brasileira e engloba, sobretudo, terrenos muito antigos, de natureza ígnea intrusiva e metamórfica, datada como sendo do Pré-Cambriano. Um dos elementos geológicos de maior destaque dessa unidade estrutural é o maciço Pernambuco-Alagoas, exatamente onde se dispõe o município (ÁLVARES et al, 2010; BRASIL, 2005; MASCARENHAS et al., 2005). O maciço Pernambuco-Alagoas apresenta terrenos graníticos, gnáissicos, predominantemente, além dos milonitos e migmatitos, entre outros corpos rochosos. Ao sul do município, delimitado pela falha geológica de Pernambuco, estão terrenos graníticos que, em alguns trechos, pela extensão ocupada, definem grandes corpos intrusivos denominados “batólitos”. Ao norte afloram terrenos também cristalinos, em alguns trechos, dobrados e falhados (ÁLVARES et al, 2010; FIDEPE, 1981). Um dos elementos estruturais mais significativos que atravessa o município de leste a oeste é o Lineamento Pernambuco, falha geológica do tipo “falha de rejeito direcional” que se inicia em Recife e atinge até a bacia sedimentar do Meio Norte, no Estado do Piauí. Outras falhas menores, associadas direta ou indiretamente ao Lineamento, são encontradas na Vitória de Santo Antão. Vários rios e riachos da bacia do Tapacurá adaptaram-se, inclusive, a essas estruturas tectônicas, como por exemplo, os rios Natuba e Várzea Grande, que assumem, em seus percursos, um traço linear, provam de controle estrutural da drenagem.

O relevo do município, na escala cronogeomorfológica, é relativamente recente. Sua elaboração, como a do Nordeste Oriental, apresenta certo grau de complexidade em face de fatores operantes na sua morfogênese, como fatores tectônicos, erosivos e as variações climáticas. Tais repercussões podem ser observadas na forma e disposição assumida pelo Vale do Tapacurá, que teve um forte controle tectônico assim como os amplos processos de pedimentação (vertentes côncavas que mergulham suavemente em direção ao fundo dos vales) observados nas paisagens às margens da BR 232, no sentido Leste-Oeste, em direção ao município de Pombos.

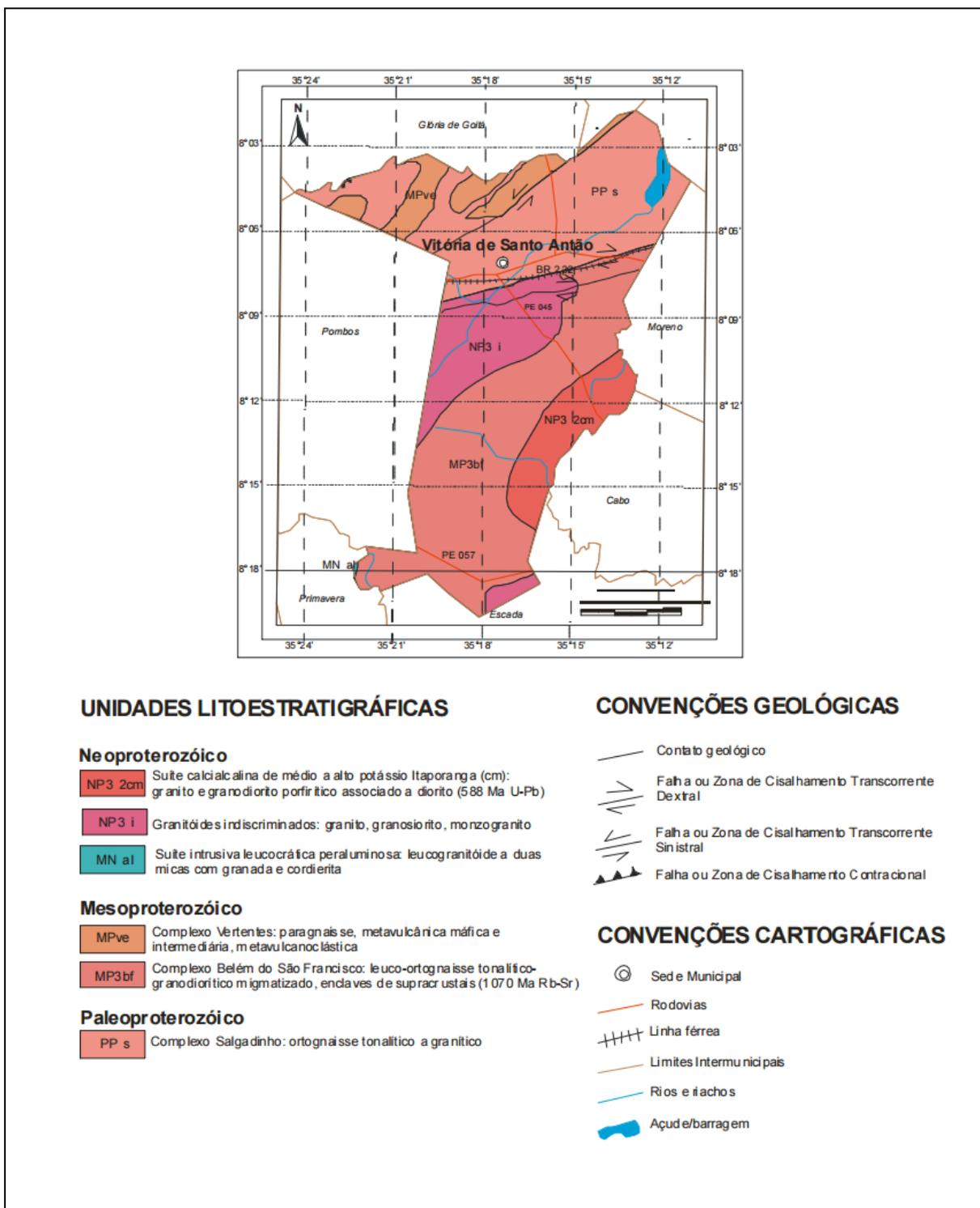


Figura 2 - Mapa Geológico de Vitória de Santo Antão.

Fonte: BRASIL, 2005

No sul do município, observa-se na sua paisagem o aspecto de “mar” de morros, constituídos pelo conjunto de colinas de perfil convexo, justapostas e dissecadas pelas correntes fluviais que demandam para as bacias hidrográficas, como a do Pirapama. O relevo nesta região é mais movimentado, com altitudes que

ultrapassam 400m, contrastando com os menos de 150m verificados no sítio urbano de Vitória de Santo Antão.

Os solos dessa unidade geoambiental são representados pelos Latossolos nos topos planos, sendo profundos e bem drenados; pelos Podzólicos nas vertentes íngremes, sendo pouco a Gleissolos de Várzea nos fundos de vales encharcados.

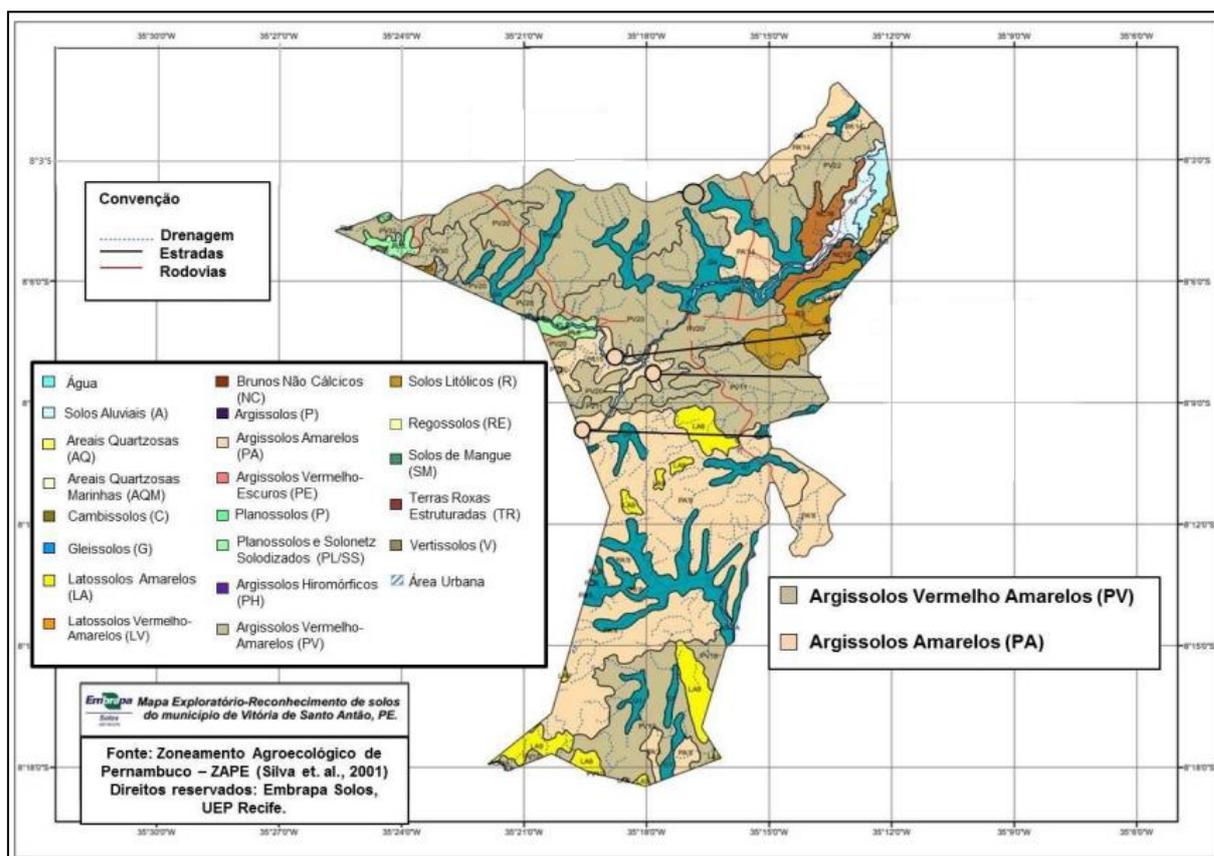


Figura 3 - Mapa pedológico do município de Vitória de Santo Antão.

Fonte: RIBEIRO, 2011.

2.5 - CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.

A Agropecuária N. L. Ltda. denominada Pedreira Esperança está localizada às margens da BR 232, no Km 39, na zona rural do Município de Vitória de Santo Antão, Pernambuco. Sua atividade no ramo da mineração é voltada na produção de diversos tipos de britas para uso direto na construção civil. Tendo como responsável técnico o Engenheiro de Minas Jorge Valença a unidade possui uma meta de

produção mensal na ordem de 15.000 m³ de rocha para a britagem. A região lavrada possui fácil escoamento devido à proximidade da unidade com a BR 232.



Figura 4 - Mapa da região com ênfase na localização da Pedreira Esperança. (8° 7'11.25"S; 35°13'9.99" O) Fonte: Google Earth.

A unidade possuiu uma jazida de rocha metamórfica (Gnaiss), para uso direto na construção civil, classificada no código de mineração como da classe II. A rocha é um ortognaiss bandado, por vezes migmatizado, com bandas milimétricas a centimétricas, tonalítico-anfibolíticas e bandas decimétricas a métricas félsicas neossomáticas lecograníticas Macroscopicamente apresenta granulação de fina a média e textura porfiroblática, com cristais de feldspato de dimensões até decimétricas.

A área requerida da unidade é de 16,83 hectares, com uma área subdividida em escritório, serviço, área para deposição do capeamento, britagem, oficina e lavra. Podemos visualizar a poligonal da área requerida na figura 5.



Figura 5 - Poligonal da Concessão de Lavra requerida para o DNPM (Polígono Laranja).

Fonte: DNPM/Google Earth.

Atualmente a empresa conta com um quadro de 30 funcionários atuando nas diversas áreas do setor produtivo, administrativo e de manutenção. A Pedreira Esperança atualmente opera com dois turnos de trabalho

Devido ao grande crescimento da região e estando a menos de 50 km de Recife, a Pedreira Esperança está estrategicamente bem situada. As adesões de serviços terceirizados no desmonte de rochas auxiliam a produzir uma brita de maior qualidade agregando valor aos seus produtos tornando o empreendimento um incentivador de crescimento na região.

2.6 – PERFURAÇÃO DE ROCHAS

2.6.1 - Noções de Perfuração.

A perfuração é a operação predominante para o sucesso da fragmentação da rocha, pois os erros cometidos podem influenciar diretamente as operações seguintes no que diz respeito aos rendimentos e custos, devendo ser dada particular importância, rigor e formação dos operadores, com um monitoramento contínuo ao

longo do tempo. A operação consiste na abertura de um furo para que posteriormente se possam alojar as cargas explosivas.

Entende-se por perfuração de rocha, o sincronismo de quatro movimentos: impacto ou percussão, rotação, avanço e limpeza.

O Impacto ou percussão tem a função de provocar o cisalhamento no material a ser perfurado, sendo gerada pelo movimento do pistão que é transmitido para o sistema punho, haste e coroa sendo a energia resultante transferida para o material perfurado.

A Rotação tem função de reposicionar as pastilhas da coroa, cobrindo toda a área do furo. A rotação é feita através de motores e redutores.

O Avanço tem como função manter as ferramentas constantemente em contato com a rocha, evitando-se a elevação das hastes. Uma perfuratriz pneumática tipo ROC trabalha normalmente com 23 a 27 libras de pressão de avanço.

A Limpeza tem a função de manter o furo livre de detritos que podem prejudicar a perfuração, bem como garantir uma maior velocidade de penetração.

2.6.2 - Equipamentos de Perfuração.

De acordo com Jair Carlos Koppe e João Felipe C. Leite Costa (Manual de agregados para construção civil, 2009.) "Diversas técnicas de perfuração são empregadas nas pedreiras, variando muito no porte dos equipamentos, mas, de um modo geral, no Brasil ainda são adotados, na maioria das operações, equipamentos de pequeno a médio porte".

Dentre as técnicas temos as mais importantes o sistema de percussão down-the-hole (DTH) ou perfuração de fundo de furo, percussão tophammer (TH) ou perfuração com martelo de superfície são as mais usadas nas minerações brasileiras. Algumas perfuratrizes como a AirROC T(tophammer) da Atlas Copco podem ser modificadas para modelos D(down the hole) sem a necessidade de troca do equipamento.



Figura 6 - Modelo de perfuratriz AirROC T25 da Atlas Copco.

Fonte Atlas Copco

Na perfuração por percussão a energia de impacto é transmitida da perfuratriz para a rocha por meio dos botões ou insertos de metal duro. A perfuração down-the-hole é caracterizada pelo martelo percussor posicionado imediatamente atrás da coroa de perfuração (Figura 1). A aplicação da energia de impacto de 18 a 25 kW é transferida diretamente do martelo a coroa (bit) de perfuração, ou seja, o pistão da perfuratriz trabalha diretamente sobre o bit (metal duro utilizado para corte ou quebra da rocha). À medida que o furo vai avançando, o martelo vai descendo juntamente com a coroa. Quando o martelo impacta a coroa de perfuração, a energia cinética é transformada em uma onda de percussão. O martelo down-the-hole é acionado pneumaticamente.

A técnica do tophammer ou martelo de superfície é caracterizado pela percussão do martelo fora do furo no topo do conjunto de hastes de perfuração, cuja energia de impacto, 18 a 30 KW, é transferida para a coroa de perfuração pelo conjunto de hastes (Figura 2). Perdas de 6 a 8% de energia ocorrem durante a transferência de energia causada por atrito nas conexões das hastes. Perdas adicionais podem ocorrer por atrito entre as hastes e as paredes do furo. Com o aumento da profundidade do furo, na comparação com o método down-the-hole, há uma perda do desempenho do equipamento.

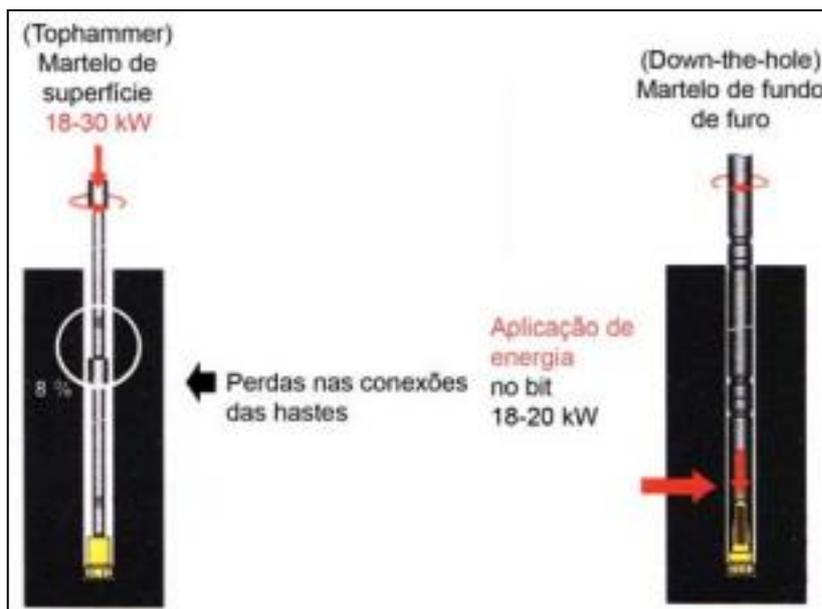


Figura 7 - Modelos martelo, à direita TH e esquerda DTH.

Fonte: Manual de Agregados para Construção Civil.

No Brasil outro equipamento de perfuração, para empresas de médio - grande porte são as perfuratrizes hidráulicas, essas perfuratrizes são mais robustas e mais precisas que as perfuratrizes pneumáticas tipo ROC. Através do seu acionamento hidráulico ela entrega maior potência na perfuração permitindo maiores profundidades e uma melhor taxa de perfuração.

A Tabela 1 mostra uma comparação entre os diferentes métodos de perfuração utilizada nas operações de lavra em pedreiras modernas.

Tabela 1- Comparação entre os métodos de perfuração para operações em pedreiras com altura de bancada de 20 m

Fonte: Fernberg, 2005.

Método de perfuração	Martelo de Superfície	Down-the-hole
Diâmetro do furo, mm.	76-127	85-165
Taxa de penetração	Boa	Regular
Retilinidade do furo	Regular	Muito boa
Profundidade do furo	Regular	Muito boa
Produção t/m(turno)	Boa	Regular
Consumo combustível/m	Bom	Regular

2.6.3 - Malhas de Perfuração.

A geometria das malhas de perfuração pode ser quadrada, retangular, estagiada, triângulo equilátero ou malha alongada, conforme a figura abaixo:

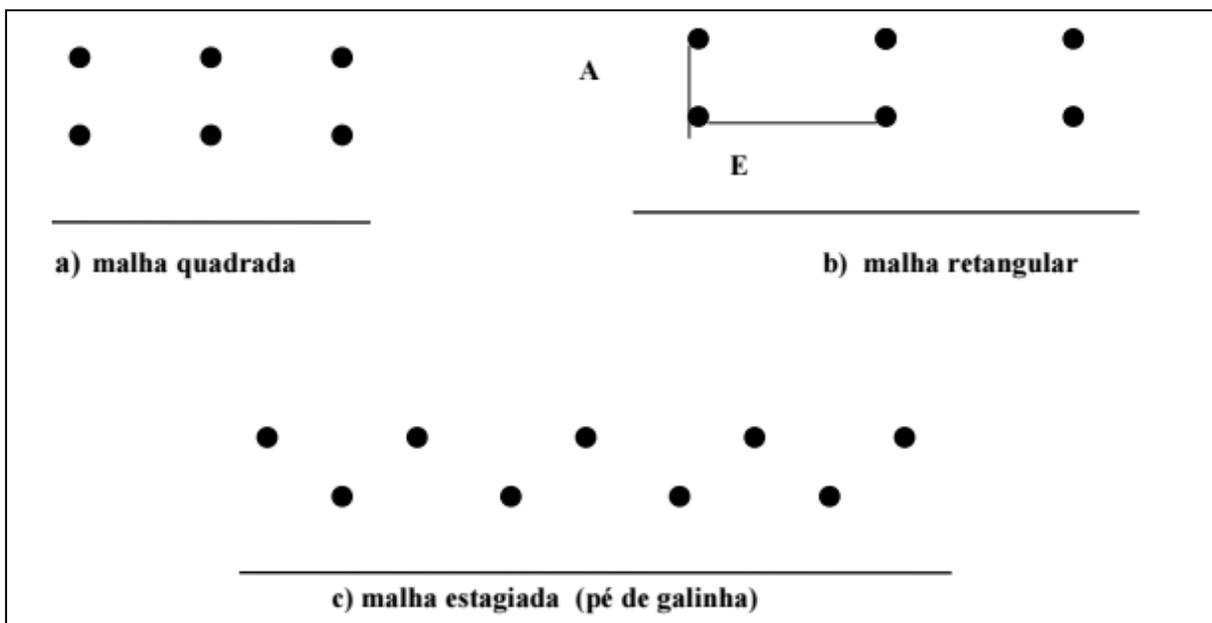


Figura 8 - Tipos de malhas de perfuração.

Fonte: Manual de Agregados para Construção Civil.

Malhas quadradas ou retangulares: devido a sua geometria é de fácil perfuração (menor tempo de locomoção de furo a furo).

Malhas estagiadas: devido à geometria de furos alternados dificulta a perfuração (maior tempo de locomoção furo a furo), porém possui melhor distribuição do explosivo no maciço rochoso.

Malha Triângulo Equilátero: são malhas estagiadas com a relação $E/A = 1,15$. São indicadas para rochas compactas e duras. Possuem ótima distribuição da energia do explosivo na área de influencia do furo, maximizando a fragmentação. O centro do triângulo equilátero, o ponto mais crítico para fragmentação, recebe igual influência dos três furos circundantes.

Malhas alongadas: Conforme a relação E/A as malhas podem assumir várias configurações. As malhas alongadas possuem elevada relação E/A , geralmente acima de 1,75. São indicados para rochas friáveis/macias aumentando o lançamento por possuírem menores afastamentos.

2.6.4 - Desvio de Perfuração.

Muitas vezes durante a perfuração de rochas podemos ter a ocorrência de desvios de furação. Esses desvios podem ser ocasionados pela geologia do terreno,

por falhas geológicas, diferentes níveis de dureza entre as rochas, regiões com cisalhamento ou diferentes estratos. Todos esses componentes agem alterando a direção da perfuração ocasionando o desvio. Esses desvios, posteriormente, geram problemas no desmonte, podendo provocar excesso de vibração, ultra-lançamentos e ou geração de blocos não fragmentados, exigindo então um segundo desmonte.

Os principais erros e desvios que podem ocorrer durante a perfuração compreendem (Kerber et al., 2007): desvios do furo para frente ou para trás da face da bancada, desvios laterais, desvio na inclinação ou azimute do furo, comprimento errado do furo e perdas de furo.

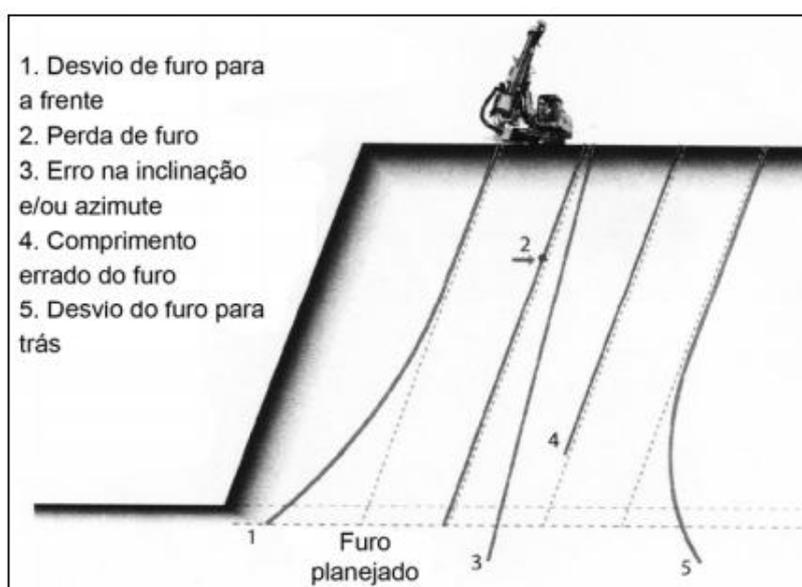


Figura 9 - Principais erros durante uma perfuração.

Fonte: Manual de Agregados para Construção Civil.

O desvio da furação que ocorre para frente (1) diminuem o seu afastamento que pode gerar a ocorrência de ultra-lançamentos. A perda do furo (2) pode ocorrer devido a diversos fatores como entupimento, prisão de hastes. Esses furos uma vez não carregados na sua totalidade representam uma grande perda de energia na região e resultando na formação de grandes blocos não fragmentados. O erro de inclinação ou azimute (3) leva a um comprimento de perfuração inadequado, modificando o afastamento real com aquele pretendido no plano de fogo. O comprimento errado do furo (4) não atingindo a profundidade desejada pode ocasionar a formação de repé.

O desvio de furo para trás da face da bancada (5) aumenta o afastamento criando áreas que não estão sob o efeito do explosivo e posteriormente ocorre a formação de repé.

Para que a operação de perfuração seja eficaz, para além do impacto, é necessário adotar o conjunto de uma força de avanço, rotação e limpeza adequados ao tipo de rocha. Uma operação deste tipo tem normalmente dificuldades de execução que induz a erros e desvios causadores do mau desempenho do explosivo, deficiente fragmentação e movimentação da rocha.

Vamos tomar como exemplo (observe a Figura 10), verifica-se que para um furo de 10 m de profundidade, com inclinação inicial de 5° para a perfuração, ocorre então um erro de perfuração devido ao não posicionamento correto da haste. O desvio provoca um erro de 2° totalizando 7° para a perfuração real. Esse desvio de 2° na perfuração, comum e quase imperceptível ocasionará um erro de 0,35 m representando um desvio da posição desejada. Ao final dos 10 perfurados teremos uma relação de 1,230m contra os 0,875m desejados pela inclinação de 5°, representando um erro final de 40,3%.

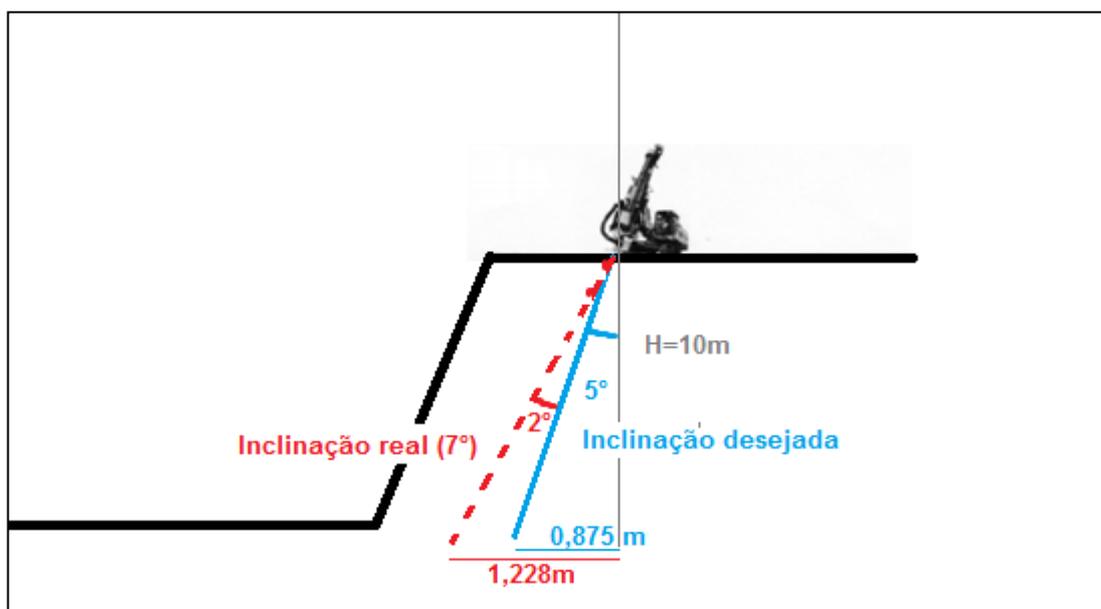


Figura 10 - Exemplo demonstrativo de desvio de perfuração.

Fonte: Autoria própria.

Se não existir sensibilidade para este efeito por parte dos operadores ou responsáveis das operações, estes desvios, quando no sentido da frente livre, darão

origem a projeções de pedras (ultra-lançamentos) que poderão resultar em acidentes graves, um risco para os equipamentos, para as infraestruturas envolventes, funcionários, animais e moradores de regiões vizinhas.

Na Tabela 2, pode-se observar a relação direta do desvio de furo com altura da bancada, mostrando sua influência direta na posição final dos furos traduzindo-se num desvio que aumenta proporcionalmente com a altura de bancada.

Tabela 2 - Relação entre desvio de furo (°) x altura da bancada (cm). Resultando no desvio final do furo (cm). Fonte: Autoria própria.

Desvio	Altura da Bancada (cm)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1°	1,80	3,60	5,40	7,20	9,00	10,8	12,6	14,4	16,2	18,0
2°	3,50	7,00	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0
3°	5,20	10,4	15,6	20,8	26,0	31,2	36,4	41,6	46,8	52,0
4°	7,00	14,0	21,0	28,0	35,0	42,0	49,0	56,0	63,0	70,0
5°	8,8	17,6	26,4	35,2	44,0	52,8	61,6	70,4	79,2	88,0
6°	10,5	21,0	31,5	42,0	52,5	63,0	73,5	84,0	94,5	105
7°	12,3	24,6	36,9	49,2	61,5	73,8	86,1	98,4	110,7	123
8°	14,1	28,2	42,3	56,4	70,5	84,6	98,7	112,8	126,9	141
9°	15,8	31,6	47,4	63,2	79,0	94,8	110,6	126,4	142,2	158
10°	17,6	35,2	52,8	70,4	88	105,5	123,2	140,8	158,4	176

2.6.5 - Dimensionamento da Perfuratriz

O equipamento de perfuração a ser utilizado foi dimensionado conforme a perfurabilidade da rocha que afeta diretamente o custo da perfuração e de forma a atender a produção requerida. A perfuratriz será rotopercussiva, modelo ROC equipada com coluna de perfuração com mecanismo de rotação e avanço acoplados, esses recursos permitem uma perfuração de furos verticais, inclinados e horizontais, com taxa média de perfuração de 8m/h com furos de 3" (76,2 mm). Esses equipamentos são capazes de fazer furos de 2 a 4" e perfurar até 30 m de profundidade, pesando entre 3000 kg e 6000kg.

Para desenvolver o cálculo do comprimento total perfurado(CTp) teremos:

$$CTP = N^{\circ} \frac{Furos}{mês} \times Hf \quad (1)$$

$$CTP = 90 \frac{furos}{mês} \times 10 metros = 900 metros/mês \quad (2)$$

Sendo H_f : Altura média perfurada.

Para definir a perfuratriz a ser utilizada se faz necessário a determinação do comprimento real perfurado (C_{rtp}), dado pela equação:

$$(C_{rtp}) = N_f \times D_m \times E_f \times T_p \quad (3)$$

Onde; N_f = Número de horas trabalhadas; D_m = Disponibilidade mecânica do equipamento; E_f = Eficiência do equipamento e T_p = taxa de perfuração.

$$C_{rtp} = 176h \times 85\% \times 80\% \times 8m/h = 957,44m$$

Logo temos como o número total de perfuratrizes (N_p) para a real necessidade da pedreira a seguinte relação:

$$N_p = \frac{C_{tp}}{C_{rtp}} = 0,94 \quad (4)$$

Portanto, serão perfurados cerca de 90 furos por mês a cada 18 dias de trabalho sendo necessária apenas uma perfuratriz do tipo ROC para atender a produção desejada da pedreira.

2.7 - DESMONTE DE ROCHAS E EXPLOSIVOS.

2.7.1 - Explosivos

O desmonte de rocha em pedreiras é realizado tradicionalmente por meio de explosivos. Embora vários problemas de ordem ambiental, tais como ruído, ultralanchamentos e vibrações transmitidas à vizinhança, a utilização intensa de explosivos, no desmonte em pedreiras, está associado à eficiência da técnica e aos custos envolvidos, muito menores do que no desmonte mecânico.

Explosivo é a substância, ou a mistura de substâncias químicas, que tem a propriedade de, ao ser iniciado convenientemente, sofrer transformações químicas violentas e rápidas, transformando-se em gases, que resultam na liberação de grandes quantidades de energia em reduzido espaço de tempo. O explosivo utiliza esta energia para arrancar o maciço rochoso que está adiante dele, no sentido da face livre ou de menor resistência. Ao chegar à frente livre da bancada, a onda de choque tende a arremessar o material da superfície por um efeito semelhante ao que acontece com uma série de bolas de bilhar: ao golpear – se a primeira das

bolas, o choque é transmitido por todas, sem que se movam do lugar, sendo somente a última da outra extremidade projetada para frente.

2.7.2 - Fatores na Seleção do Explosivo.

Os principais fatores técnicos de seleção de explosivos são os seguintes:

- Força de um Explosivo – É caracterizada pelo trabalho que um determinado explosivo é capaz de efetuar em condições normais de utilização. É expressa por unidade de peso ou unidade de volume, relativamente ao trabalho realizado pela unidade de peso ou volume de um explosivo tomando como referência a dinamite a 33% de nitroglicerina (GOMES et al., 2008).
- A força por unidade de peso de um explosivo pode ser calculada conhecendo o volume de gases libertados e o calor da reação (OLOFSSON, 1991).
- A eficiência deste é determinada não só pelo conhecimento da energia total libertada, mas também entre a relação desta e a que efetivamente é utilizada na fragmentação e movimentação da rocha.
- Velocidade de detonação – é a velocidade a que se propaga a decomposição ao longo do comprimento de uma carga explosiva (COOPER, 1997). Esta é tanto maior quanto maior for o confinamento da carga, dependendo de vários fatores como:
 - Diâmetro dos furos - quanto maior o diâmetro da carga, maior a velocidade de detonação. Cada explosivo tem o seu diâmetro crítico de utilização, abaixo do qual o fenômeno de detonação não se propaga (BHANDARI, 1997), também depende do tipo de explosivo e da temperatura do meio ambiente, logo do maciço rochoso;
 - Densidade do explosivo – É o peso específico do explosivo (AKHAVAN, 2004), pode variar entre 0,8 e 1,65 g/cm³.
 - Impedância do Explosivo – É o produto da velocidade de detonação pela densidade de carga do explosivo. É habitual a quando da escolha do explosivo para o desmonte de um maciço rochoso, utilizar o seguinte critério, a impedância do explosivo a utilizar deverá ser mais próxima da impedância acústica do maciço rochoso (produto da velocidade de propagação sísmica no maciço pela densidade da rocha que o constitui (GOMES et al., 2008).

- Sensibilidade – Traduz a aptidão de um explosivo à sua ativação pela detonação de outra carga próxima, medida pelo espaço máximo entre as duas cargas iguais, não confinadas, para o qual é possível a detonação da segunda carga provocada pela detonação por simpatia da primeira (coeficiente de auto-detonação); para assegurar uma conveniente velocidade de detonação é necessário assegurar uma adequada energia de ativação (GOMES et al., 2008).
- Segurança no manuseamento – É uma característica muito importante dos explosivos industriais permitindo o transporte e carregamento dos furos em condições de segurança.
- Toxicidade dos Gases – Os gases produzidos na reação são mais ou menos tóxicos (BHANDARI, 1997), causando um considerável mal-estar às pessoas que os inalam.
- Bom comportamento durante o armazenamento – Quando sujeitos a longos períodos de armazenamento, às vezes em condições deficientes, alguns explosivos vão perdendo as suas características, tais como a sensibilidade à iniciação e a aptidão à propagação da reação, reduzindo a sua eficácia (GOMES et al., 2008).

Uma melhor compreensão dos aspectos que envolvem o desmonte de rochas, com utilização de explosivos, é necessária o entendimento dos processos envolvidos na fragmentação da rocha.

2.7.3 - Fragmentação da Rocha

A fragmentação inicia com a detonação do explosivo e a partir desse momento ocorre uma interação da ação do explosivo com a rocha.

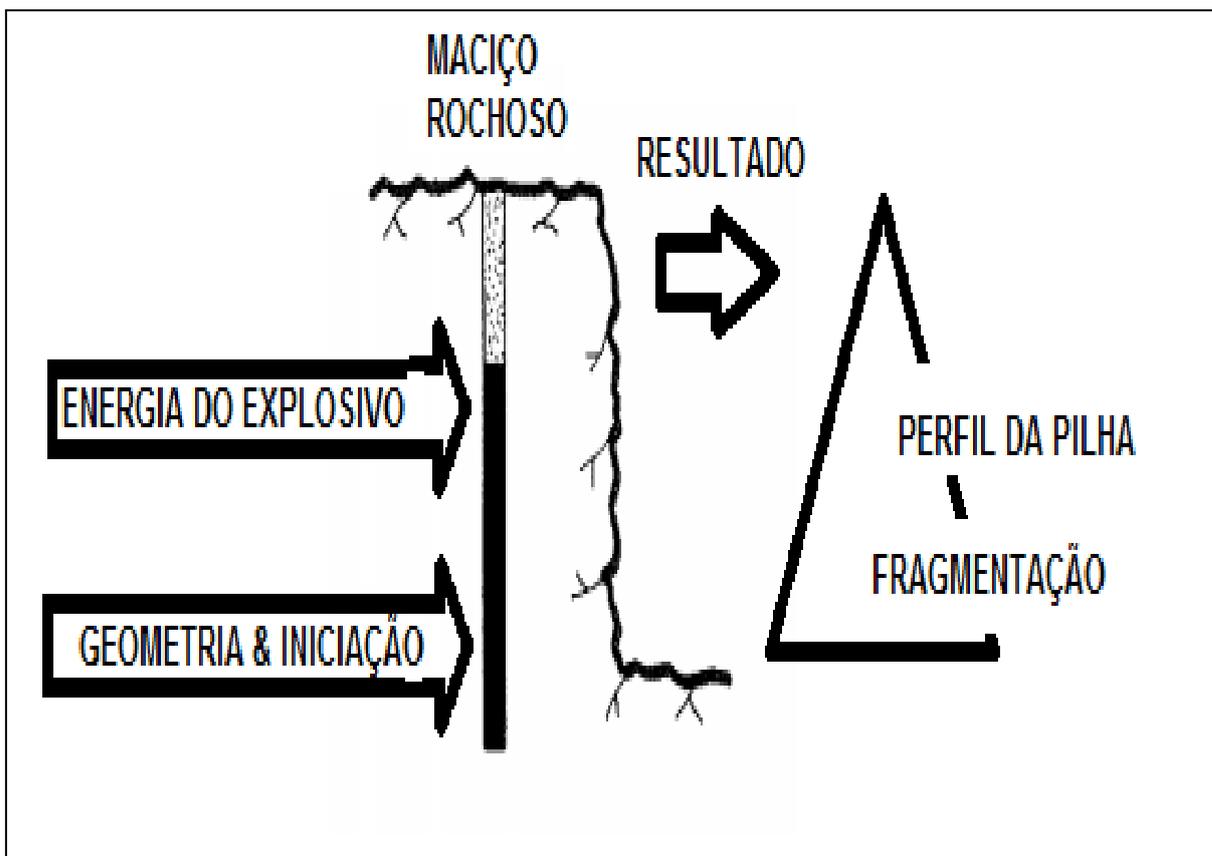


Figura 11 - Interação do Explosivo com o Maciço.

Fonte: Adaptação Manual de Agregados Construção Civil

O tipo do explosivo, a geometria da furação imposta ao maciço rochoso, o padrão de iniciação da detonação e as características do maciço rochoso são responsáveis pela fragmentação e formação da pilha desmontada. A detonação do explosivo promove uma liberação de enorme quantidade de energia na forma de calor e pressão de gases de forma rápida e violenta.

Os mecanismos envolvidos nos processos de fragmentação são: reflexão, expansão de gases, ruptura flexural, ondas de tração e expansão de gases, ondas de tração, expansão de gases e ondas de tração/defeitos, nucleação, torque e crateramento. Devido à alta temperatura de detonação, o volume atingido pelo explosivo pode chegar a aproximadamente 18 vezes o seu volume inicial (OLOFSSON, 1989).

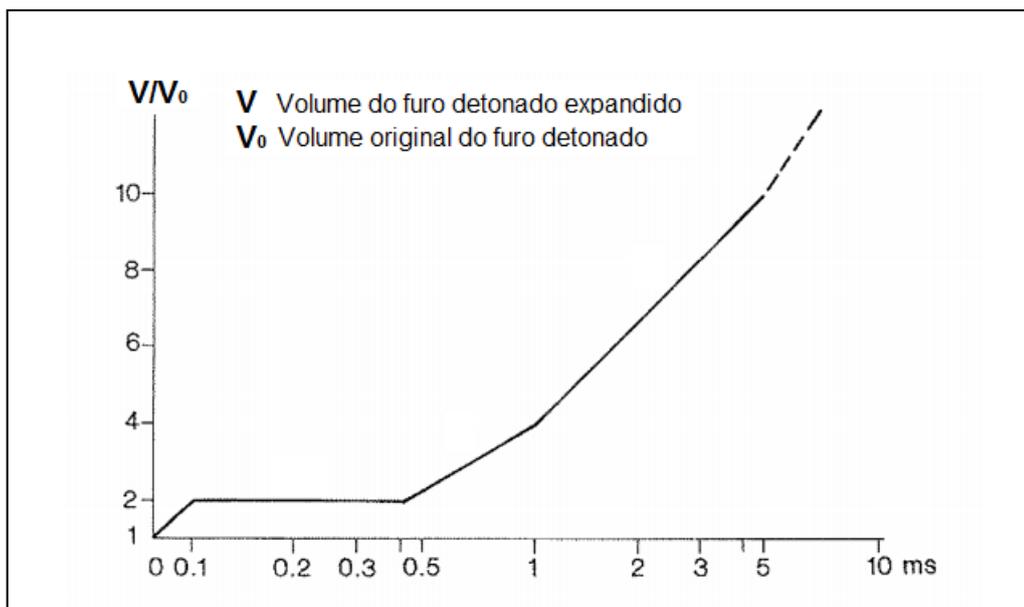


Figura 12 - Expansão volumétrica (V/V_0) em relação com o tempo (ms).

Fonte: OLOFSSON, 1989.

Após a detonação, uma onda de choque percorre a rocha com uma velocidade de 2.000 a 7.000 m/s dependendo do tipo de rocha e explosivo utilizado. Essa onda de compressão provoca microfissuras no entorno do furo carregado com explosivos, dando início ao processo de fraturamento da rocha (Figura 13). Na sequência, a onda de choque pode sofrer reflexões a partir de superfícies livres (face da bancada ou planos de descontinuidade existentes na rocha).

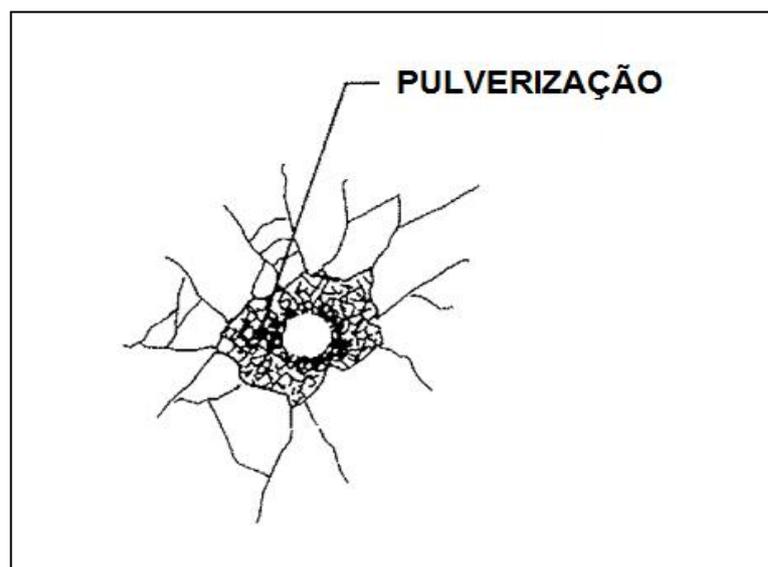


Figura 13 - Início do processo de fraturamento

Fonte: Adaptado de OLOFSSON, 1989.

As ondas de compressão são, então, transformadas em ondas de tração e cisalhamento, aumentando o processo de fraturamento (Figura 14). Observa-se o alargamento do furo pela onda compressional, com o aparecimento de fraturas radiais. As ondas de tração geradas pela reflexão das ondas de choque, nas superfícies livres, induzem a continuidade do fraturamento da rocha e o deslocamento (*spalling*) na face da bancada (SCOTT *et al.*, 1996). A seguir, grandes volumes de gás são liberados, penetrando e expandido as fissuras existentes. O gás pode promover, também, o lançamento da rocha no sentido da face da bancada e o mecanismo de ruptura flexural (Figura 15).

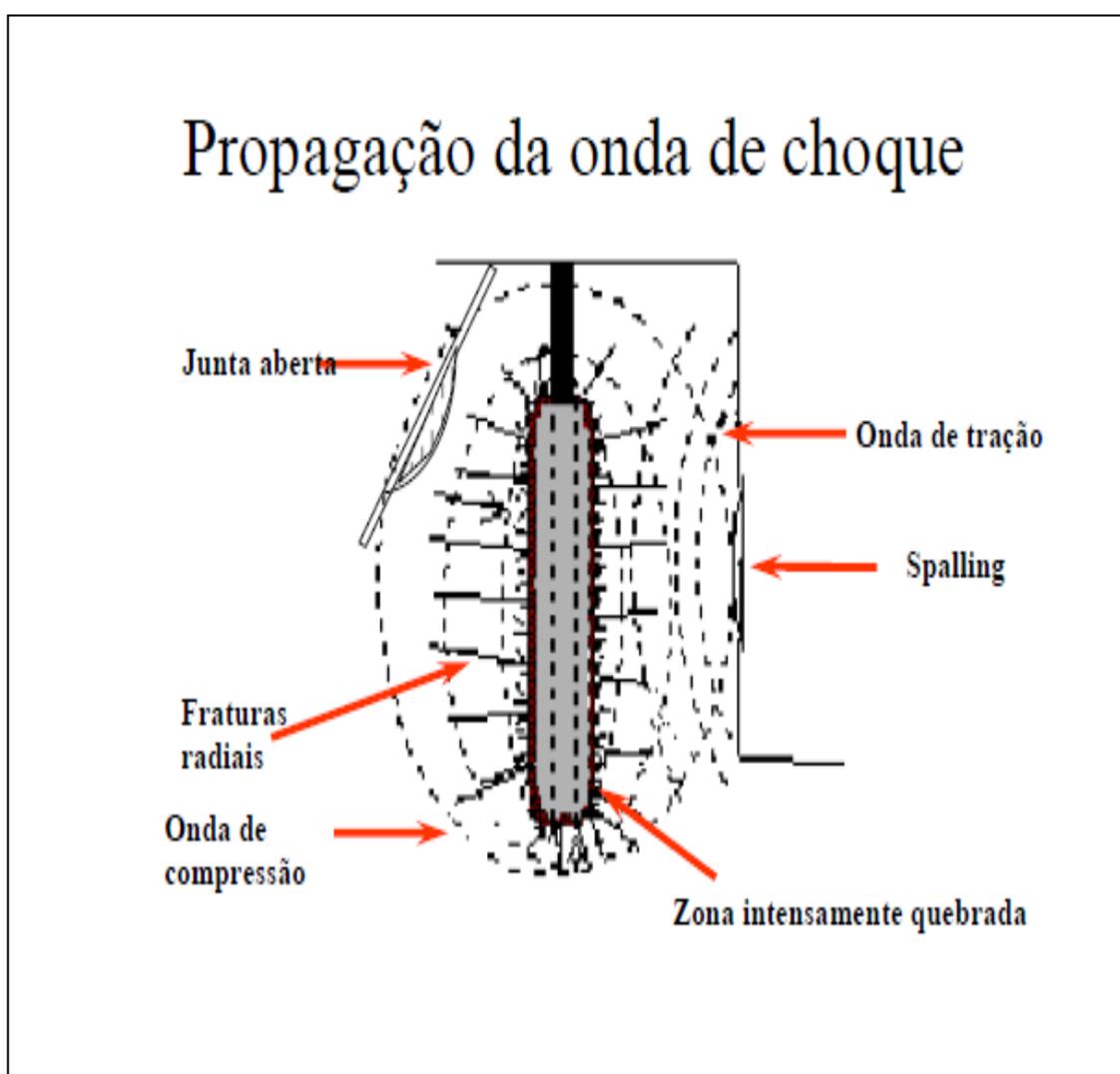


Figura 14 - Propagação da onda de choque no maciço rochoso.

Fonte: Modificado de SCOTT *et al.*, 1996.

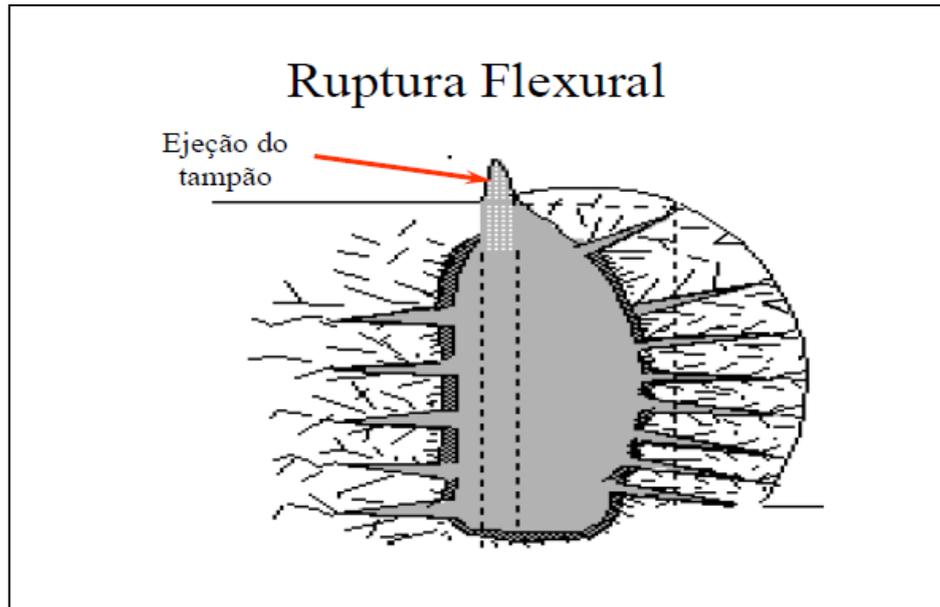


Figura 15 - Ruptura flexural da bancada promovida pela expansão dos gases
Promovendo o lançamento do material para frente da bancada.

Fonte: Modificado de SCOTT *et al.*, 1996.

O método de bancadas é o método mais comum para desmontes com utilização de explosivos. A organização dos furos paralelos a faces livres permite uma fácil fragmentação do maciço rochoso tornando, dessa forma, o método de bancadas em um dos métodos mais fáceis, eficientes e econômicos de desmonte. Temos, por fim, que a fragmentação da rocha pode ser influenciada pelos seguintes fatores:

A fragmentação no desmonte em bancada pode ser influenciada por:

- Estado da fratura natural do maciço rochoso;
- Características geomecânicas do maciço rochoso;
- Carga específica;
- Perfuração específica;
- Plano de Fogo;
- Sequência de iniciação;
- Inclinação da perfuração;
- Qualidade da perfuração (mínimos desvios);
- Dimensão da face livre.

2.7.4 - Plano de Fogo.

A elaboração do plano de fogo foi feita com apoio do Manual do Blaster, publicado pela Orica, onde possui todas as equações e características dos explosivos selecionados e tipos de rochas. As equações são para configurações típicas de detonação em rocha dura com face livre, note que vão existir casos que devemos considerar os aspectos específicos que podem variar os valores com os das equações.

REGRAS BÁSICAS:

- **Diâmetro Perfuração (D):** Uma escolha determinada pela capacidade da perfuratriz ROC e sua disponibilidade técnica, os valores mais comuns para diâmetros de perfuração são de 2" - 4"

$$D = 3" \quad (5)$$

- **Afastamento (A):** O Afastamento é a distância entre os furos e a face livre da bancada, para a primeira linha, a mesma distância de afastamento é repassado para linhas subsequentes. Para determinação do afastamento temos a seguinte equação:

$$A = (20 \text{ a } 40) \times D \quad (6)$$

- **Espaçamento (E):** O espaçamento é a distância entre furos de uma mesma linha de perfuração. O espaçamento possui uma relação com o afastamento sendo o valor de 1,15 a melhor distribuição de energia para malhas estageada (pé de galinha)

$$E = (1,1 \text{ a } 1,4) \times A \quad (7)$$

- **Subfuração (S):** É o comprimento do furo realizado além do nível horizontal da praça, o que evita a formação de repé, e é dada pela expressão:

$$S = (8 \text{ a } 12) \times D \quad (8)$$

- **Tampão (T):** O tampão tem a função técnica de na detonação formar uma barreira física contra o local de escape mais provável dos gases. Um tamponamento bem feito e correto auxilia o desmonte pois condiciona os gases da detonação aumentando a sua fragmentação.

$$T = (20 \text{ a } 30) \times D \text{ ou } (0,7 \text{ a } 1,2) \times A \quad (9)$$

O tamanho ideal do material do tampão (Tt) a ser utilizado deve seguir a equação:

$$Tt = (0,1) \times D \quad (10)$$

CÁLCULOS NA DETONAÇÃO

A Figura 16 tem como objetivo facilitar o entendimento dos cálculos feitos no plano de fogo antes das detonações:

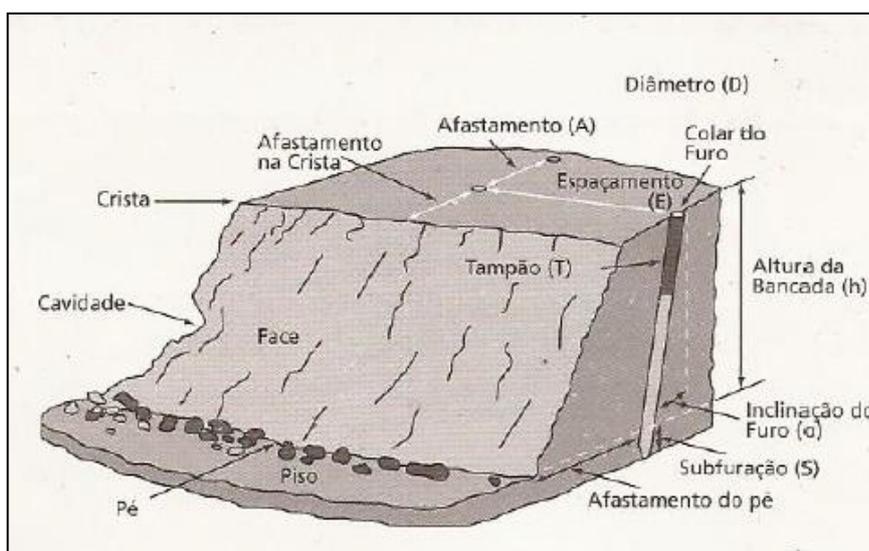


Figura 16 - Indicativo dos termos usados para Cálculos na detonação

Fonte: Modificado de Manual do Blaster, Orica.

- **Comprimento do furo (Cf):** Para efeito de carregamento o comprimento é subdividido em Tampão(T), carga de coluna e carga de fundo, para carregamentos feitos com emulsão bombeada não se faz essa distinção. O comprimento do furo é medido em metros e obtido através da equação:

$$Cf = (h / \cos \alpha) + S \quad (11)$$

- **Comprimento da carga (Cc):** O comprimento de carga é medido em metros, dado pela equação:

$$Cc = Cf - T \quad (12)$$

- **Massa de carga por furo (Mc):** Onde D é o diâmetro do furo em mm; ρ_{expl} é a densidade do explosivo em g/cm³.

$$Mc = \pi \times \frac{D^2}{4000} \times Cc \times \rho_{\text{expl}} \quad (13)$$

- **Volume de Rocha por furo (Vf):** Volume de Rocha por furo é medido em m³.

$$Vf = A \times E \times h \quad (14)$$

- **Volume total de detonação (Vt):** Onde N é o número de furos e o Volume total de detonação é medido em m³.

$$Vt = Vf \times N \quad (15)$$

- **Tonelagem total de detonação (Mt):** Tendo densidade da rocha (ρ_{rocha} medido em t/m³).

$$Mt = Vt \times \rho_{\text{rocha}} \quad (16)$$

- **Razão de carga (Rc).** Tendo como unidade kg/m³, dado pela equação:

$$Rc = Mc/Vf \quad (17)$$

2.7.5 - Informações Complementares

- **Tempos de retardos:** Temos como regras básicas para colocação do tempo de retardo a seguinte relação:

Tabela 3 - Relação entre tempos de Retardos

Fonte: Modificado de Manual do Blaster, Orica.

Tempo entre furos para fragmentação	3 a 8 ms por metro de espaçamento
Tempo entre linhas para lançamento	15 a 30 ms por metro de afastamento

- **Propriedades Típicas das Rochas:** Tratando-se de pedreiras temos como material mais comum às rochas, Basalto, Granito e Gnaisse, esse último é a rocha que compõe a Pedreira Esperança.

Tabela 4 - Propriedades Típicas das Rochas

Fonte: Modificado de Manual do Blaster, Orica.

Material	Densidade (g/cm ³)	Resistência compressão desconfinada (Mpa)	Módulo Young (N/m ²). (x10 ¹⁰)	Coefficiente de Poisson
Basalto	2,8 - 3,0	78 - 412	2 - 10	0,14 - 0,25
Granito	2,6 - 2,7	100 - 275	2,5 - 7,0	0,15 - 0,34
Gnaisse	2,6 - 2,9	78 - 240	2,5 - 6,0	0,1 - 0,19

O módulo de Young ou módulo de elasticidade, é um parâmetro mecânico que proporciona uma medida da rigidez de um material sólido. É um parâmetro fundamental para a engenharia e aplicação de materiais, pois

está associado com a descrição de várias outras propriedades mecânicas, como por exemplo, a tensão de escoamento, a tensão de ruptura e etc.

O coeficiente de Poisson mede a deformação transversal (em relação à direção longitudinal de aplicação da carga) de um material homogêneo e isotrópico. A relação estabelecida é entre deformações ortogonais.

- **Razões de carga:** Temos na Tabela 5 as razões de carga utilizadas em detonações primárias. Na Tabela 6 as razões de carga típicas utilizadas em detonações de pré-corte e amortecidas.

Tabela 5 - Razões de Carga para Detonações Primárias

Fonte: Modificado de Manual do Blaster, Orica.

Tipo de Rocha	Rc (kg/m ³)
Dura	0,7 - 0,8
Média	0,4 - 0,5
Macia	0,25 - 0,35
Muito Macia	0,15 - 0,25

Para o Gnaisse da Pedreira Esperança consideramos a rocha do tipo Dura.

Tabela 6 - Razões de carga para Detonações de pré-corte e amortecidas

Fonte: Modificado de Manual do Blaster, Orica.

Tipo de Rocha	Rc (kg/m ³)
Dura	0,6 - 0,9
Média	0,4 - 0,5
Macia	0,2 - 0,3

2.7.6 - Plano de Fogo na Pedreira Esperança.

Revisada todas as informações para obtenção de um plano de fogo, segue abaixo um plano de fogo modelo da Pedreira Esperança (Tabela 7). Lembrando que alguns parâmetros como; número de furos, altura da bancada e razão de carregamento podem modificar entre os desmontes. No apêndice deste trabalho podemos encontrar mais informações contidas no plano de fogo, como tempo de amarração e análise dos resultados.

Tabela 7 - Plano de Fogo aplicado na Pedreira Esperança.

Fonte Pedreira Esperança

Dados Importantes	Símbolo	Qnt	Material Utilizado	Qnt
Espaçamento	E	3,2 m	Emulsão Bombeada	7845 kg
Afastamento	A	1,6m	Emulsão Encartuchada 2" x 24	150 Kg
Quantidade de Furos	N	91	Nonel de Coluna 21m x250 ms	91 unid
Diâmetro do Furo	D	3"	Nonel de Coluna 6m x 275ms	91 unid
Altura média dos furos	H	18 m	Nonel de Ligação 4m x 25ms	34 unid
Tamponamento Médio	T	2m	Nonel de Ligação 4m x 42 ms	57 unid.
Carga média por furo	Mc	87,86 kg	Booster 150g	182 und
Volume aproximado	Vt	8374,8m ³	Espoletados	8 unid
Volume empolado	Ve	12562 m ³		
Razão de carga	Rc	0,9544kg/m ³		
Carga máxima indicada	C _{imax}	133,2 kg		
Carga máxima atingida	C _{amax}	96,8 kg		

2.8 - SERVIÇOS TERCEIRIZADOS NO DESMONTE DE ROCHA.

A terceirização nos serviços de desmonte e perfuração de rochas em pedreiras já é uma realidade para pequenas e médias empresas. O alto custo associado ao desmonte faz com que essas pequenas unidades não tenham perfeitas condições para arcar com custos trabalhistas, adequações de segurança e jurídicas que a atividade do desmonte de rochas exige.

Uma alternativa do mercado são as empresas terceirizadas em desmonte de rocha, este formato de contrato torna-se bastante rentável para as médias e pequenas que, por um custo fixado no contrato, contam com uma equipe capacitada para o manuseio, aplicação dos explosivos e também ganham a vantagem de compartilhar os tramites legal perante os órgãos fiscalizadores.

Os aumentos dos assaltos a banco usando explosivos têm aumentado à fiscalização e as exigências legais do exército quanto à construção e posse de paiol e paiolim nas pedreiras. Muitas unidades têm encontrado a solução nas empresas terceirizadas de desmonte de rocha. Não se faz, mas necessário às minerações possuírem paiol próprio, basta contratar os serviços de desmonte, esses serviços

aplicam o explosivo necessário para o plano de fogo e retornam com o explosivo excedente, eximindo de responsabilidade a mineradora quanto à posse do explosivo.

2.8.1 – Aspectos legais

A atividade mineradora encontra-se associada ao uso de explosivos industriais objetivando a desagregação do material rochoso para aproveitamento comercial ou a simples remoção para alguma obra de engenharia.

O manuseio do explosivo desde a sua estocagem, o transporte, carregamento e detonação implicam em grandes riscos, consequentes da alta periculosidade de que são providos.

Estes riscos são representados pelos danos físicos ou materiais que podem ocasionar a terceiros, os quais ao verem-se prejudicados recorrerão com predominância a um órgão policial e, posteriormente, a uma ação indenizatória (civil).

Normalmente, a ação penal recairá sobre o responsável técnico (engenheiro e Blaster) e a ação civil no contratante (em geral, a empresa); assim, cumpre destacar a responsabilidade penal do engenheiro ou Blaster, pois, o mesmo será incurso no crime de natureza culposa caracterizado por negligência, imprudência ou imperícia.

Com isto, em caso de inquérito policial, poderão ser requeridas provas técnicas ou periciais que materializem o fato delituoso; neste momento, surge o perito, profissional com conhecimentos, isenção e habilitado a buscar vestígios do fato e relacionar sempre sob a ótica científica, procurando buscar a verdade irrefutável.

2.8.2 - Registros

Art. 40 – As pessoas físicas ou jurídicas, registradas ou não, que operem com produtos controlados pelo Exército, estão sujeitas à fiscalização, ao controle e as penalidades previstas neste Regulamento e na legislação complementar em vigor.

Art. 41 – O Registro será formalizado pela emissão do TR ou CR, que terá validade fixada em até três anos, a contar da data de sua concessão ou revalidação, podendo ser renovado a critério da autoridade competente, por iniciativa do interessado.

Art. 44 – O Registro somente dará direito ao que nele estiver consignado e só poderá ser cancelado pela autoridade militar que o concedeu.

2.8.3 - Tecnologias agregada aos serviços terceirizados

Um aspecto positivo são as novas tecnologias que as empresas terceirizadas em desmonte trazem para a mineração é estarem sempre competitivas perante a concorrência do mercado. O inclinômetro surge como um serviço de perfilometria de bancada, a fim de garantir uma maior segurança no carregamento dos explosivos evitando os riscos de ultra-lançamentos no momento do desmonte. Além de perfilometria de bancada, muitas empresas terceirizadas fornecem monitoramento sismográfico, paiol móvel, serviços topográficos, uso de laser profile para marcação de furos, treinamento de funcionários análise computacional de fragmentação e acompanhamento e ajustes no plano de fogo.

Todos esses serviços agregados ao custo-benefício tem feito com que o mercado de serviço terceirizado em desmonte de rochas continue em ascensão no país.

3 – METODOLOGIAS NO USO DO INCLINÔMETRO

Os inclinômetros são utilizados com o objetivo de mensurar deslocamentos horizontais, superficiais e em sub-superfície. Em especial, inclinômetros vêm sendo utilizados extensivamente para medição e registro dos dados referentes ao deslocamento horizontal de um determinado ponto no interior de um maciço, avaliando a estabilidade de taludes em barragens, obras rodoviárias, escavações a céu aberto, mineração, etc.

3.1 - DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO.

O inclinômetro é um instrumento (Figura 17) que realiza medidas de inclinação composto normalmente de uma probe que consiste em um instrumento de leitura com haste cilíndrica denominada sonda ou torpedo. Este instrumento é resistente à água e dotado de um pêndulo em seu interior que mede com grande precisão a inclinação do instrumento em relação aos deslocamentos e, portanto a inclinação do furo no ponto considerado.

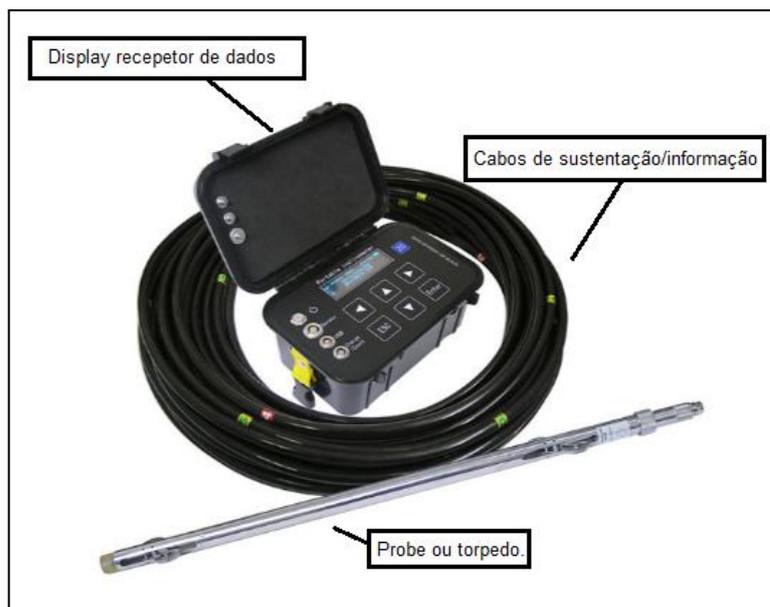


Figura 17 - Descrição do equipamento Inclinação..

Fonte: Geosense.

3.1.1 – Sonda, Probe ou torpedo.

A Sonda, também chamada de probe ou torpedo, do inclinômetro é confeccionado em aço inoxidável e vedado em relação à entrada de água, para não prejudicar o funcionamento eletrônico. Quando estiver em uso dentro de um furo de perfuração, a sonda estará submetida às condições do ambiente natural.

Tabela 8 - Informações técnicas da sonda do inclinômetro

Fonte: sonda Geosense.

INCLINÔMETRO - SONDA OU TORPEDO	
Distância entre eixos	0,5 m
Diâmetro da sonda	25,4 mm
Comprimento da Sonda (com conector)	710 mm
Peso da sonda	1,4 kg
Inclinação máxima	$\pm 30^\circ$ da vertical
Precisão do sistema	± 2 mm por 25 m
Variação de temperatura	De -40°C a $+70^\circ\text{C}$

3.1.2 - Cabo elétrico.

O cabo elétrico de sustentação, alimentação e leitura a ser utilizado no torpedo do inclinômetro são fixados na saída superior do torpedo, existe a necessidade de seis fios ou condutores internos dentro do cabo. O primeiro par de fios serve para alimentar os acelerômetros instalados com corrente contínua de 8V.

Os outros dois pares de fios servem para permitir a leitura da tensão de saída. Entretanto, o principal critério na escolha do cabo elétrico não é o seu funcionamento elétrico, mas sim seu funcionamento mecânico. Resistindo a força de tração gerada pela sonda e força de atrito gerada pela rocha.

A massa do torpedo é aproximadamente 1,4 kg, e deve ser sustentada pelo cabo elétrico sem que o mesmo se deforme significativamente enquanto sofre esforço de tração contínuo por sustentar. Mais especificamente, o cabo não pode sofrer deformações significativas em serviço, porque alteraria o comprimento do cabo e, conseqüentemente, a medida da profundidade de cada leitura. A indeformabilidade do cabo é de fundamental importância para a avaliação correta da profundidade em que cada leitura é executada.

Tabela 9 - Informações técnicas do cabo do inclinômetro

Fonte: Sonda Geosense.

INCLINÔMETRO CABO ELÉTRICO	
Diâmetro do cabo	6,4 mm ($\pm 0,1$)
Peso do cabo (50m)	2,3 kg
Resistência a tração	5,90 KN
Comprimentos	30; 50; m

3.2 - FUNCIONAMENTO DA SONDA.

O princípio de funcionamento do sensor da sonda é o de um acelerômetro de equilíbrio de forças. A explicação física do acelerômetro, ver Figura 18, está baseada em um pêndulo suspenso e fixo.

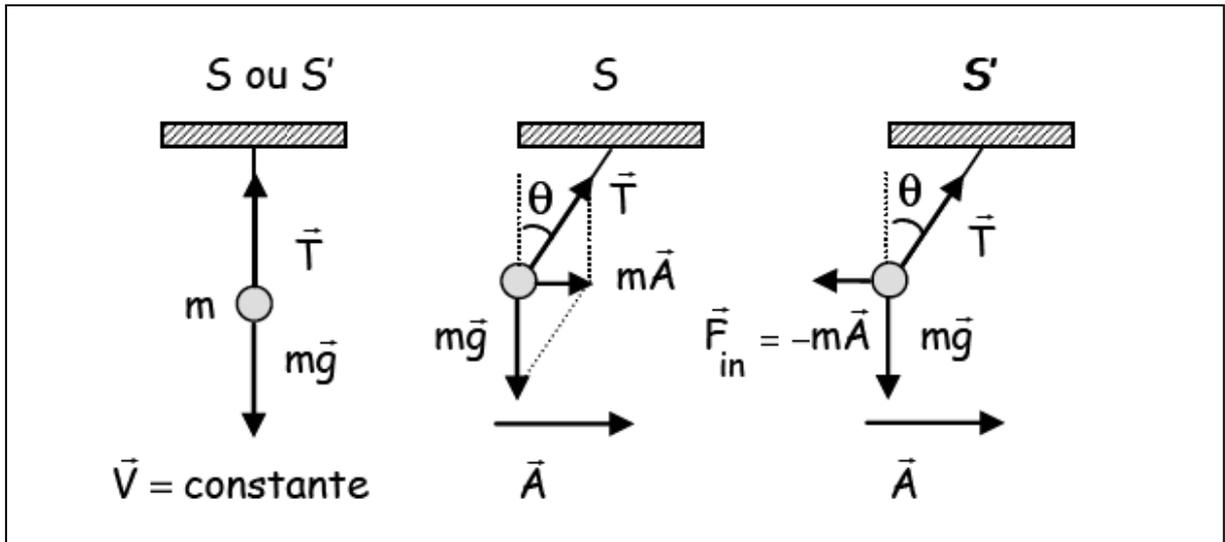


Figura 18 - Princípio de funcionamento do sensor - pêndulo suspenso.

Fonte: Craig, 2007

Na ausência de movimento, o pêndulo permanece em repouso na posição vertical em S e S' e nos dois referenciais:

$$T + (mg) = 0.$$

Se houver uma aceleração A o fio passa a formar um ângulo " θ " com a vertical. Em S temos:

$$T + (mg) = mA.$$

Em S' o pêndulo está em equilíbrio sob ação da força peso, da tensão do fio e da força inercial, ou seja:

$$T + (mg) - (mA) = 0$$

ou em termos de componentes:

$$T \cdot \cos\theta = mg \text{ e } T \cdot \sin\theta = mA \Rightarrow A = g \cdot \tan\theta .$$

A diferença fundamental entre forças de inércia e forças verdadeiras é que as forças de inércia não resultam da interação entre sistemas físicos e, portanto, não obedecem ao princípio da ação e reação.

O acelerômetro consiste em uma massa suspensa entre dois eletromagnetos, uma bobina detectora e uma bobina restauradora. Um movimento lateral da massa

causa uma corrente na bobina detectora. A corrente é conduzida por meio de um servoamplificador à bobina restauradora que transmite à massa uma força eletromotriz igual e oposta ao componente da força gravitacional que causou movimento inicial. Dessa forma, as forças são equilibradas, e na realidade, a massa não se move.

A voltagem através do resistor no circuito de restauração é proporcional à força restauradora e, por conseguinte, ao ângulo de inclinação da sonda. Essa voltagem é medida e o voltímetro pode ser calibrado para fornecer tanto o deslocamento angular como horizontal. A posição vertical da sonda é obtida a partir das marcações graduadas no cabo preso ao dispositivo. O uso de outro par de ranhuras permite que sejam determinados os movimentos na direção ortogonal. A Figura 19, apresenta esquematicamente o acelerômetro de equilíbrio de forças.

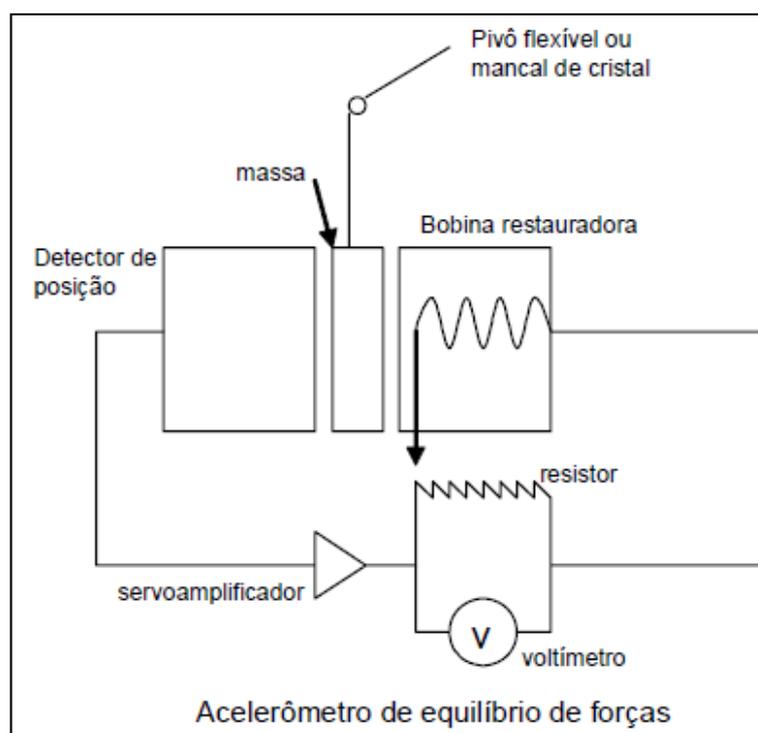


Figura 19 - Esquema de um acelerômetro

Fonte: Craig, 2007.

A inclinação do furo é medida em intervalos constantes para obtenção dos deslocamentos horizontais. A realização de leituras, Figura 20, do inclinômetro, exige uma equipe de técnicos qualificados e experientes, devido a perigo da operação próximo a crista da bancada, sendo necessário aos operadores o devido

treinamento em segurança do trabalho e uso de equipamentos de segurança quando for necessário.



Figura 20 - Medição das inclinações do furo na Pedreira Esperança.

Fonte Autoria Própria

Os dados devem ser tratados com auxílio de programas de computadores. Eles são transferidos para o computador usando um programa criado pelo próprio fabricante, neste caso o programa utilizado é o "Visualizador de Dados do Inclinômetro SDF" criado e distribuído pela ZTEX.

O processo resume-se na medição do deslocamento horizontal de um determinado ponto em relação a uma leitura inicial (L), essa leitura realizada pelo display SDF, tornando ponte de amarração e referencial para os demais furos. Medido a inclinação " θ " a uma dada profundidade, o deslocamento horizontal (d_1 a d_n) em relação à vertical é dado pela fórmula da Figura 21.

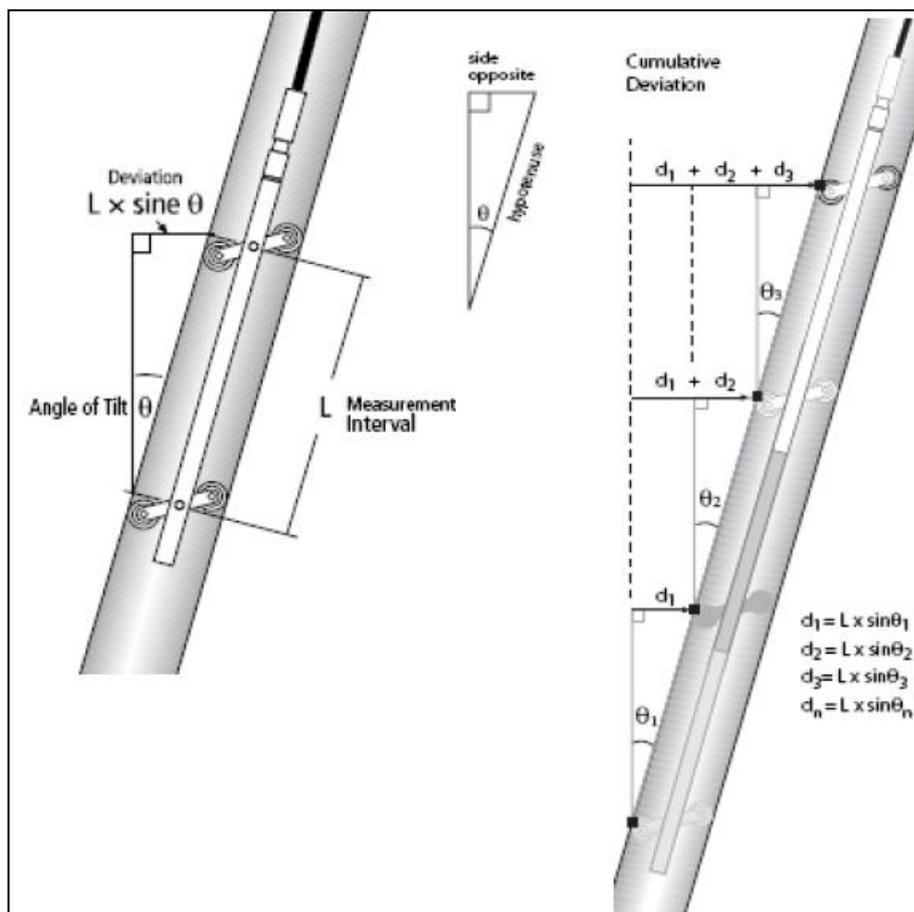


Figura 21 - Princípio para determinação do deslocamento horizontal com o Inclinômetro removível

Fonte: DUNNICLIFF, 1988, adaptado.

Para tanto há necessidade da introdução de uma sonda dotada, de um acelerômetro ligado a um cabo elétrico, graduado de metro em metro, numa perfuração vertical previamente realizada no terreno.

A inclinação da sonda e conseqüentemente do furo, é convertido em desvio horizontal de deslocamento, comparado com a leitura anteriormente realizada imediatamente antes dessa medição. Os dados são registrados display SDF, para serem processados em “software” específico, gerando tabelas e gráficos para serem analisados.

O custo do inclinômetro usado no estudo está próximo à faixa dos R\$30.000,00 reais.

3.3 - CONTROLES DA INCLINAÇÃO E PROFUNDIDADE NA PERFURAÇÃO

Para que o resultado do desmonte de rocha com explosivos seja eficiente, é necessário, acima de tudo, que a perfuração seja executada com os parâmetros pretendidos, tendo sempre em atenção a direção, inclinação e profundidade dos furos. Só desta forma se conseguirão resultados finais eficientes, com vista ao aumento da produtividade e à redução de custos em todo o processo (perfuração, carga de explosivos, acessórios de detonação, fragmentação secundária, carga e transporte do material e sector da britagem).

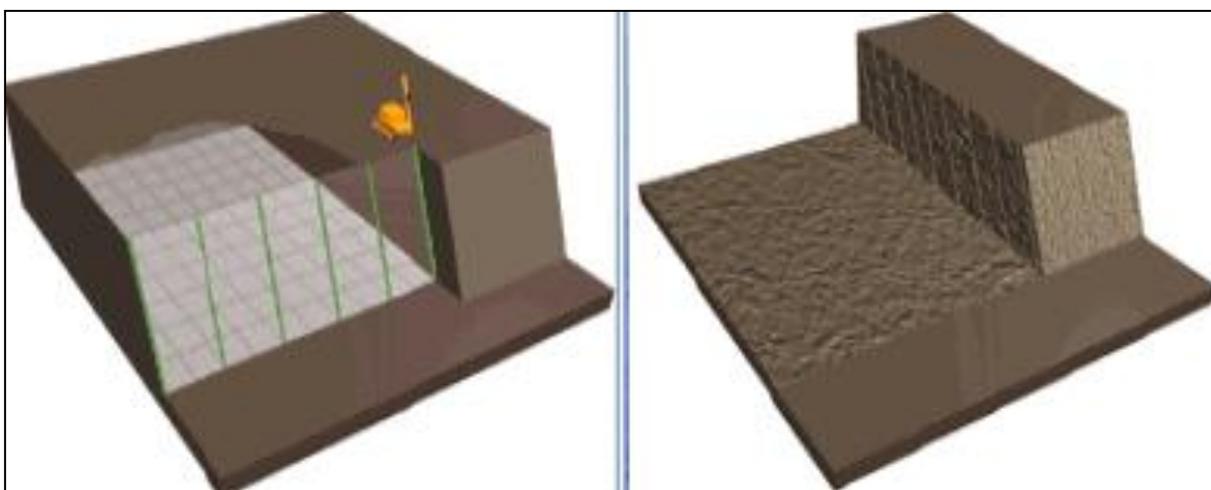


Figura 22 - Perfuração executada com os furos alinhados (esquerda) e Resultado final com furos alinhados (direita).

Fonte: Transtronic bench-drilling-application.

A Figura 22 (esquerda) ilustra um exemplo de como a perfuração deve ser executada em condições ideais, com todos os furos estão perfeitamente alinhados, em termos de direção, inclinação e profundidade. Face ao rigor da perfuração o resultado é positivo como se pode ver na Figura 22(direita), obtendo-se uma plataforma nivelada e frente estável com melhoria para a segurança dos trabalhadores e equipamentos.

A Figura 23(esquerda) evidencia a diferença entre o rigor e a falta do mesmo, com a inclinação, direção dos furos e profundidade incorreta. Em consequência, o perfil da bancada e da soleira serão irregulares e obrigarão a que os equipamentos de carga tenham um maior tempo de ciclo, exista uma maior percentagem de blocos de dimensão superior ao desejado, a entrada dos equipamentos de carga no

escombro do rebentamento será mais complicada, as irregularidades dificultarão a operação dos equipamentos de carga, a velocidade de circulação dos dumpers será inferior e a drenagem dificultada com consequências para a manutenção dos equipamentos.

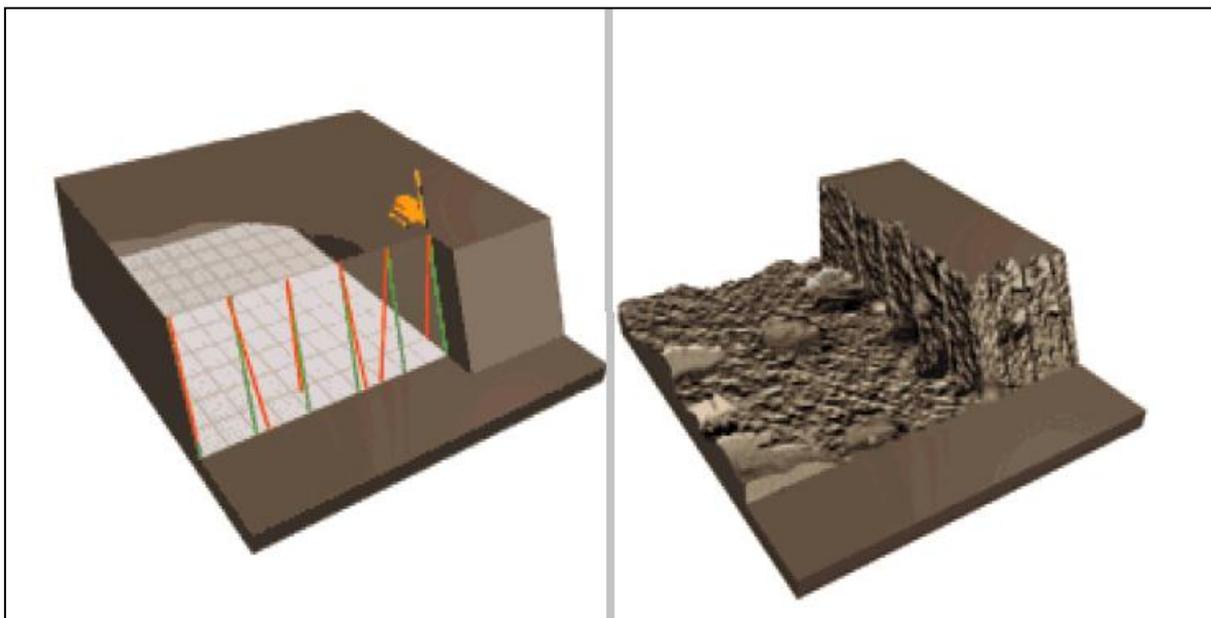


Figura 23 - Falta de rigor relativamente direção e inclinação dos furos (esquerda) e Resultado final da perfuração sem rigor (direita).

Fonte: Transtronic bench-drilling-application

O resultado econômico final não será o desejado, já que irão aumentar forçosamente os custos de todas as operações subsequentes ao desmonte de rocha, aumentando diretamente o custo de produção (Figura 23 direita).

3.3.1 - Posicionamento inicial e final do furo.

O posicionamento dos furos à superfície deve ser marcado de forma rigorosa. Como se pode verificar nas Figuras 24 e 25, apesar de os furos estarem bem posicionados à superfície (com marcação rigorosa da relação A/E), tal não se verifica em profundidade, o que irá influenciar o resultado final do desmonte de rocha em termos de fragmentação. De uma forma generalizada, os responsáveis pelos centros de produção não têm conhecimento de como os furos estão posicionados em profundidade, logo não tomam as medidas necessárias para evitar os desvios e maximizar a fragmentação. Estes desvios devem-se à vários fatores, são esses:

- Mau posicionamento da coluna de perfuração em termos de direção e inclinação (sistema de inclinação avariado, ou incorreta utilização);
- Superfície inicial de perfuração com material afetado dos desmontes (pode estar relacionado com erros de comprimento do furo anteriores);
- Desvios relacionados com a natureza geológica do local;
- Desvios por flexão das hastes.

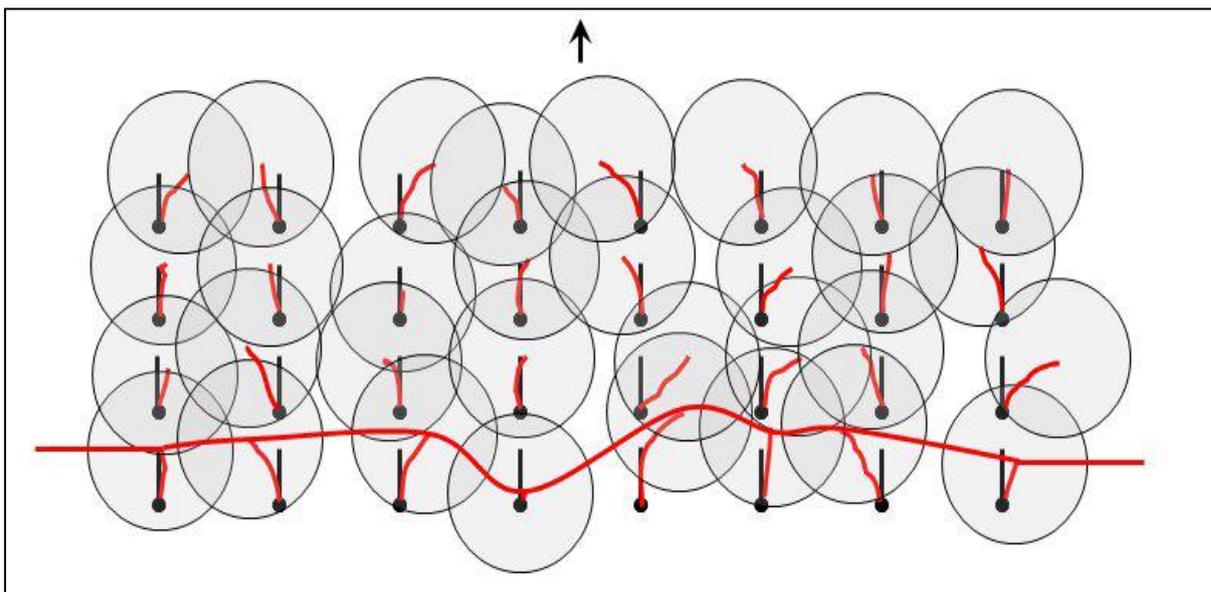


Figura 24 - Raio de influência de cada furo ao nível da soleira condicionado pelo Desvio dos furos

Fonte: Adaptado de: Sandvik, 2006.

A situação ótima está de acordo com a Figura 25, ou seja, todos os furos têm a posição inicial e final de acordo com o planejado. Logo, a distribuição das cargas explosivas será uniforme quando inseridas no interior do maciço rochoso. Desta forma, influenciará diretamente o aumento da fragmentação, evitando o aparecimento de irregularidades na plataforma de trabalho, tendo efeitos imediatos no aumento da produtividade e reduzindo o aparecimento de blocos de dimensão superior ao desejado em percentagem elevada.

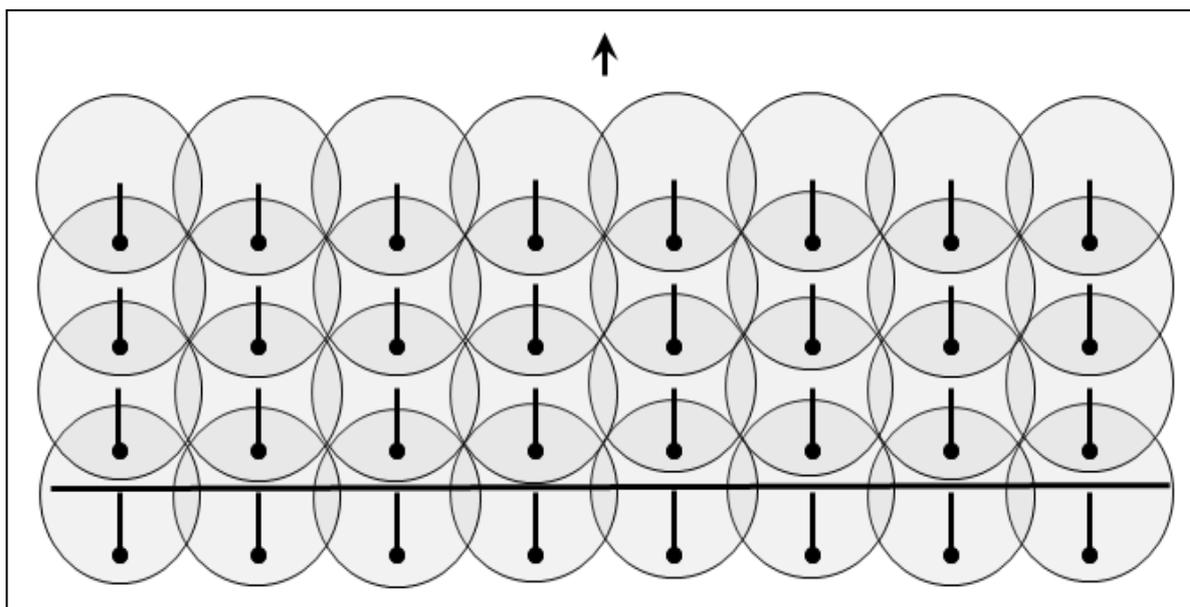


Figura 25 - Raio de influência de cada furo ao nível da soleira na situação ideal

Sem desvios

Fonte: Adaptado de: Sandvik, 2006.

3.4 - USOS DO INCLINÔMETRO NA PEDREIRA ESPERANÇA

O uso em desmonte de rochas do inclinômetro permite melhorar a supervisão e correção da inclinação dos furos e deste modo obter os melhores resultados em termos de fragmentação, produtividade (mais carga), maior segurança em termos do desmonte (com bancadas estáveis e redução de ultra-lançamentos). Na prática trata-se de alinhar a perfuração em termos de distância à frente com a inclinação ajustada de modo a obtermos a correta distância à frente para a concentração de carga prevista.

As medições realizadas com o inclinômetro na Pedreira Esperança foram aplicadas pela Opex, empresa terceirizada em desmonte de rochas que realizam medições com inclinômetro e sismografias como parte do seu portfólio. Durante esse período estive como funcionário/estagiário na Opex e participei de todas as medições na unidade.

Durante o processo de medição do inclinômetro seguimos uma metodologia de aplicação e posteriormente levamos o resultado do levantamento para o software específico e entregamos para o cliente um relatório detalhado do inclinômetro, com suas respectivas inclinações e possíveis pontos críticos que poderiam ocasionar ultra-lançamento.

3.4.1 - Metodologia de aplicação do inclinômetro.

Primeiramente visitamos a unidade da Pedreira Esperança um ou dois dias antes do desmonte programado. Esse tempo é necessário para que os trabalhos de perfuração, na unidade, já estejam terminados, se a bancada não estiver totalmente perfurada deve-se focar em perfurar ao menos toda a primeira linha.

A primeira linha é a única linha que é feita a medição do inclinômetro (Figura 26), a Opex como empresa de desmonte de rochas e explosivos visa, usando o inclinômetro, garantir ao cliente a segurança do desmonte evitando ultra-lançamentos. A Pedreira Esperança, também, usa os resultados obtidos da primeira linha um indicativo da eficiência de sua perfuração. Posteriormente, se for observada uma grande quantidade de erros de perfuração, cabe a Pedreira Esperança usar recursos próprios para realizar medições de inclinômetro em todos os seus furos perfurados.



Figura 26 - Linha onde são realizadas as medições de inclinação usando o inclinômetro.

Fonte Autoria Própria

Segue abaixo os procedimentos adotados para aplicação das medições usando o inclinômetro.

- **Definir pontos de amarração X e Y na sonda:** O primeiro furo medido pelo inclinômetro também é o principal furo no processo. Esse furo serve como ponto de amarração onde o display “apaga” todos os dados anteriores e definem neste ponto o referencial de inclinação para os planos x, y e z.

Devemos posicionar a sonda com a marcação prateada voltada para frente da bancada, posicionar a sonda com 0° de inclinação tanto no eixo x quanto y. Esse último passo é feito manualmente, o display do inclinômetro

mostra as inclinações em tempo real e o operador, deve com muito cuidado, movimentar a sonda a fim de obter da probe o valor de 0° de inclinação para o eixo X e 0° de inclinação para o eixo Y.



Figura 27 - Marcação prateada indicando a posição que deve estar de frente para a bancada.

Fonte Autoria Própria

- **Configurar o display SDF do inclinômetro:** O Display SDF capta todas as informações marcadas no inclinômetro. Ele possui um menu simples, em português, eficiente e de rápido entendimento. A sonda do inclinômetro é baixada metro a metro no furo, para cada metro é realizada uma medição de sua inclinação, ao final das medições teremos um perfil de inclinação para o furo.



Figura 28 - Display SDF do inclinômetro da ZTEX

Fonte Autoria Própria.

É necessário que o operador observe se, a cada metro de profundidade, o display estará captando as informações do inclinômetro.

- **Uso do Inclinômetro em todos os furos da primeira linha:** Após medir o primeiro furo o operador indicará no display a marcação de um "novo furo" e assim repetir o procedimento sucessivamente até o fim de todos os furos na primeira linha.

O afastamento real é o valor do afastamento que temos referente a todos os furos da primeira linha, sendo assim representam a distância dos

furos da primeira linha para a crista da bancada, muitas vezes na prática esses valores de afastamento não apresentam o mesmo valor do mesmo valor pretendido no plano de fogo.

Deve ser realizada nesse passo a captação de todos os afastamentos reais dos furos da primeira linha. Para isso o operador, com ajuda de uma trena métrica, deve medir a distancia da crista da bancada até o furo da primeira linha, obtendo assim o valor do afastamento real.



Figura 29 - Medição do afastamento real

Fonte Autoria Própria.

- **Uso da Trena Laser para gerar o perfil da face da bancada dos furos:**

A trena laser da marca Leica (Figura 30), vem integrada ao conjunto de operação do inclinômetro. Com ela o operador deve se deslocar para a praça onde esta a face da bancada, e ficar de frente ao furo (Figura 31). Nesse momento o operador deve se posicionar com bastante cuidado de frente ao furo que foi monitorado pelo inclinômetro.



Figura 30 - Trena laser Leica, usada conjuntamente com o inclinômetro.

Fonte Leica Geosystems:

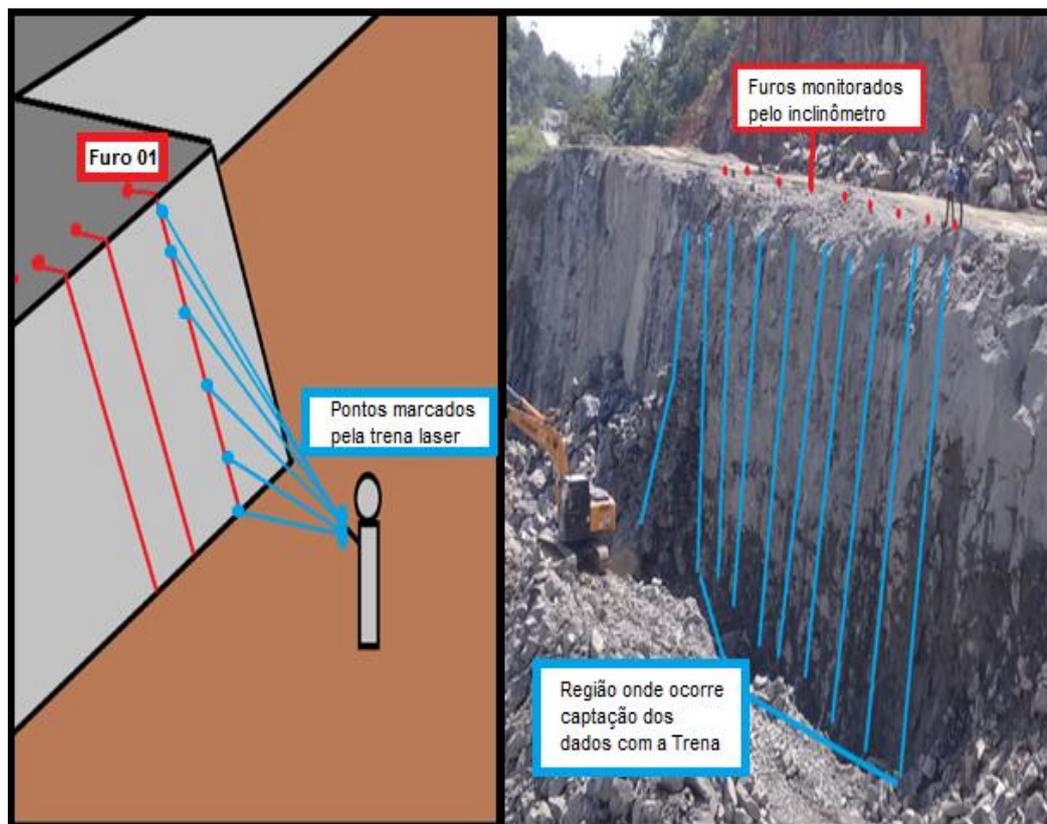


Figura 31 - Uso da trena laser para realizar o perfil da face da bancada.

Fonte Autoria Própria

De frente ao furo alvo, o operador da trena laser deve realizar as medições de distância e inclinação referente à face da bancada, é recomendável para cada metro de altura na bancada realizar uma medição. Essas informações da trena laser são transferidas por Bluetooth para um celular modelo SAMSUNG, configurado previamente para receber as informações e salvar em um arquivo. Xlsx (Excel). Cada marcação realizada pela trena laser memoriza duas informações sobre o ponto (inclinação em graus e distância do furo em metros).

A figura 32 mostra um exemplo de arquivo gerado pela trena laser para o computador. Em vermelho na horizontal estão os valores referentes ao afastamento real de cada furo em metros. As colunas A, B, C e etc. representam cada uma, respectivamente um furo da primeira linha em que foi utilizado o inclinômetro. Sendo assim a coluna A se refere ao furo 01, a coluna B ao furo 02, e assim por diante.

Cada face medida pela trena laser é captada e passada para arquivo de Excel representando as colunas verticais. Cada medição da face é

agrupada em blocos de informações, contendo a distância em metros da face da bancada e sua inclinação. Na figura 32 podemos observar o bloco chamado Face 01 que representam essas medições

Quanto mais dados forem captados por face de furo mais informações teremos sobre a face da bancada ajudando ao detalhamento do relatório.

Um valor obtido na pratica dos trabalhos foram que para cada 2m de altura da bancada deveríamos fazer a captação de uma informação na trena laser. Sendo assim para uma bancada de 10 metros a captação de 5 valores bem distribuídos pela trena laser são capazes de gerar um relatório do inclinômetro satisfatório.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1.8	1.9	1.6	2	1.8	1.7	2	2.1		
2	7,872									
3	21,50°									
4	7,747									
5	11,55°									
6	7,175									
7	4,15°									
8										
9										
10	9,816									
11	32,05°									
12	8,473									
13	23,90°									
14	7,507									
15	15,85°									
16	6,925									
17	8,90°									
18										
19	9,959									
20	32,20°									
21	8,694									
22	23,90°									
23	5,946									
24	5,55°									
25	5,853									
26	-1,65°									
27										
28	10,451									

Figura 32 - Modelo de valores exportados da trena laser para Excel

Fonte Autoria Própria

Esse momento da operação é bastante crítico e merece um cuidado maior do operador. Como se faz necessário a sua avaliação de referencial

para realizar as marcações da face referente ao furo previamente medido pelo inclinômetro, esse procedimento está passível a falha humanas.

- **Transferência dos dados para o Computador:** As informações contidas no display do inclinômetro e na trena laser são transferidas para o celular de apoio. Com o celular em mãos o operador deve transferir os dados das medições para um computador através de um cabo USB. Ao “final do processo deve-se ter um arquivo “Excel” com os dados da trena laser e um arquivo”. ddr” com as informações contidas no inclinômetro. Esses arquivos devem ser abertos no programa fornecido pela ZTEX (Visualizador de Dados SDF), o programa cruza as informações obtidas e gera o relatório final do inclinômetro.

4 – DISCUSSÃO E RESULTADOS.

A geração do relatório do inclinômetro é realizada cruzando os dados obtidos na sonda do inclinômetro e da trena laser. O relatório entregue a Pedreira Esperança visa mostrar os pontos críticos na primeira linha de perfuração, onde o furo realizado está muito próximo à face da bancada. O relatório entregue consiste na listagem dos seguintes itens:

4.1 - INFORMAÇÕES DA MALHA.

A primeira parte do relatório consiste de uma rápida descrição das informações da unidade tal como afastamento, espaçamento, altura da bancada e ângulo de perfuração.

1. MALHA			
AFASTAMENTO	ESPAÇAMENTO	ALTURA	ÂNGULO
1,6 m	3,2 m	18 m	10°

Figura 33 - Informações da malha para geração do relatório.

Fonte: Autoria Própria

4.2 - ANÁLISES DA VISÃO SUPERIOR.

O Croqui da visão superior gera uma imagem comparativa com todos os furos da primeira linha (Figura 34), nesse caso tivemos um total de 32 furos na primeira linha. Nesse momento do relatório são mostrados os afastamentos reais adotados por cada furo.

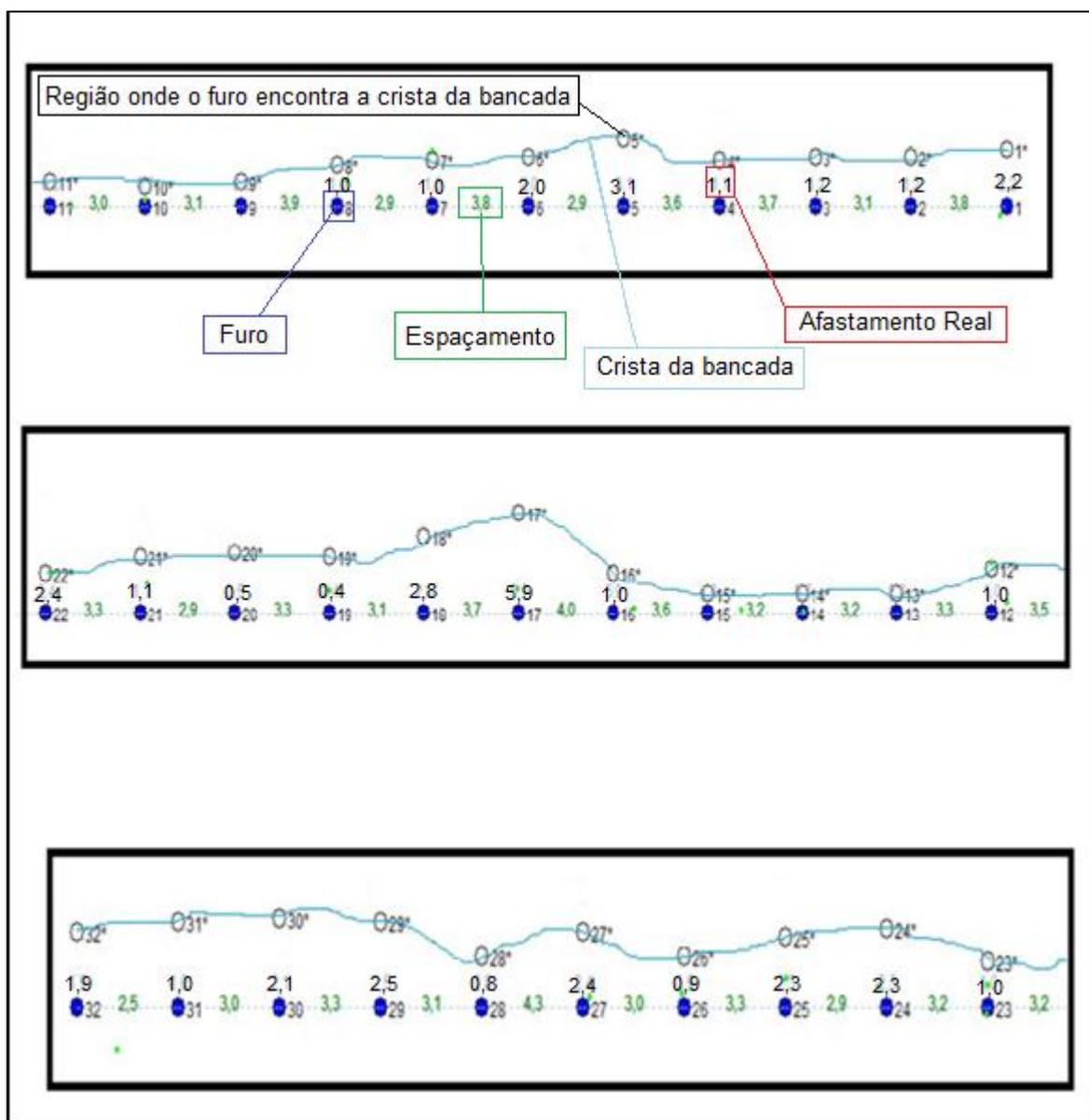


Figura 34 - Imagem do relatório. Mostrando os furos em uma visão superior.

Fonte: Autoria Própria.

Podemos observar nessa região alguns erros de espaçamento e afastamento real perante o planejado. Considerando um erro de 10% (operacional), para mais ou para menos, na malha teremos o valor limite de afastamento para 1,76 m (maior

limite) e 1,44 m (menor limite); para espaçamento teremos a mesma lógica adotada com o valor limite de 3,52 m (maior limite) e 2,88 m (menor limite). A tabela 10 mostra os valores de máximo e mínimo e classificação do afastamento real quanto a estar pesada, ideal, leve e muito leve.

O afastamento Pesado representa um valor acima do limite planejado e mostra que naquela microrregião do furo a ação do explosivo, quando detonado, vai ser minimizada devido a grande quantidade de material na região. Resultando em um desmonte com uma fragmentação abaixo do esperado e com risco de gerar blocos grandes e pré-formados. Devido a grande quantidade de material o risco de ultra-lançamento em uma bancada é pesado é drasticamente reduzido.

O afastamento Ideal representa a margem de erro favorável com um afastamento muito próximo ou idêntico ao planejado no Plano de Fogo. Podemos esperar o máximo de eficiência no uso do explosivo, boa fragmentação e nenhum ultra-lançamento.

O afastamento Leve representa um pouco material na microrregião do furo, temos então um excesso de energia originada dos explosivos na região, podemos então ter a ocorrência de ultra-lançamentos de rochas devido a grande quantidade de energia na detonação, também a pulverização do material. Aumentando a geração de finos e também o custo elevado no uso incorreto e desnecessário dos explosivos.

O afastamento Muito Leve representa um alto risco no desmonte dessa microrregião, acarreta no agravamento de toda a ocorrência do afastamento Leve, representando um alto risco a regiões vizinhas ao local do desmonte devido à ultra-lançamento. Furos com afastamentos muito leves podem ser cogitados o carregamento parcial ou até o descarte do furo, minimizando os riscos do seu desmonte.

Tabela 10 - Valores limites para afastamento real. Fonte: Autoria Própria

TIPO DO AFASTAMENTO REAL	VALOR DO AFASTAMENTO (m)
Pesada (Af x 1,1)	Af > 1,76
Ideal	1,75 > Af > 1,44
Leve (Af x 0,6)	1,43 > Af > 0,96
Muito Leve	Af < 0,95

É importante lembrar que os valores com afastamento real superior ao afastamento indicado (Afastamento Pesado) prejudicam o desmorte, mas não são os pontos críticos nos relatórios. Os furos com afastamento real menor que a margem desejada (leve e muito leve) representa um risco de podendo gerar ultra-lançamento no desmorte, precisando da observação posterior das outras imagens de perfil dos furos para constatar a sua segurança.

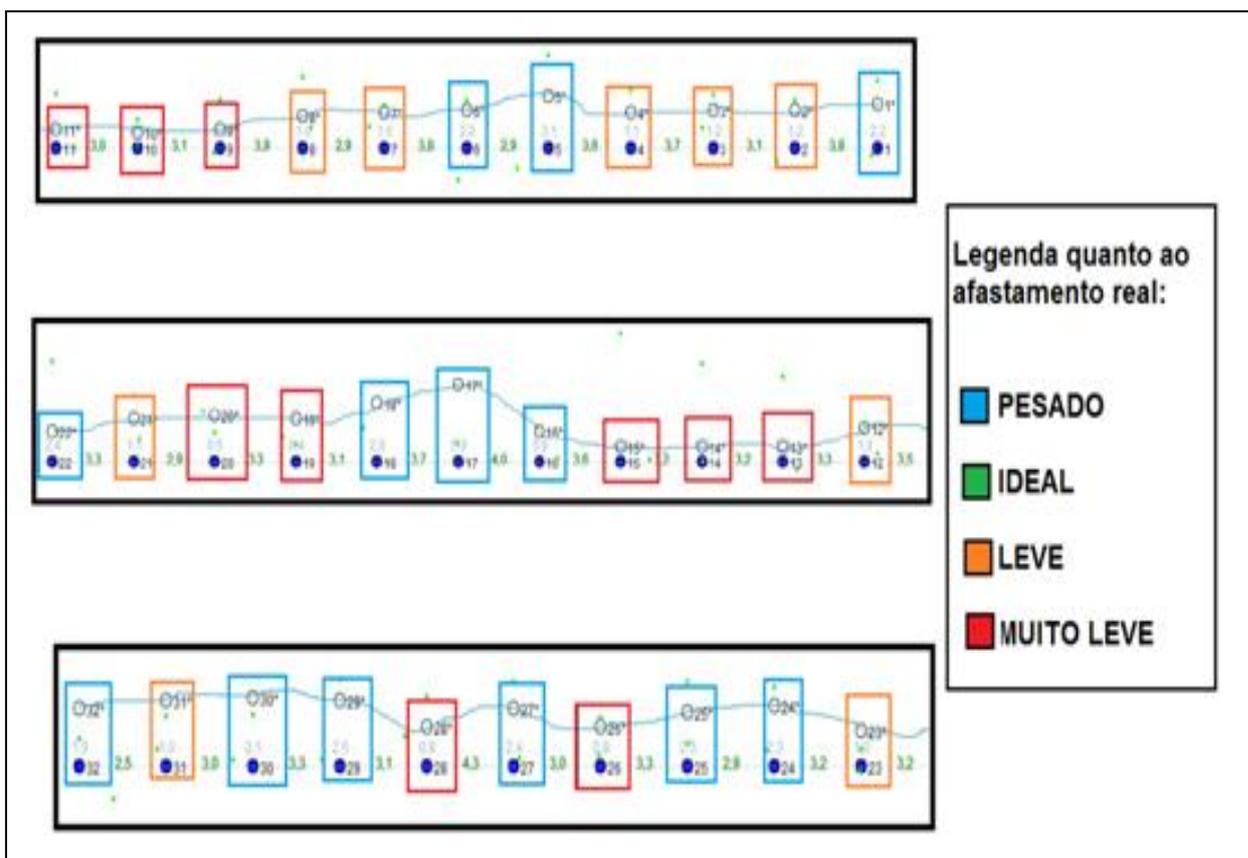


Figura 35 - Interpretação do Afastamento Real obtido no relatório do inclinômetro

.Fonte: Autoria Própria.

Como resultado o croqui de visão superior do relatório do inclinômetro (Anexo I no fim do trabalho) entrega a análise previa que 13 furos estão classificados como Pesados; nenhum furo foi classificado como Ideal; 9 furos foram identificados como Leves e 10 furos foram identificados como furos Muito Leves. Temos então que 19 dos 32 furos (soma dos furos leves e muito leves) devem receber um cuidado maior no carregamento de explosivos, pois no critério afastamento real esses furos já representam grande indícios de ultra-lançamento.

A figura 36 mostra exatamente essa análise dos afastamentos reais pela visão superior representado os resultados em valores de porcentagem.

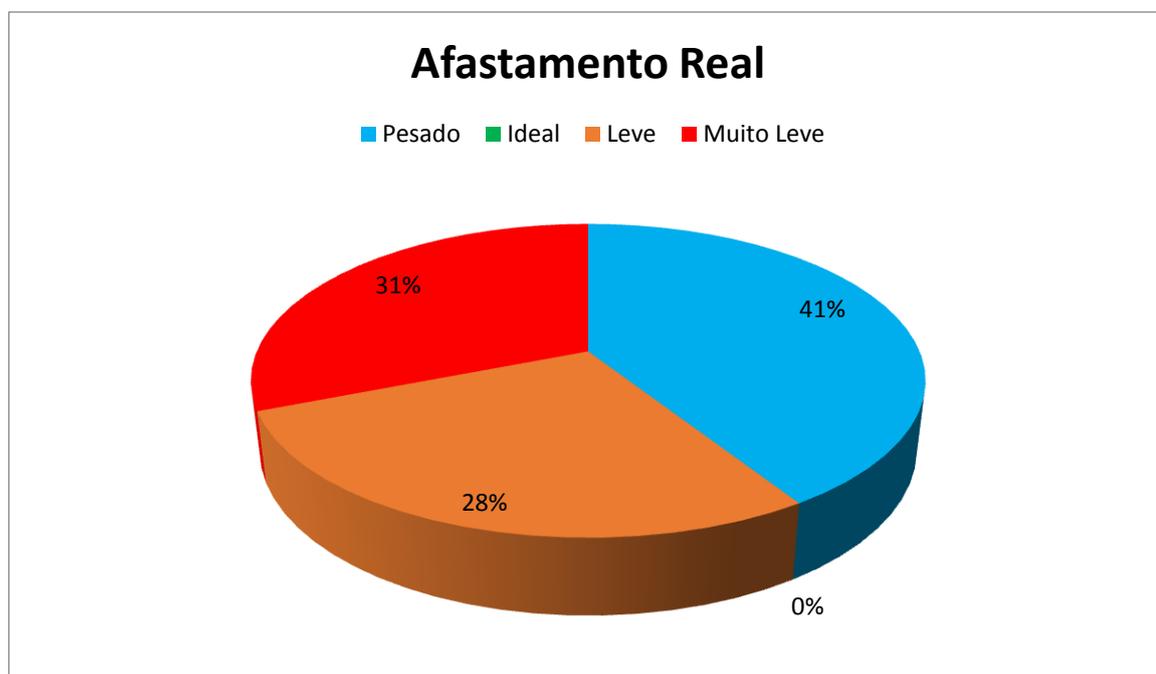


Figura 36 - Gráfico de resultados do Afastamento Real nos furos da primeira linha na visão superior.
Fonte: Autoria Própria.

Com o objetivo de corrigir e controlar a perfuração, os valores obtidos nos espaçamentos (Figura 37) também podem ser analisados pela vista superior. Esses valores não influenciam diretamente no risco de ultra-lançamentos, mas representam uma eficiência na distribuição de energia no momento do desmonte.

Dos valores analisados no Espaçamento temos que 64% dos furos estavam com espaçamentos ideais (entre 3,5 e 2,88m); 32% estavam com espaçamentos maiores do que o indicado no plano de fogo (> 3,5m); e apenas 4% dos furos estiveram com espaçamento menor que o planejado (<2,88m).

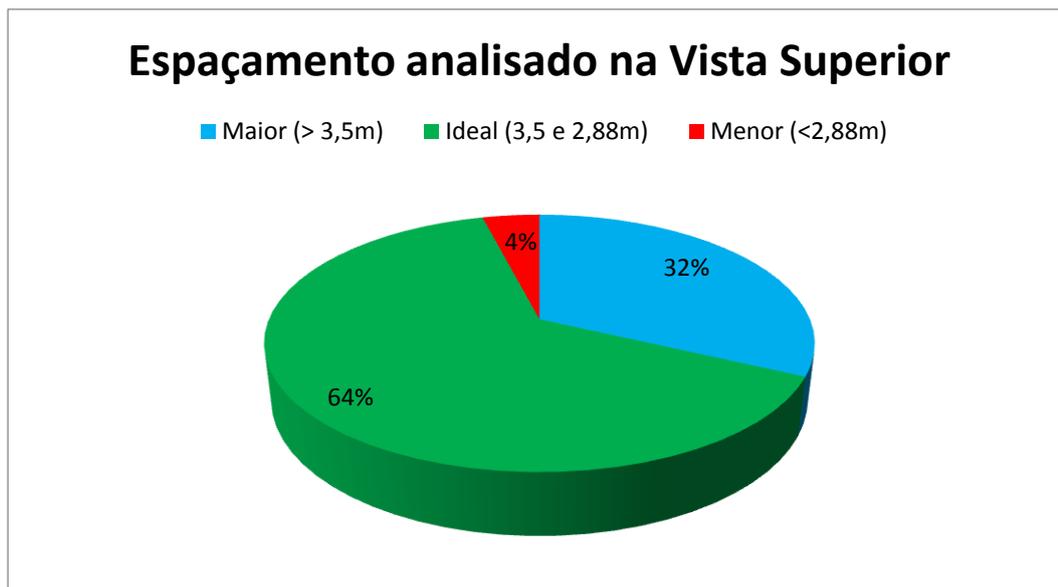


Figura 37 - Valores dos Espaçamentos da primeira linha analisados na vista superior.

Fonte: Autoria Própria.

4.3 - ANÁLISES DA FACE DA BANCADA

A terceira etapa do relatório apresenta uma imagem isométrica da face da bancada com os perfis da face já anexados. Com um pouco de visão espacial já é possível observar o formato da bancada (Figura 38).

Temos na figura 36, em azul, o número de cada furo onde foi feito o uso do inclinômetro. As retas verticais na cor cinza representam a realidade do furo com as suas respectivas inclinações, note que encontramos diversos pontos pretos na reta, eles representam as aferições feitas no inclinômetro metro a metro em cada furo. Em vermelho tracejado temos o perfil da face da bancada entre os pontos tracejados podemos encontrar alguns pontos pretos, esses pontos representam exatamente onde foi realizada a medição com a trena laser. Por fim temos uma região (vermelho) onde não pode ser realizada a medição com a trena laser.

O acúmulo de material que ocorre diversas vezes na base da bancada gera uma região onde não se podem captar as informações da trena laser, uma vez que se fosse realizada a medição ela estaria representando um erro por simular parte da bancada e alteraria por completo as informações contidas no relatório.

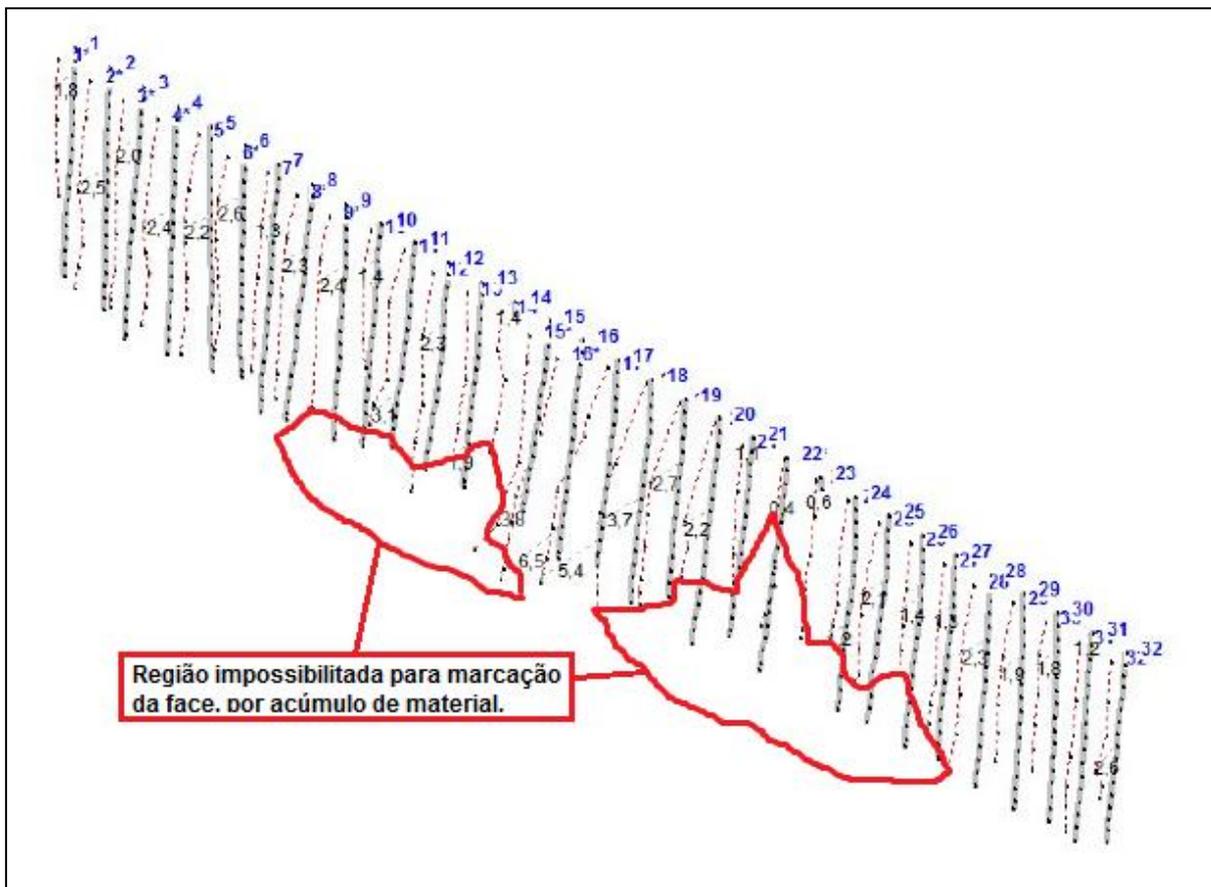


Figura 38 - Face da bancada gerada no relatório.

Fonte: Autoria Própria

Este formato de imagem não torna possível uma análise mais profunda da inclinação dos furos, mas é capaz de mostrar perfis de face que não estão completos. Esses perfis provavelmente não puderam ser obtidos na totalidade pela trena laser, o motivo mais comum é a existência de material na frente da bancada que impossibilita a obtenção da real distância da face com o furo inclinado (Figura 39).



Figura 39 - Imagem mostrando a face da bancada, e em vermelho material que impossibilita a obtenção completa do perfil da face nos furos.

Fonte: Autoria Própria.

.4.4 - ANÁLISE DOS AFASTAMENTOS MÁXIMOS E MÍNIMOS DA FACE.

O software do inclinômetro SDF analisa a distância de todos os furos, obtendo furo a furo os afastamentos máximos e mínimos obtidos entre a inclinação do furo e a obtenção da face livre.

Esta etapa do relatório obtém mais informações detalhadas, com ela o Responsável Técnico pode analisar com mais cuidado os furos críticos obtidos na primeira parte do relatório. Os relatórios de máximos e mínimos são gerados para cada um dos furos, logo o Blaster do desmonte é capaz de saber previamente quais furos possuem risco de gerar ultra-lançamentos, esses furos então podem receber uma quantidade menor de explosivo diminuindo sua razão de carga, ou em situações críticas, o furo poderá ser descartado minimizando o risco em troca na perda de produtividade (possível geração de matacos).

A análise de afastamento máximo e mínimo é bastante detalhada e extensa, segue abaixo alguns exemplos de faces mais críticas obtida no relatório, e o relatório completo encontra-se nos anexos do trabalho.

- **Furo 01:** O furo 01 demonstra como o afastamento real medido na bancada pode confundir o responsável pela detonação. Na primeira etapa do relatório o furo um foi classificado como um furo com o afastamento real pesado ($A_f > 1,76\text{m}$). Sendo assim para a primeira análise ele não demonstrava riscos no seu carregamento. Porém observando o furo cruzando com seus dados do afastamento de face observou que o único momento em que o afastamento esteve pesado foi nos primeiros metros perfurado (aproximadamente três metros). A partir de sete metros de profundidade a inclinação do furo se aproxima muito da face da bancada, chegando ao afastamento mínimo de 0,9m (muito leve).

Esta análise é repassada para o blaster para tomar as medidas de segurança para o furo. No caso do furo 01 o procedimento adotado foi o carregamento descontínuo diminuindo a quantidade de explosivo na região (aproximadamente 11 metros de profundidade).

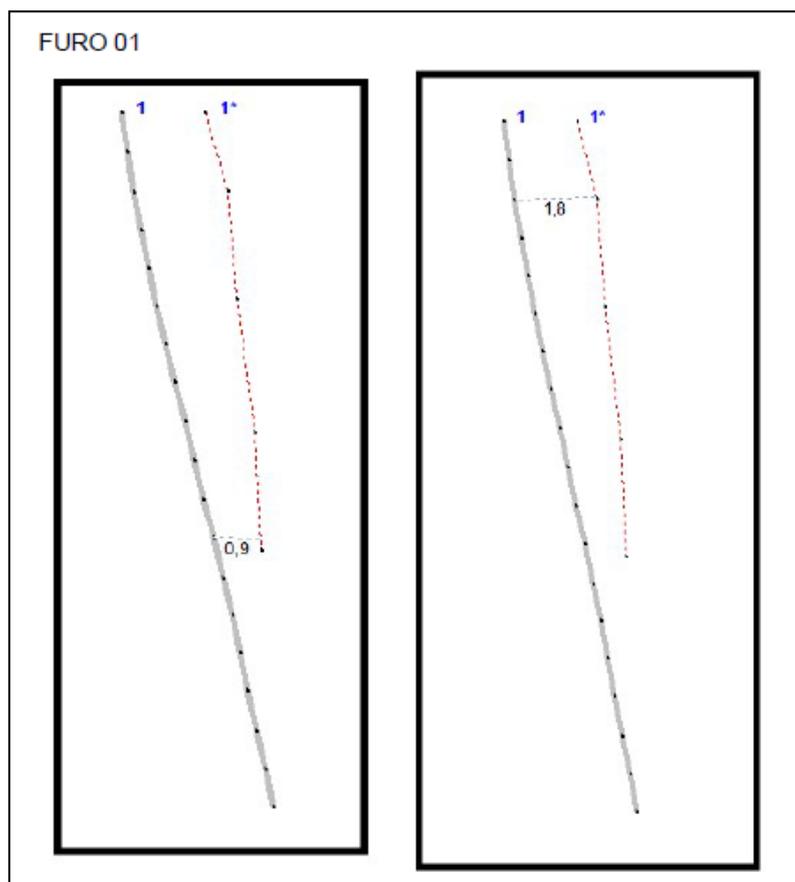


Figura 40 - Análise dos afastamentos mínimos (esquerda) e máximos (direita) do furo 01.

Fonte Autoria Própria:

- **Furo 11:** O furo 11 começou sendo classificado como um furo muito leve pela a primeira análise (afastamento real), porém observando os afastamentos máximos e mínimos percebemos que essa região leve do furo é encontrada apenas nos primeiros metros do furo. Essa região, por sua vez, é a que sofre menos influência dos explosivos por ser uma região preenchida com o brita (tampão) e não com explosivo.

Sendo assim um furo que originalmente iniciou como leve, na análise completa do perfil é modificado para um furo pesado. Logo não se faz necessário uma intervenção do blaster, podendo ser carregado normalmente.

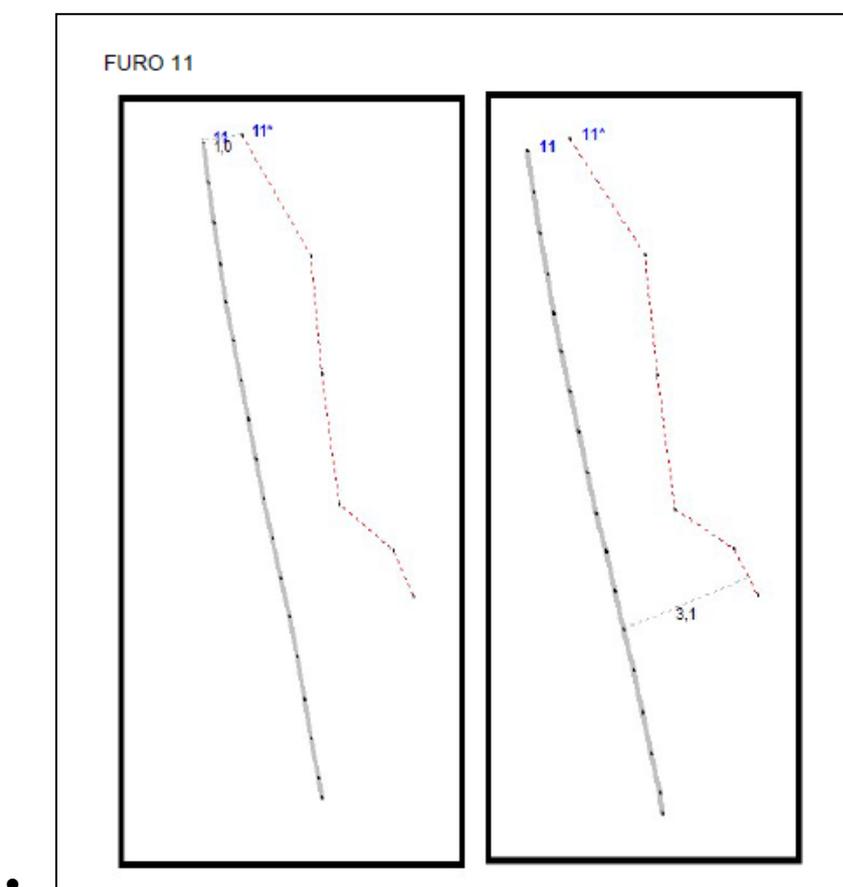


Figura 41 - Análise dos afastamentos mínimos (esquerda) e máximos (direita) do furo 11.

Fonte: Autoria Própria

4.4.1 - Análise dos dados dos afastamentos máximos e mínimos.

Com a análise dos relatórios dos afastamentos máximos e mínimos podemos confrontar os resultados obtidos por ele, com os primeiros resultados obtidos no

afastamento real. Observando assim o quanto Blaster ou responsável técnico do desmonte erraria nas escolhas de carregamentos, simplesmente por não conseguir observar o perfil do furo no interior da rocha. Mostrando a influência do inclinômetro na análise real do perfil dos furos e melhor obtenção dos resultados de produção e segurança.

Esse tipo de análise nos furos, apresentados anteriormente, é aplicado a todos os furos do relatório, como conclusão disso temos a demonstração da Tabela 11 que mostra um resumo com a situação de todos os furos analisados, essa informação é então repassada para o responsável técnico que toma as medidas necessárias para mitigar as perdas e reduzir os riscos no desmonte.

Tabela 11 - Demonstração da situação real dos furos após a análise do perfil dos furos x perfil da face da bancada.

Furo	Situação	Furo	Situação	Furo	Situação
1	Muito Leve	12	Ideal	23	Não aferido
2	Ideal	13	Muito Leve	24	Muito Leve
3	Leve	14	Não aferido	25	Ideal
4	Ideal	15	Pesado	26	Leve
5	Leve	16	Pesado	27	Muito Leve
6	Ideal	17	Pesado	28	Ideal
7	Muito Leve	18	Pesado	29	Ideal
8	Pesado	19	Pesado	30	Pesado
9	Pesado	20	Leve	31	Muito Leve
10	Muito Leve	21	Muito Leve	32	Leve
11	Pesado	22	Muito Leve		

Obs.: O furo 14 não foi aferido por se encontrar entupido e o furo 23 não foi aferido por apresentar um acúmulo de material na bancada impossibilitando o uso da trena laser

Os resultados obtidos nas análises dos afastamentos máximos e mínimos geram o seguinte gráfico (Figura 42), onde podemos comparar com os dados do afastamento real.



Figura 42 - - Situação Final dos furos quanto a sua relação com a face da bancada.

Fonte: Autoria Própria.

Comparando com análise do afastamento real feito inicialmente, observamos que dos 41% dos furos pesados apresentados inicialmente (análise do afastamento real) tivemos uma queda para 30% depois do uso do inclinômetro.

Os furos Ideais que antes não existiam apareceram na análise com cerca de 20%. O somatório total de furos pesados e ideais representam aqueles furos em que o risco de ultra-lançamento é mínimo. Esse somatório saltou de 41% iniciais (análise do afastamento real) para 53% (análise do relatório de afastamentos máximos e mínimos) dos furos ao final, representando um ganho de 12% de furos seguros e ainda mostrando uma redução de 11% de furos pesados. Isso representa um maior conhecimento dos furos no momento desmonte, uma redução dos riscos e uma queda na geração de blocos comparada com a avaliação inicial.

Observando os furos leves e muito leves, têm a análise que dos 28% de furos leves iniciais, apenas 17% realmente demonstravam realmente estar leve, enquanto que os furos muito leves praticamente não diminuíam, saindo dos 31% para 30%.

Os somatórios de furos Leves e Muito Leves contabilizavam um total de 59% na avaliação do afastamento real. Após realizar o inclinômetro os relatórios dos furos demonstram o valor de 47%, representando uma queda de 12% na incidência dos furos que geram risco de ultra-lançamentos ao desmonte. Diminuindo assim o erro que seria cometido se o carregamento de explosivos fosse contido na respectiva região.

Temos então no gráfico (Figura 43,) a síntese da análise das interpretações dos furos sem usar o inclinômetro (afastamento real) e a análise posterior utilizando os dados do inclinômetro (afastamentos máximos e mínimos).

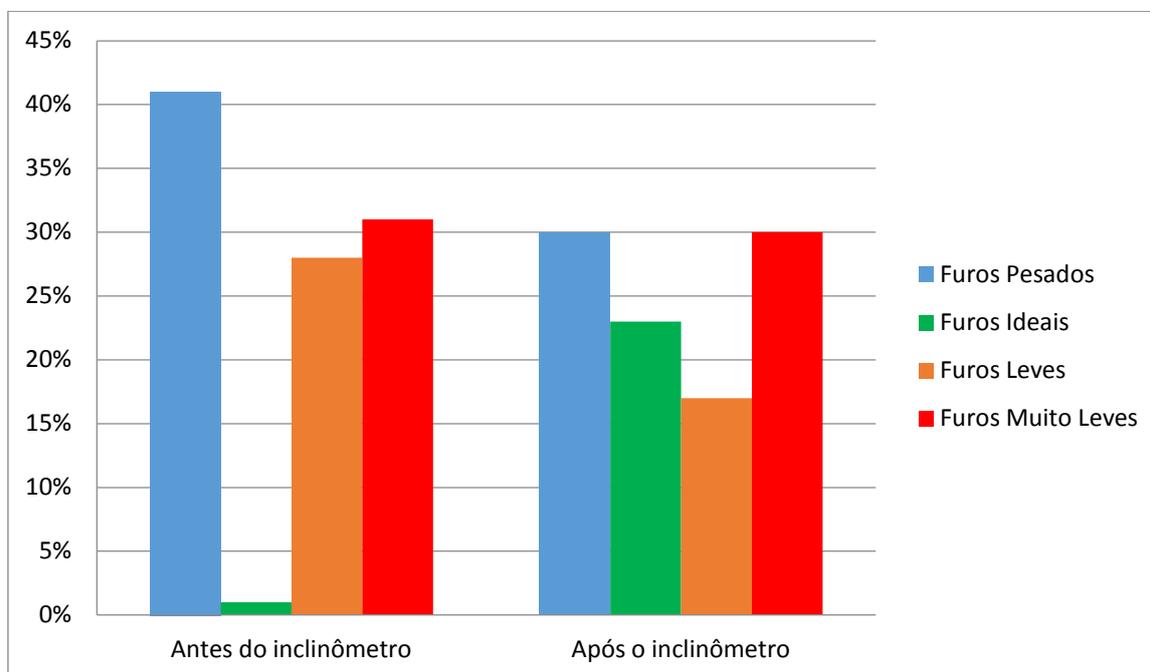


Figura 43 - - Análise da situação final dos furos antes e depois do uso do inclinômetro Fonte: Autoria Própria.

4.5 - ANÁLISE DO ESPAÇAMENTO ENTRE OS FUROS.

Por fim o relatório do inclinômetro gera informações dos furos entre os espaçamentos (Figura 40). Esses dados não possuem tanta influência na questão de segurança, mas demonstram uma grande ferramenta para acompanhar os desvios de perfuração e assim aumentar eficiência da perfuração quando encontrados os problemas causadores do desvio.

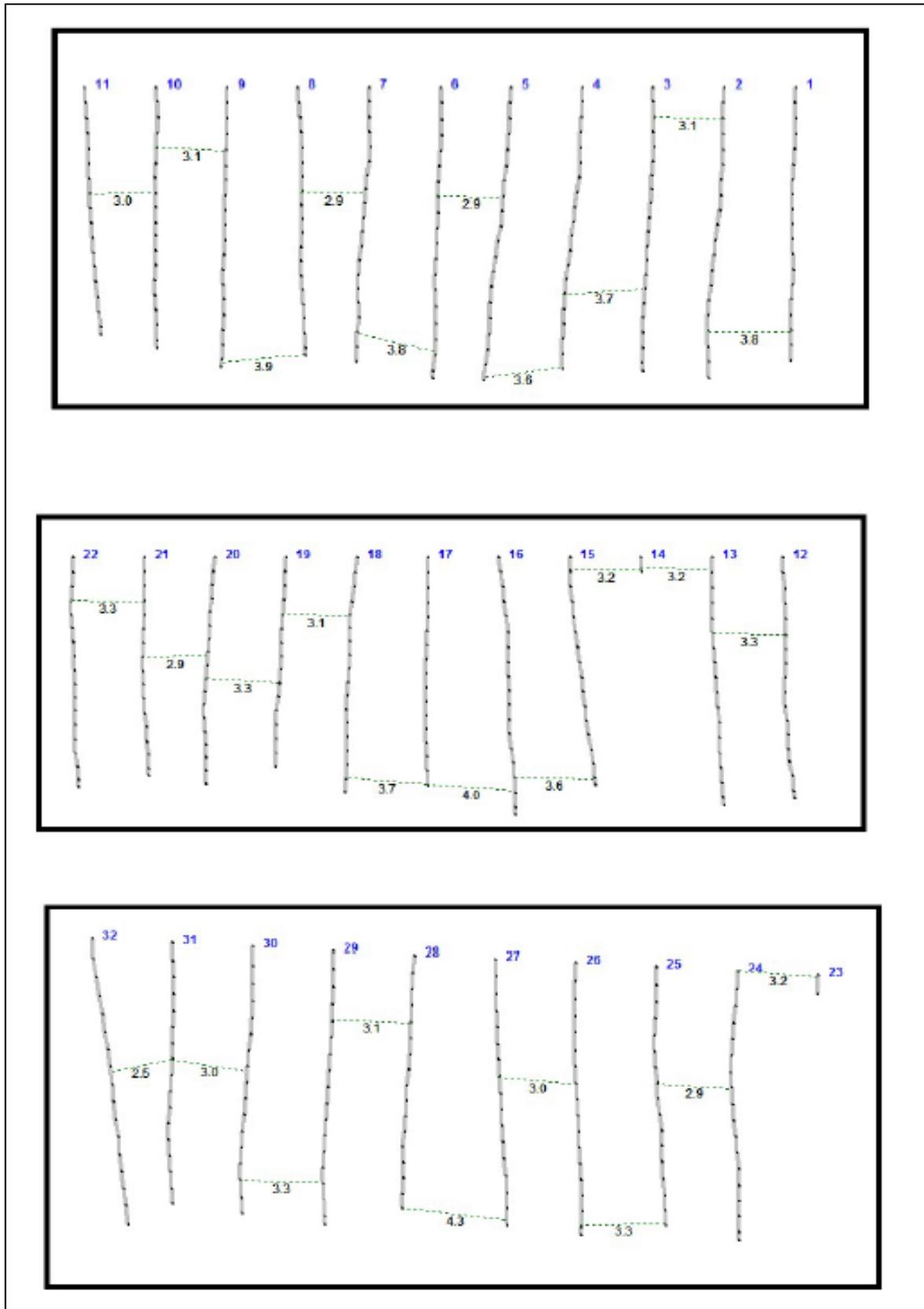


Figura 44 - - Relatório entre minas (mostrando os espaçamentos máximos entre furos).

Fonte: Autoria Própria.

Os furos 14 e 23 não tiveram seus dados coletados por, respectivamente, entupimento do furo e difícil acesso para realizar a medição com inclinômetro.

O resultado do relatório demonstra que o espaçamento ideal teria o valor de 3,2m, tomando 10% de erro para inclinação, consideraremos os valores de 3,57m para mais e 2,88 para menos, como valores de espaçamento ideal para os furos.

Tabela 12 - Valores de referência para espaçamentos.

ESPAÇAMENTO REAL	VALOR DO ESPAÇAMENTO(m)
Inclinado	$Es < 2,88$ ou $Es > 3,57$
Ideal	$2,88 > Es > 3,57$

Como um furo inclinado erradamente no espaçamento interfere na área de influência do furo posterior, uma vez existente um erro na inclinação não é possível contabilizar os furos que vão estar certos ou errados, apenas pode-se analisar e encontrar regiões com grandes erros, ou não na inclinação. Visivelmente podemos notar que os furos número 4, 5, 11, 15, 26, 27 e 32 estavam um pouco inclinados. Essa inclinação indesejada resulta em uma má distribuição de energia, risco de detonação involuntária, formação de blocos, baixa fragmentação e perda na produtividade.

5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As principais conclusões obtidas neste trabalho é que a utilização contínua do inclinômetro no acompanhamento da perfuração e no desmonte de rochas permite, com base na informação recolhida, anular o furo, ajustar a carga de explosivo, mudar o diâmetro de uso do explosivo para se reduzir a concentração de carga por metro de furo, executar um novo furo, de modo a garantir o bom desempenho do desmonte evitando o risco de ultra-lançamentos e otimizando a produção. Por outro lado, caso a distância do afastamento seja elevada, poderemos fazer precisamente o contrário e aumentar a concentração de carga.

Fica claro que quando a marcação da posição dos furos na superfície esta sendo executada com o máximo de rigor e, mesmo assim, em profundidade, verificarem-se desvios significativos. Só com a utilização do “inclinômetro” é que podemos saber exatamente qual o comportamento do furo em profundidade.

Se por hipótese admitimos que, com base nesta informação poderemos aumentara área desmontada por furo entre 10 a 20 cm para cada um dos lados, certamente que teremos uma redução muito significativa do custo no final de um ano de trabalho.

Tendencialmente os responsáveis pela produção da unidade, quando um desmonte não apresenta os resultados de fragmentação esperados, diminuem a área a desmontar por furo reduzindo os seus parâmetros geométricos, consumindo assim mais explosivo e aumentando a perfuração total. Essa alternativa pode ser repensada se antes de assumir tal posicionamento o mesmo responsável opte pela análise e uso do inclinômetro nos seus furos antes da detonação. As obtenções dos relatórios técnicos podem demonstrar que pequenos erros estão sendo cometidos gradualmente durante o processo de perfuração, carregamento e desmonte. Com o inclinômetro podemos encontrar desvios de furos, áreas sem a influência do explosivo, furos que não estão sendo perfurados na sua totalidade. Esses mesmos erros podem ser corrigidos e ou mitigados não sendo então mais necessária a ação de redução de malha e evitando um aumento nos custos

Observamos também que grande parte dos acidentes que ocorreram no passado poderiam ter sido evitada se o acompanhamento técnico do inclinômetro não fosse subestimado e os resultados finais obtidos poderiam ser maximizados, se a aplicação dos meios técnicos fosse devidamente implementada em um uso contínuo na unidade.

6 - BIBLIOGRAFIA

ALVARES. (2010). *et. al.* FIDEPE.

BHANDARI, S. (1997). *Engineering Rock Blasting Operations*. Rotterdam, Netherlands: A.A.Balkena.

Brasil Ministério das Minas e Energia. (2001). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil, Sistema de*. Brasília: CPRM.

Britanite. (2010). *Manual de utilização de explosivos*. Quatro Barras PR/BR: IBQ.

CORREIA, C. A. (2011). *Desmonte de rocha com explosivos: Importância da otimização*. Porto/Portugal: Isep.

- GOMES, L., & Galiza, A. &. (2008). *Desmonte com explosivos I. Curso Superior de Engenharia Geotécnica e Meio Ambiente*. Porto: Instituto Superior de Engenharia do Porto.
- IBGE. (2012). *Censo Demográfico de 2012*. Vitória de Santo Antão: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
- J., A. S., & E., M. (s.d.). *Curso Tecnologia de Explosivos*. Madrid/ Espanha: Fundacion GOMES Pardo.
- L, J. C. (1995). *Drilling and Blasting of*. Madrid/ES: Instituto Geologico y Minero de Espanã.
- M., L. B. (2010). *Apostila Perfuração de Rochas*. Recife/ Brasil: UFPE.
- OLOFSSON, S. O. (1989). *Applied Explosives Technology for Construction and Mining*. Sweden: APPLEX.
- Orica. (2012). *Manual do Blaster*. Lorena SP/BR: Orica.
- SALVADOR, L. M., & Adão, B. d. (2009). *Manual de Agregados para Construção Civil*. Rio de Janeiro: CETEM.
- Sandvik Coromat - Rock Tools. (s.d.). (2006). *Manual de perfuração de rochas - Técnico e Teórico. Equipamentos para perfuração de rochas Sandvik Coromat (Manual de perfuração)*. São Paulo, Brasil: Sanvik do Brasil.
- SCOTT, A. (1996). *Open pit blast design –Analysis and Optimisation*. Queensland, Austrália: JKMRC Monograph Series in Mining and.

ANEXOS

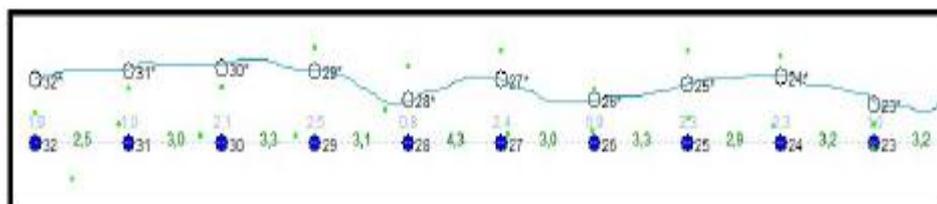
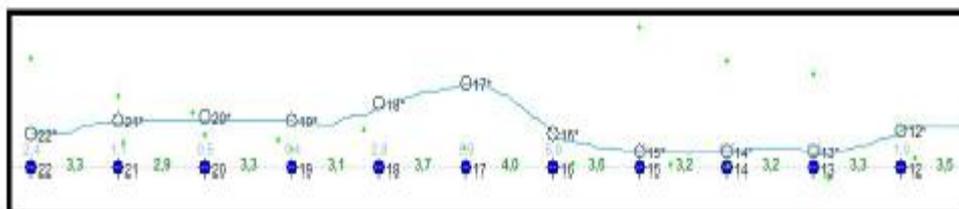
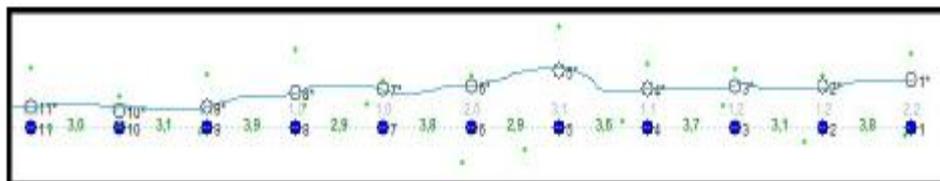
1 - RELATÓRIO COMPLETO DO INCLINÔMETRO, PEDREIRA ESPERANÇA:

1. MALHA

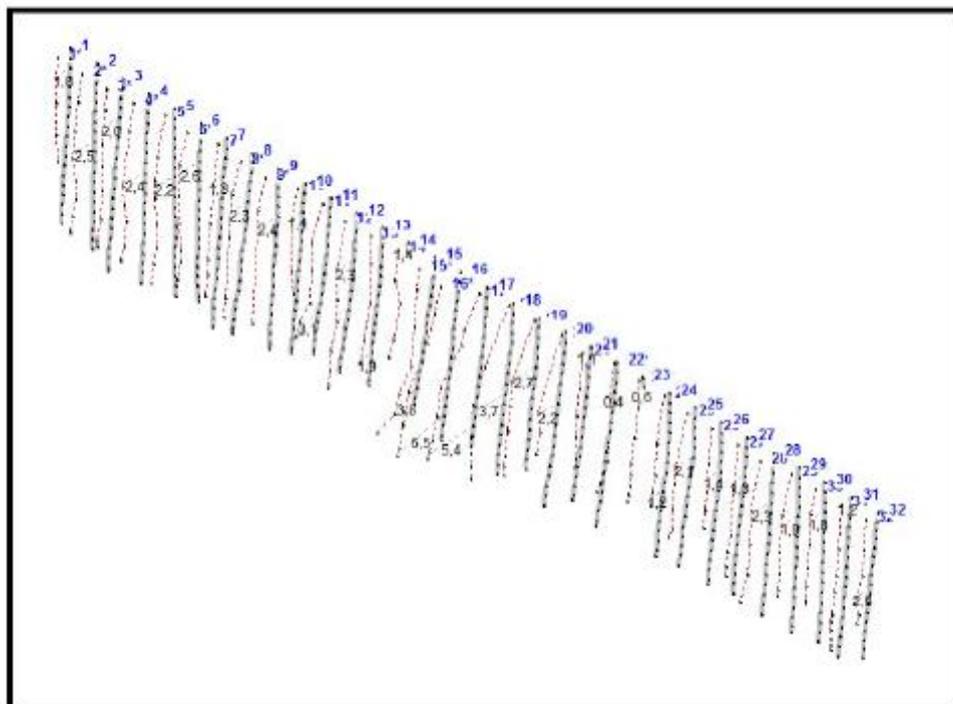
AFASTAMENTO	ESPAÇAMENTO	ALTURA	ANGULO
1,6 m	3,2 m	18 m	10°

2. CROQUI (VISÃO SUPERIOR)

Leitura da bancada realizada com 32 furos na primeira linha.



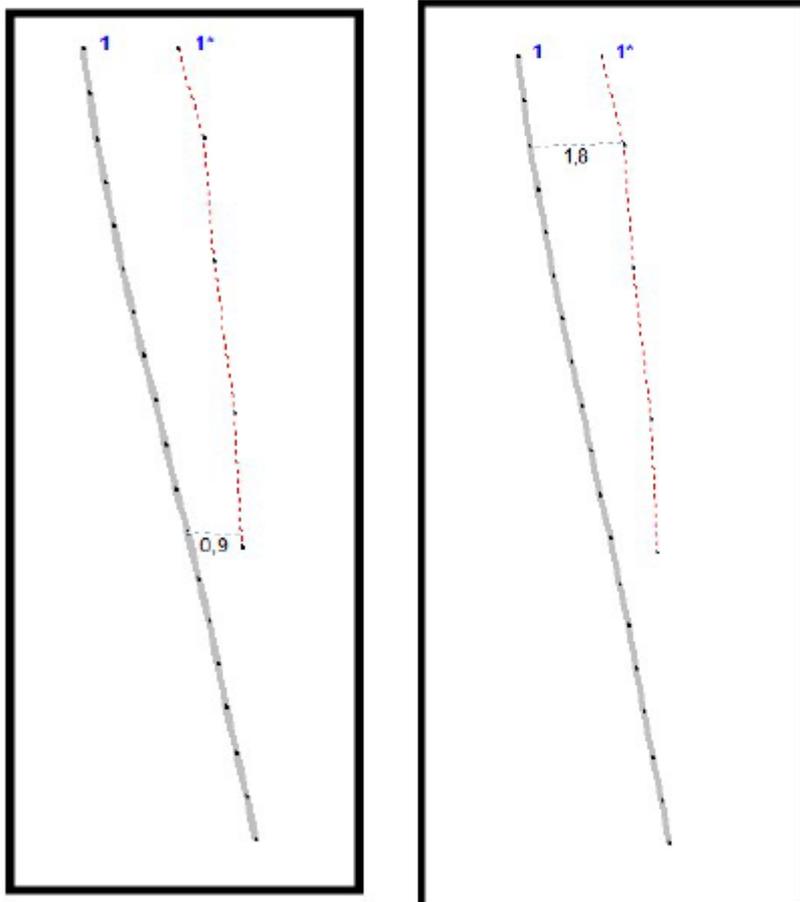
3. FACE DA BANCADA



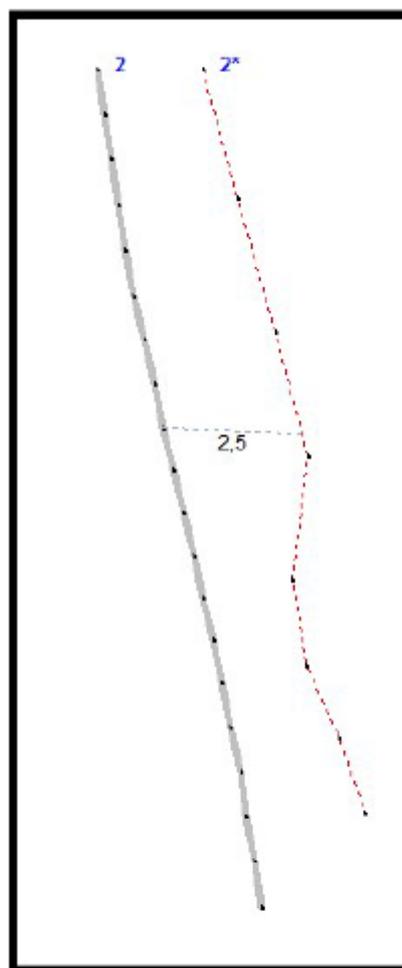
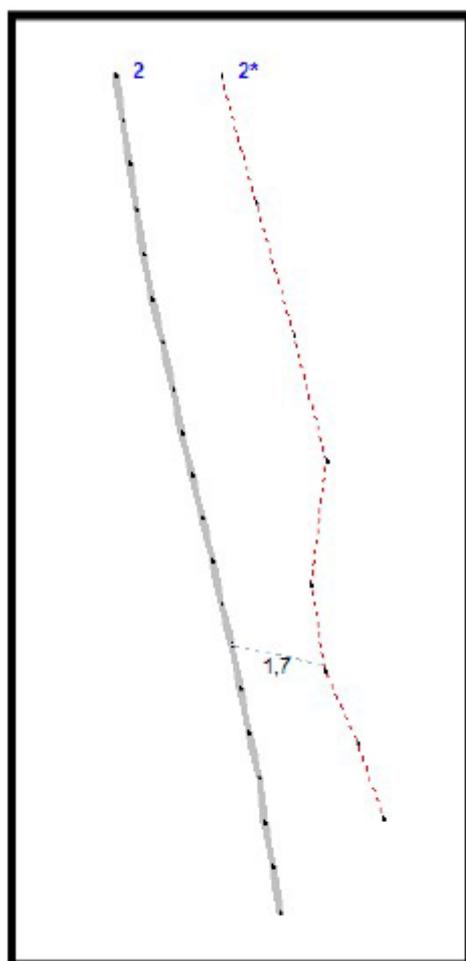
4. AFASTAMENTO MÍNIMO E MÁXIMO (PERFIS).

Observação: Devido ao material na frente da bancada, apenas os furos 12, 19 e 31 obtiveram o escaneamento total da face dos furos.

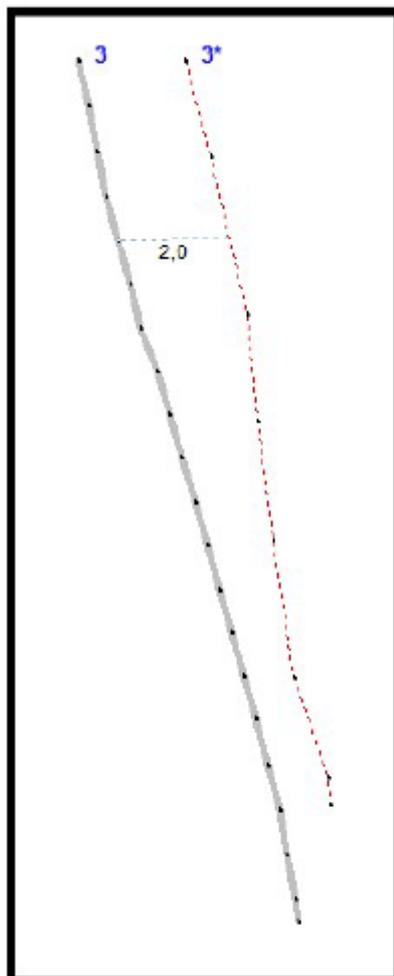
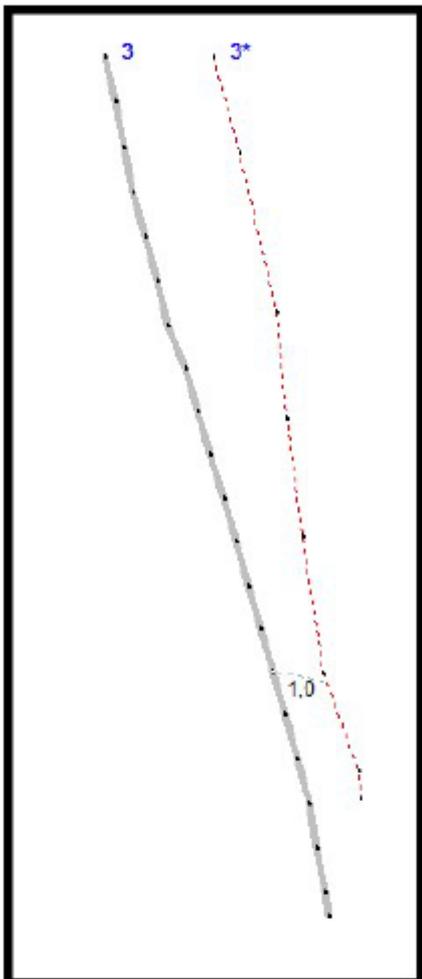
FURO 01



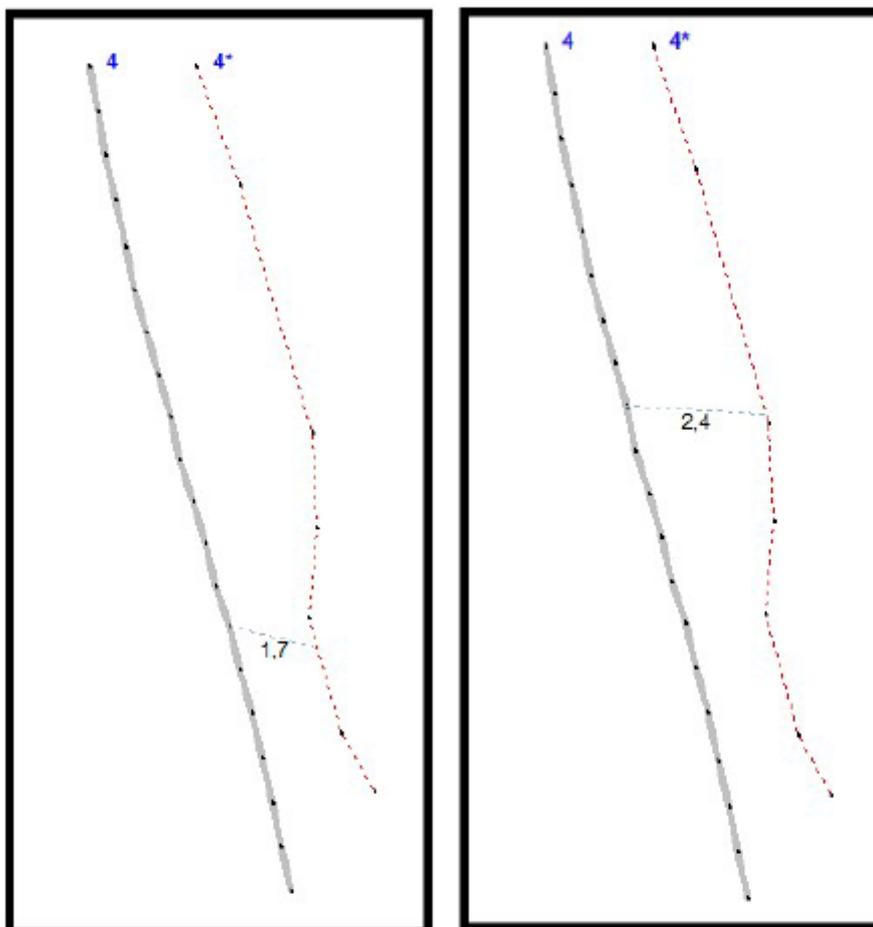
FURO 02



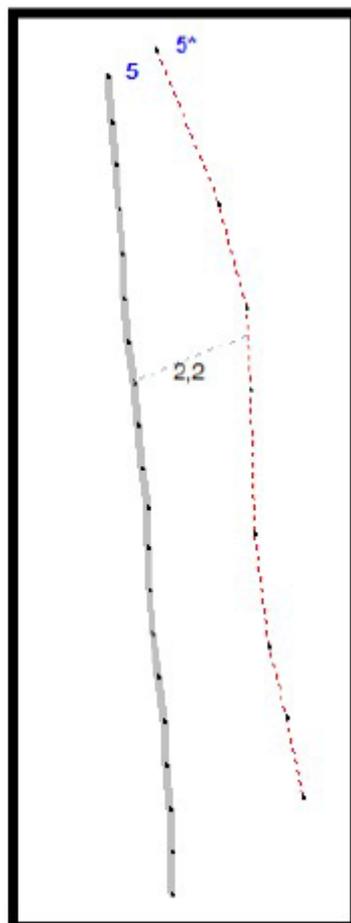
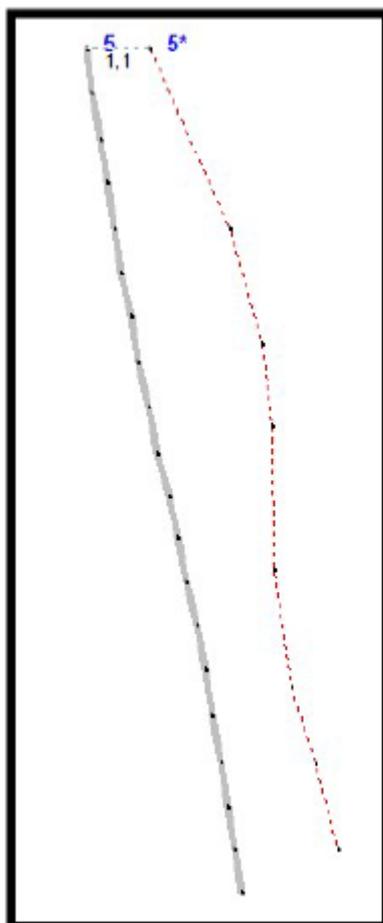
FURO 03



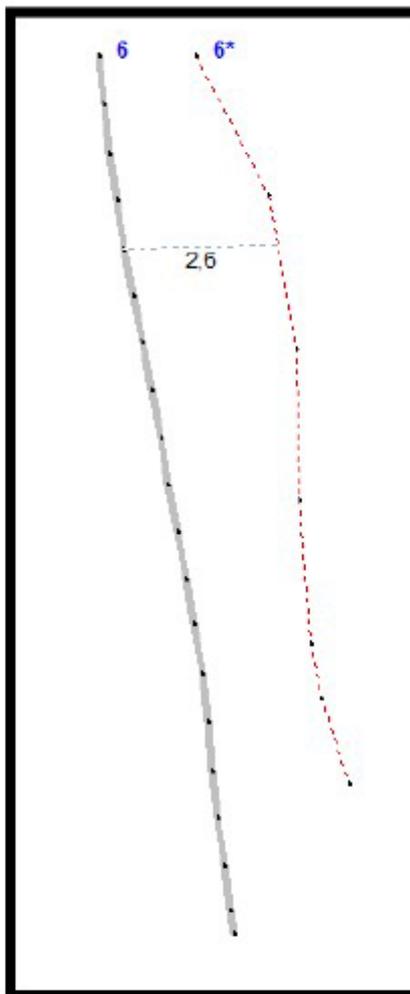
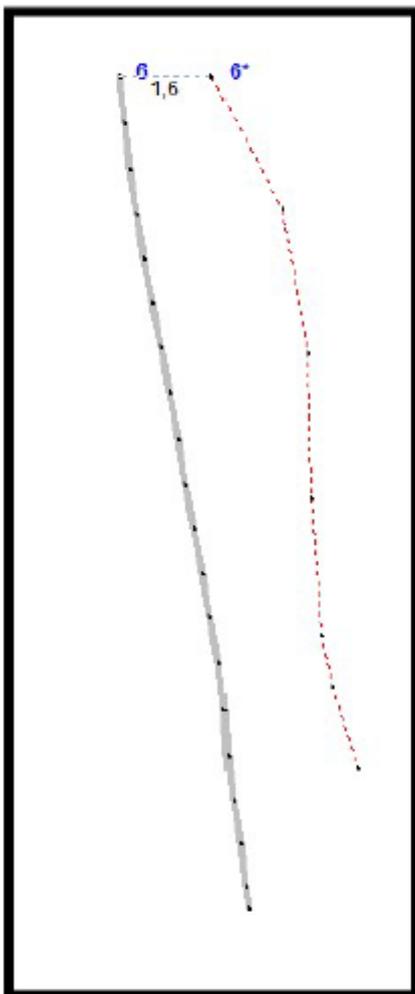
FURO 04



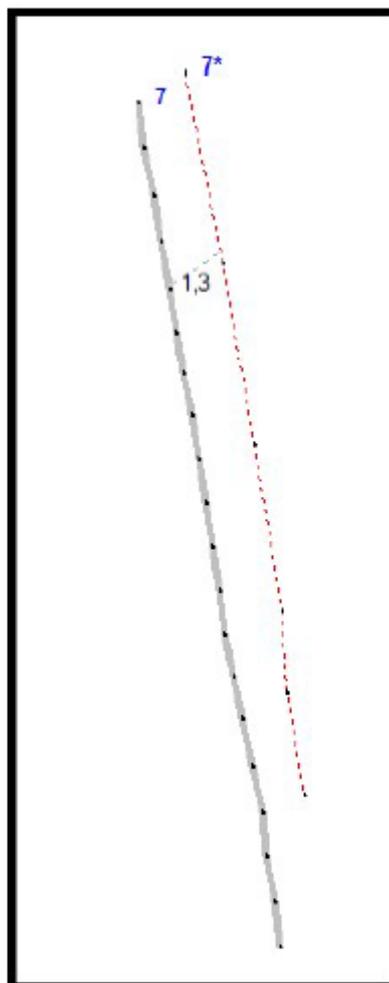
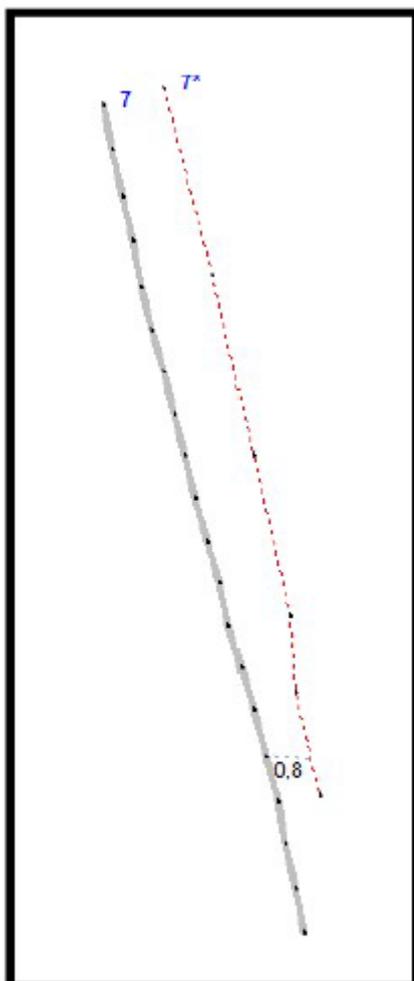
FURO 05



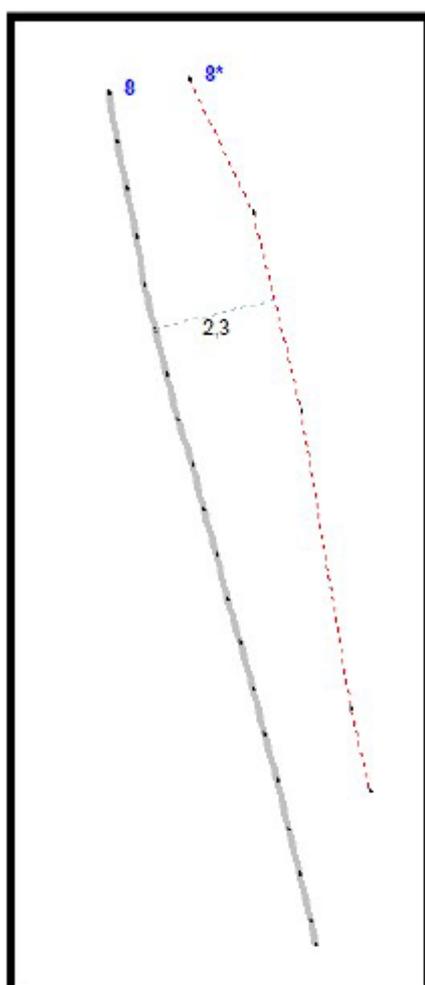
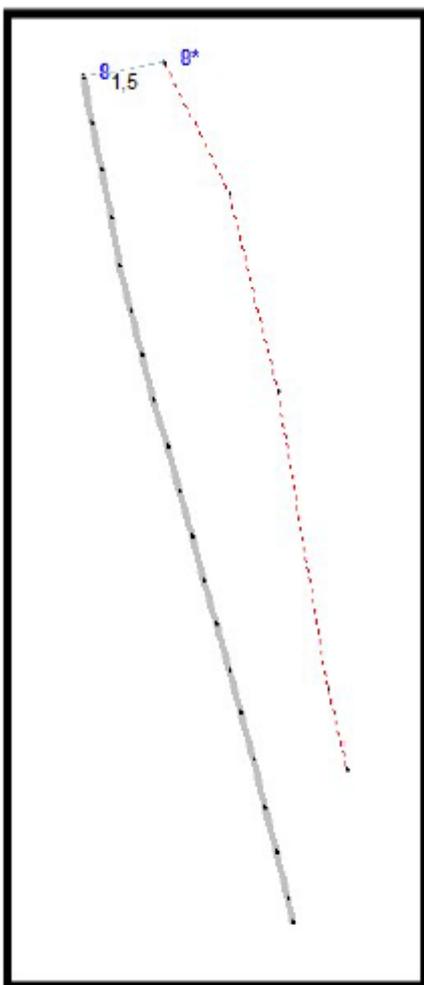
FURO 06



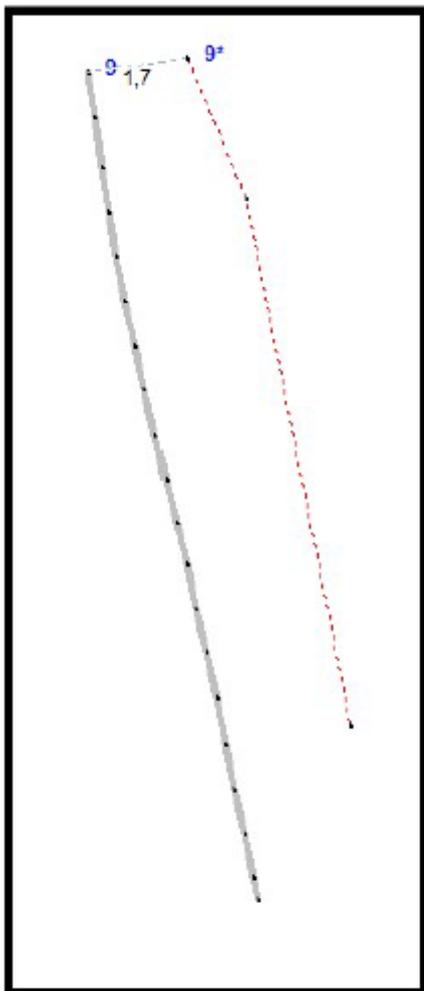
FURO 07



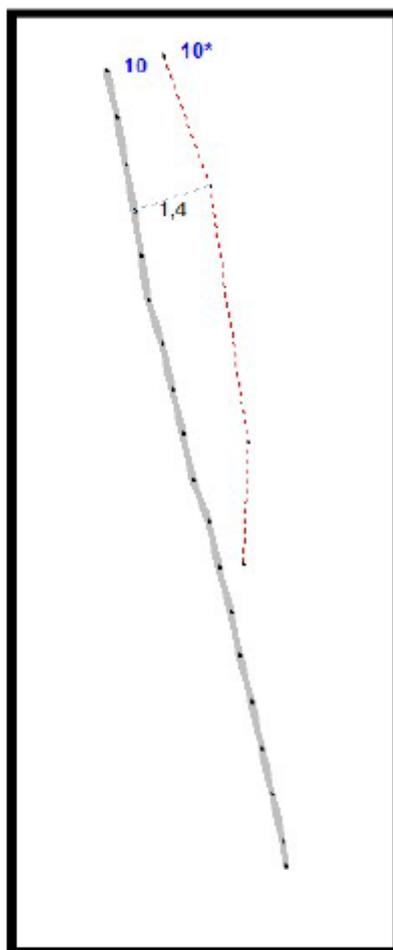
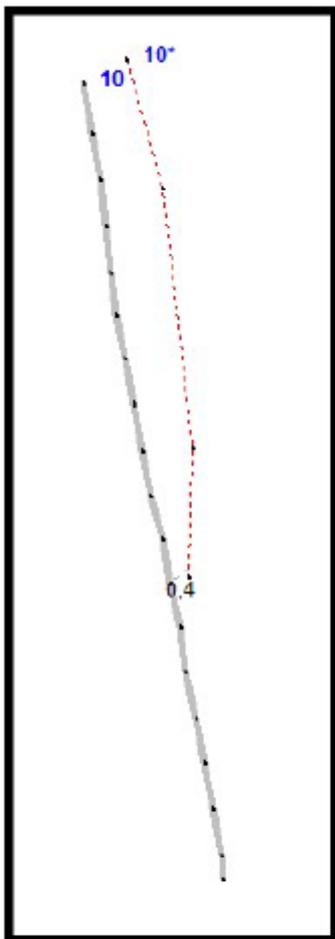
FURO 08



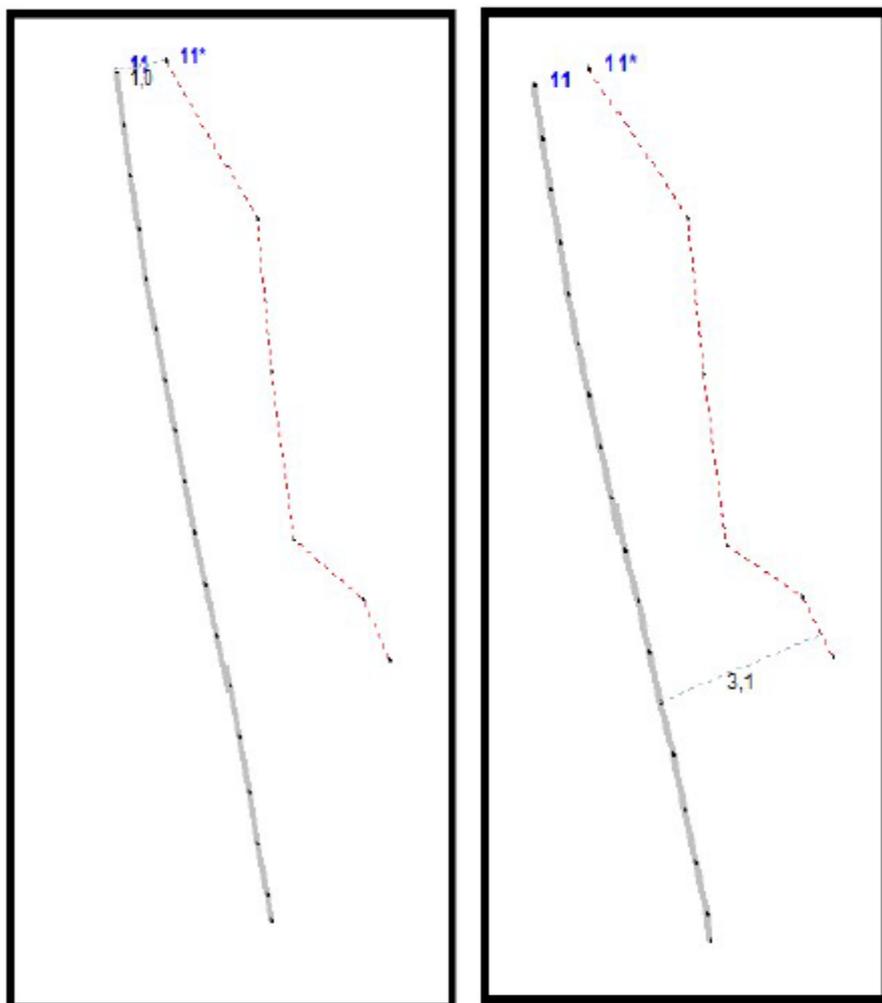
FURO 09



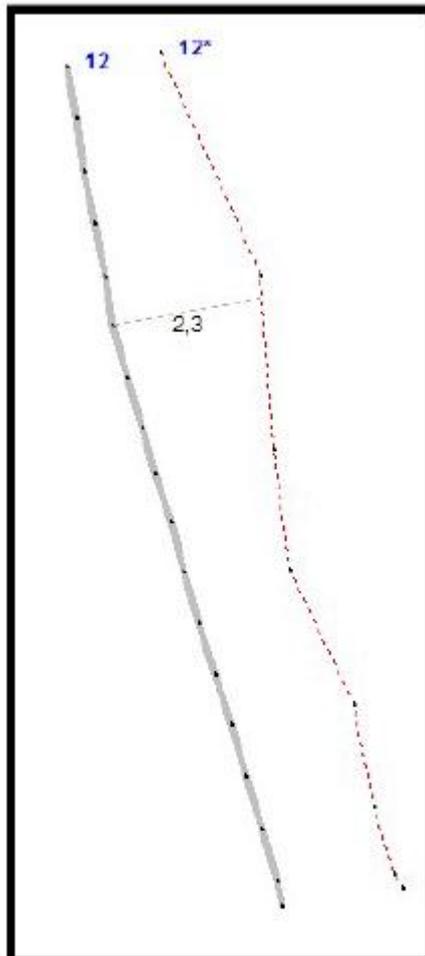
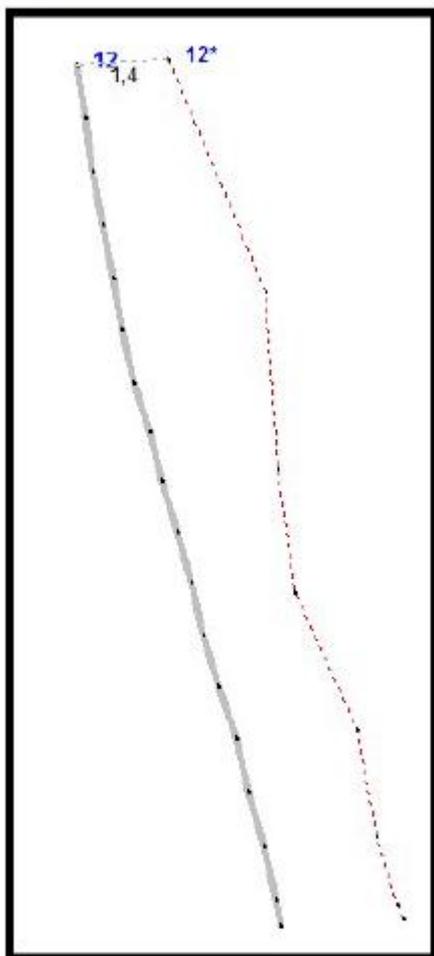
FURO 10



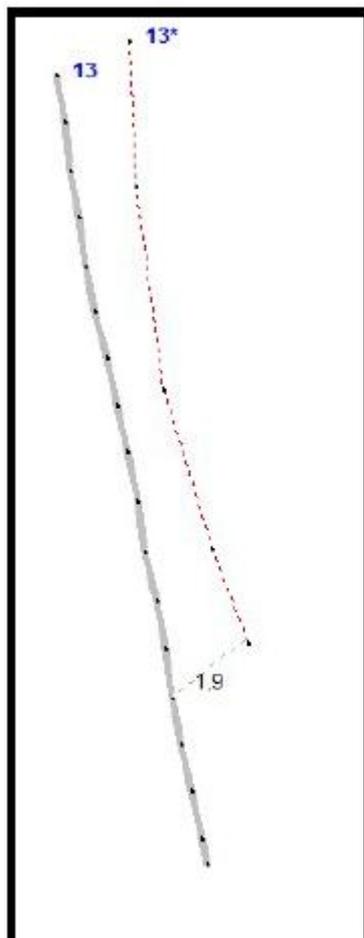
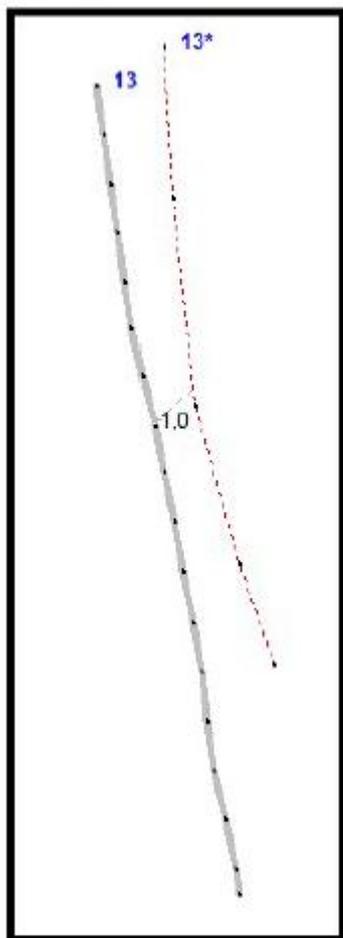
FURO 11



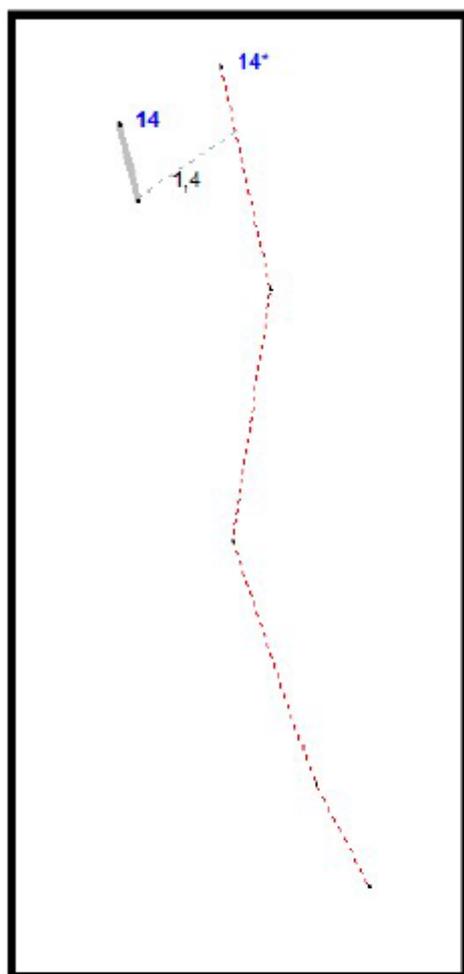
FURO 12



FURO 13

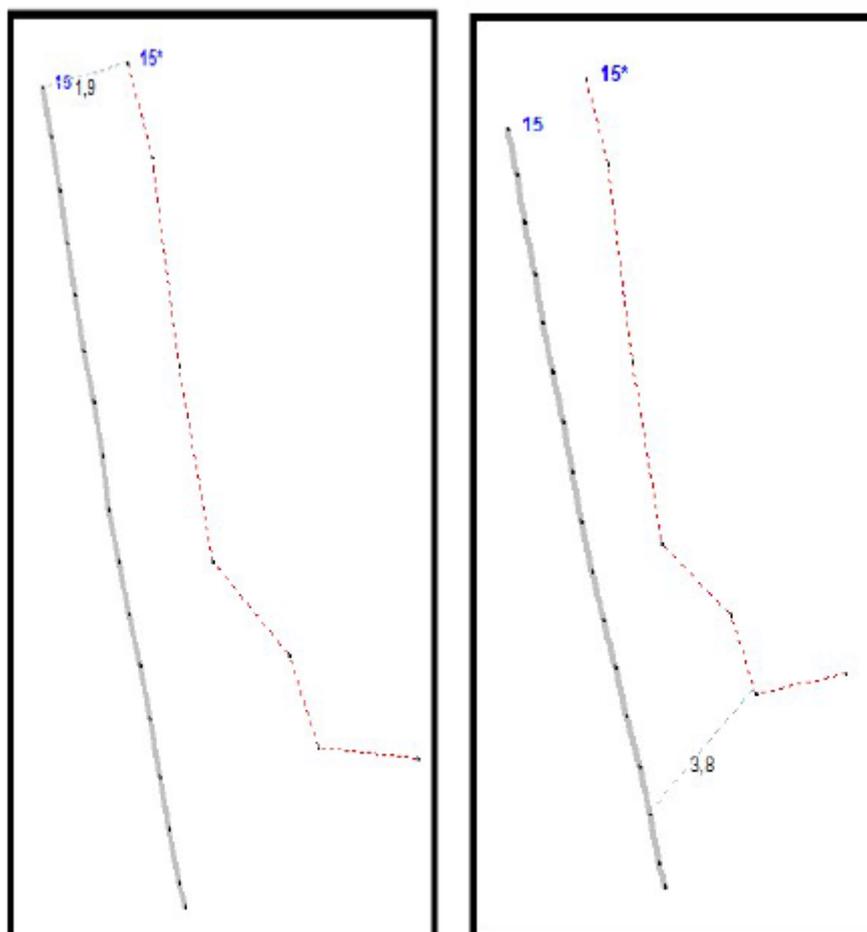


FURO 14



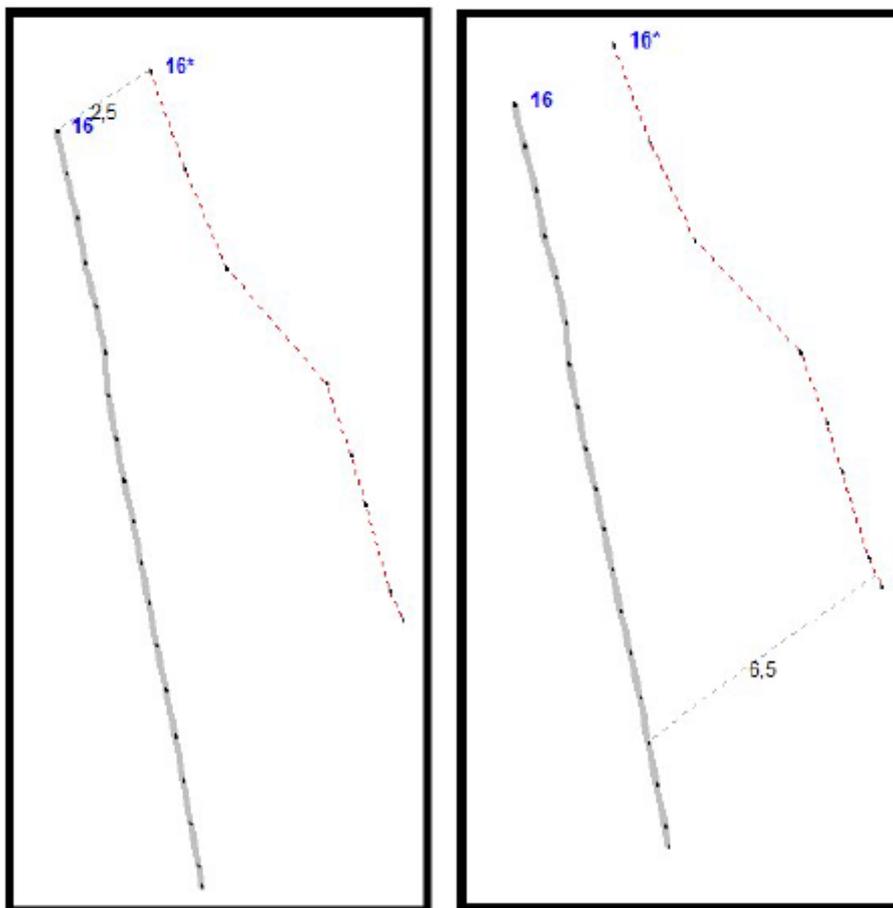
Obs: Medição não realizada no furo 14(entupido)

FURO 15

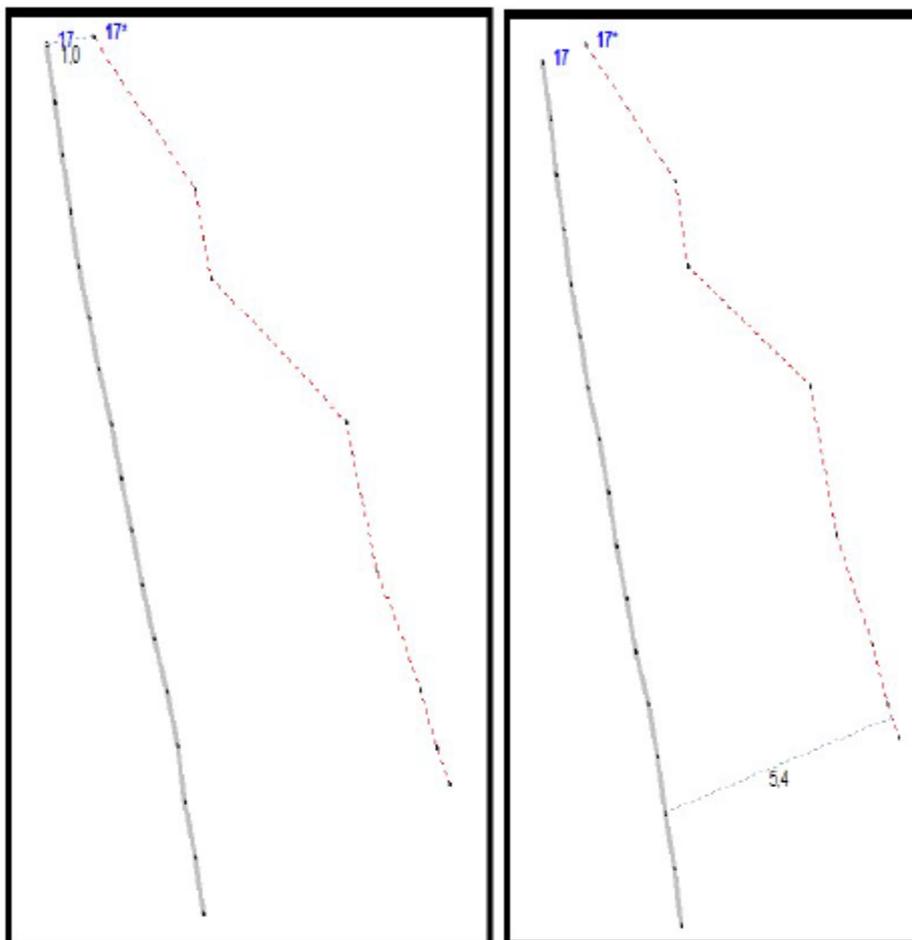


OBS.: O tiro com laser, por conta de materiais na frente da bancada, não atingiu o local desejado no furo 15 na última leitura, acertando materiais que não pertenciam à face da bancada.

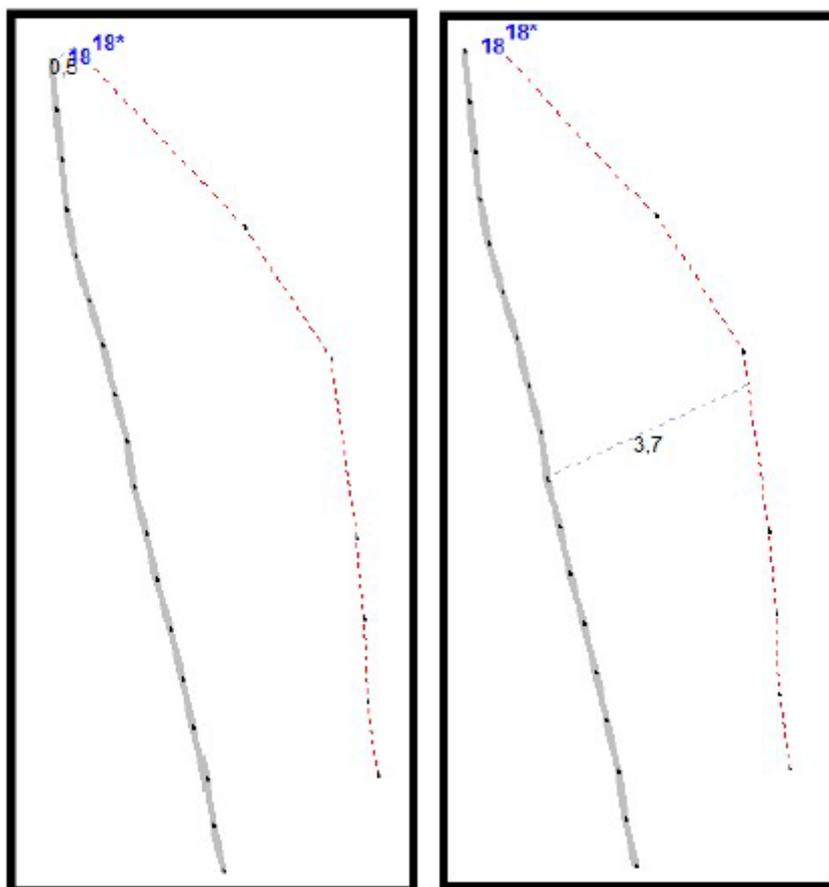
FURO 16



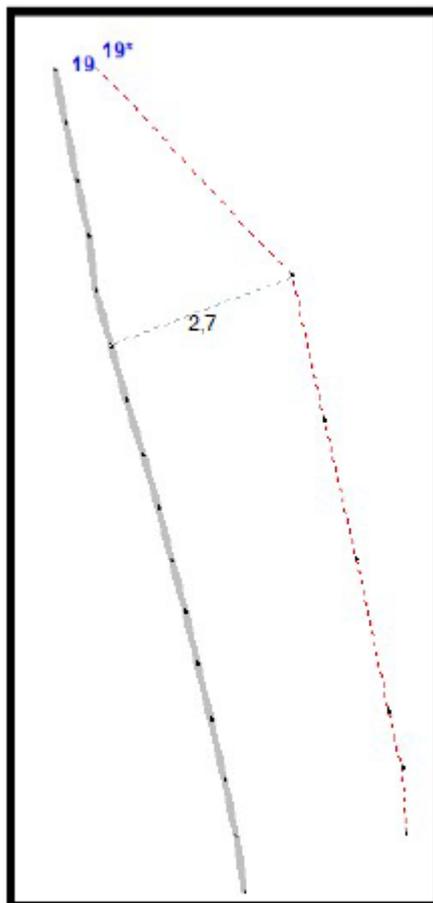
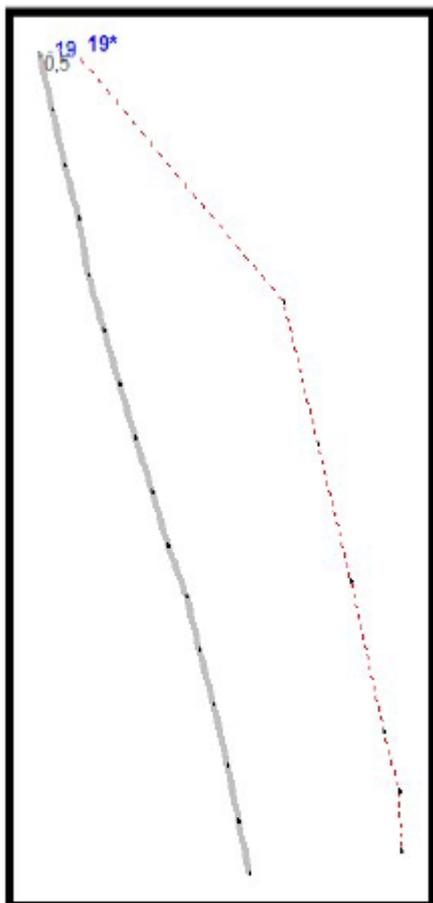
FURO 17



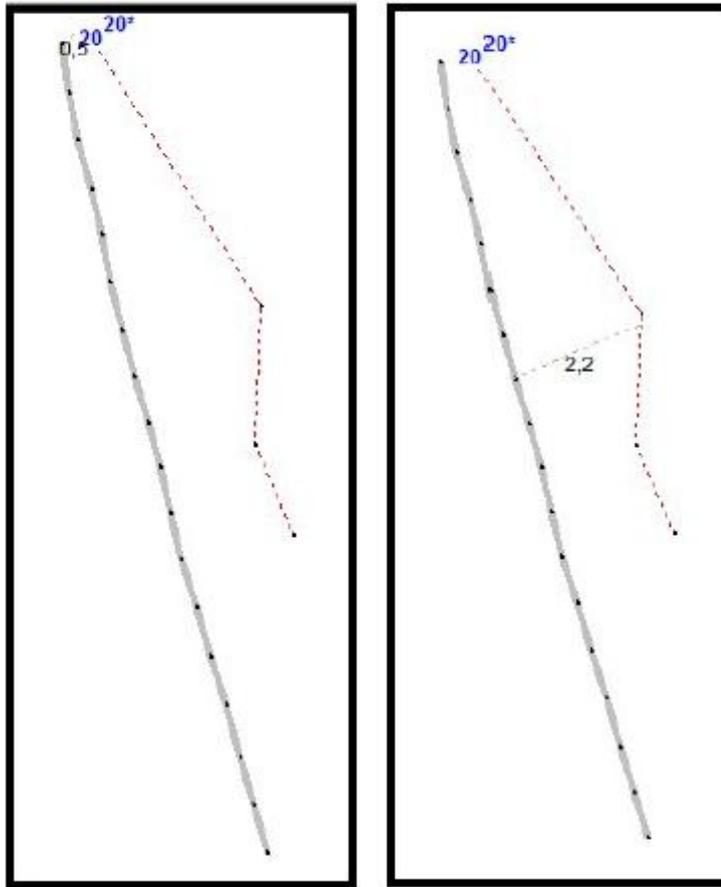
FURO 18



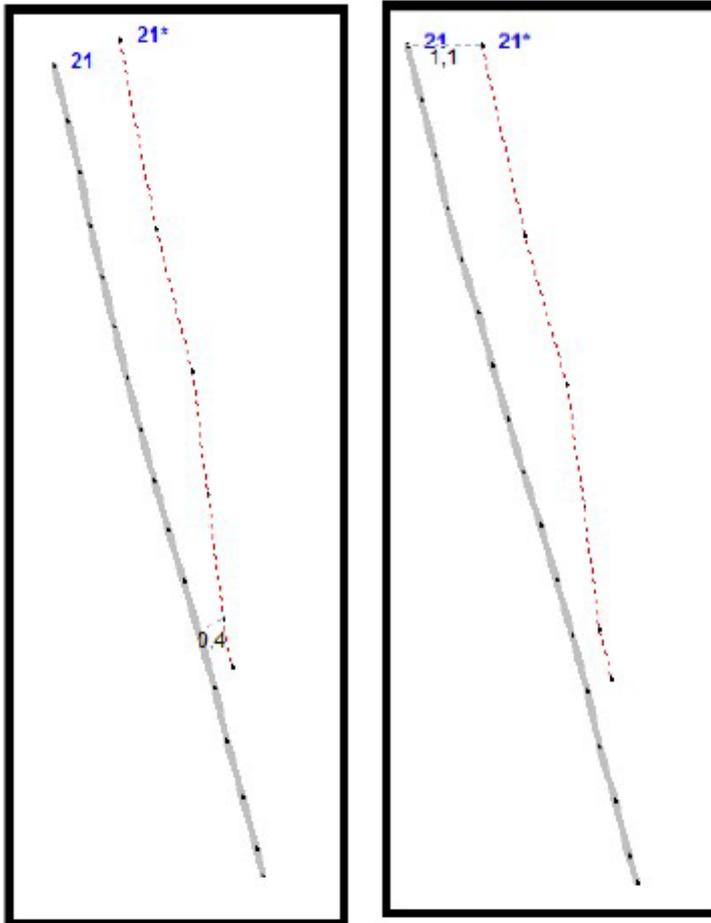
FURO 19



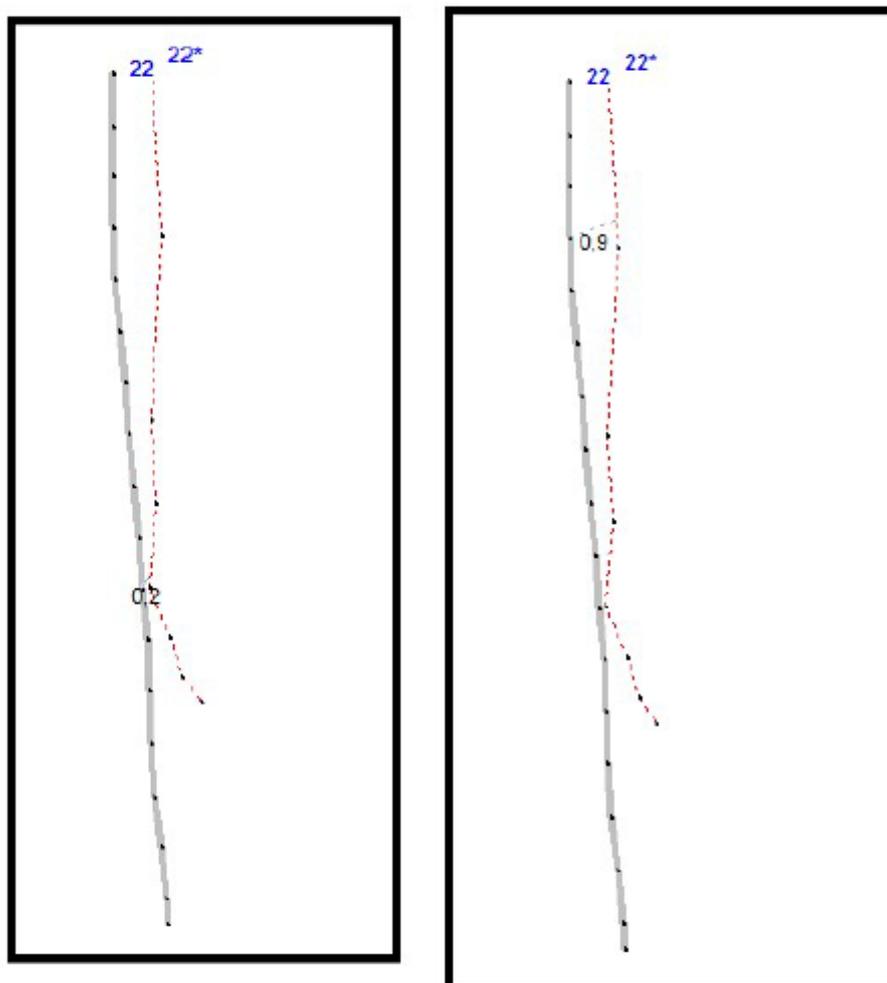
FURO 20



FURO 21



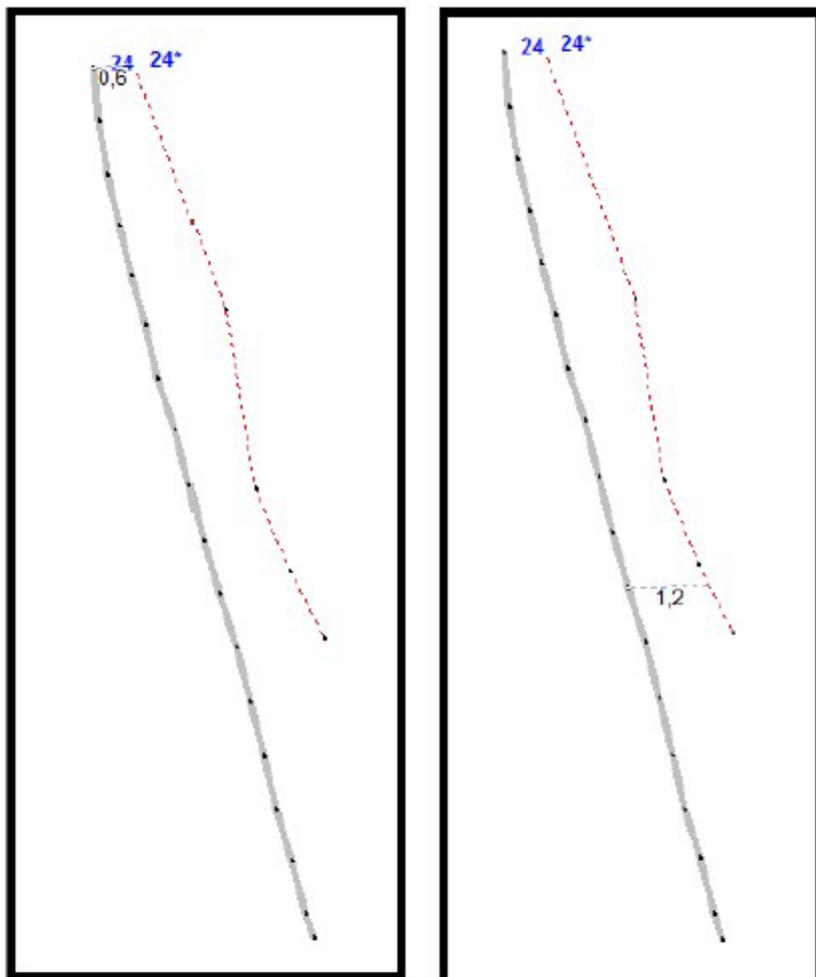
FURO 22



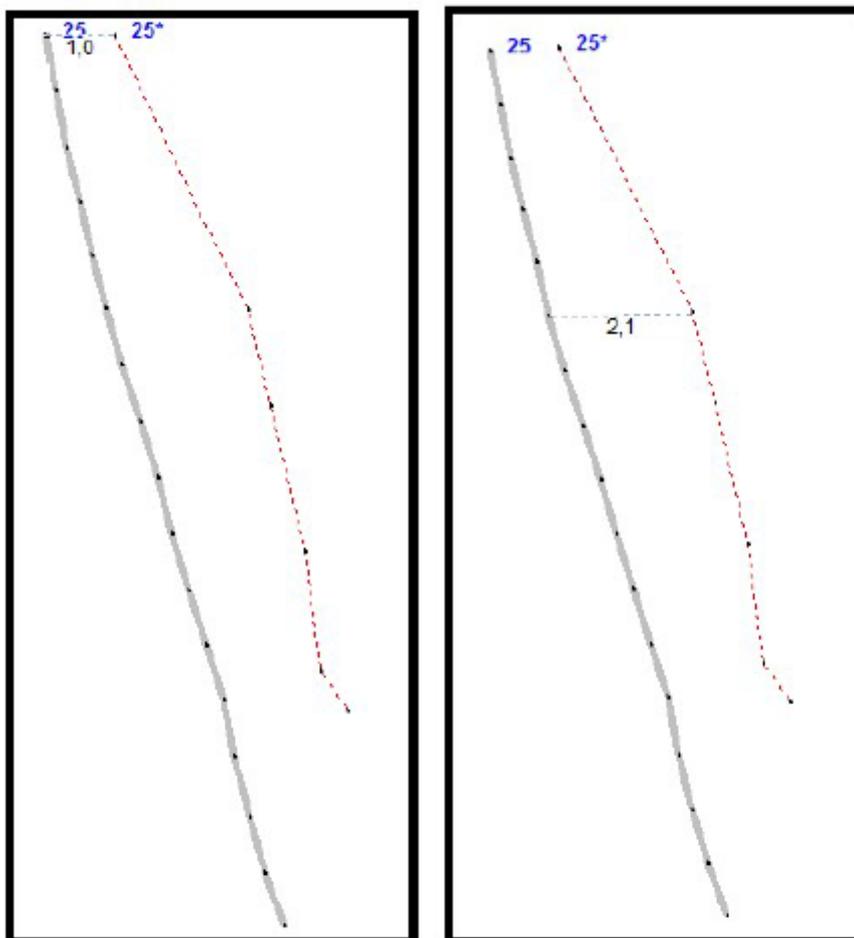
FURO 23

Não foi realizada a leitura no furo 23 devido ao difícil acesso e o risco por estar demasiadamente próximo da crista da bancada.

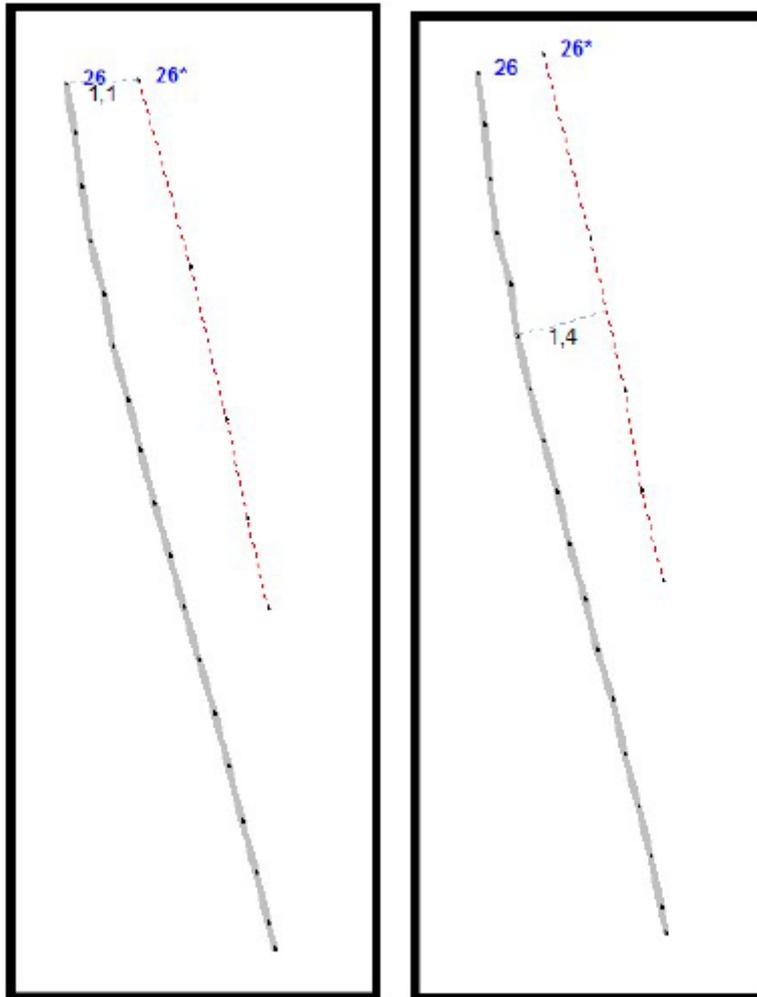
FURO 24



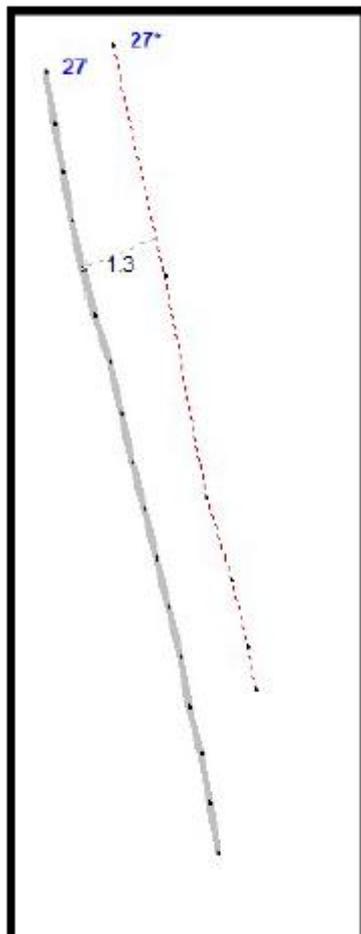
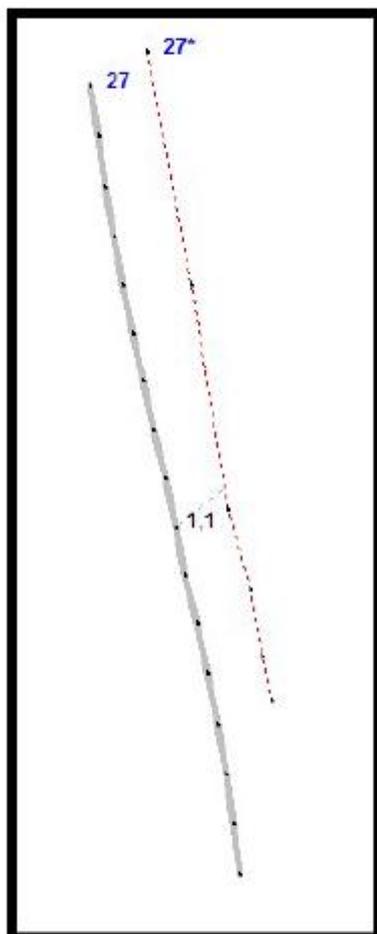
FURO 25



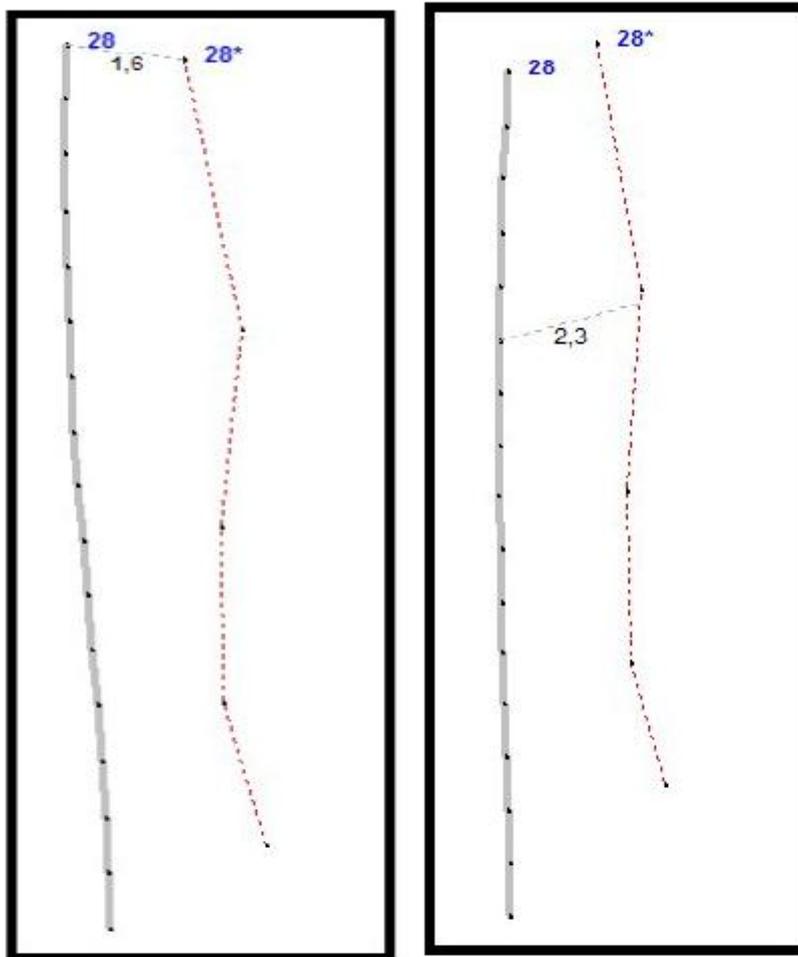
FURO 26



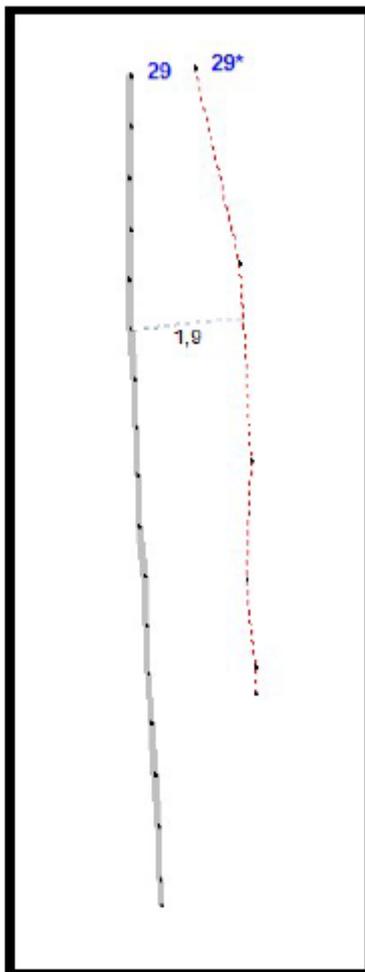
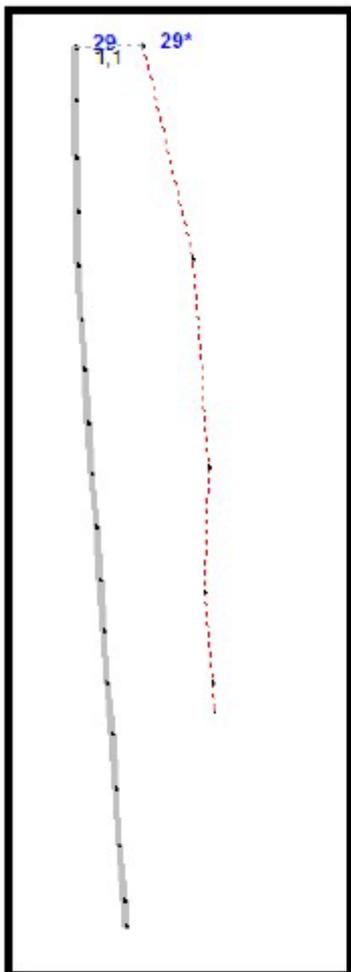
FURO 27



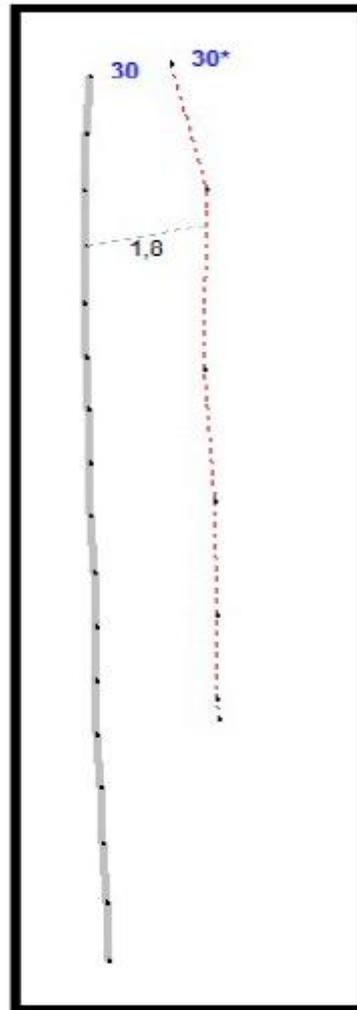
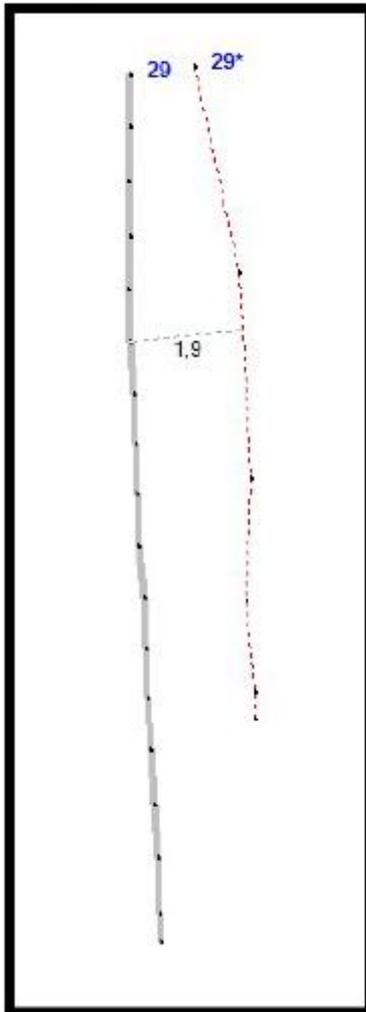
FURO 28



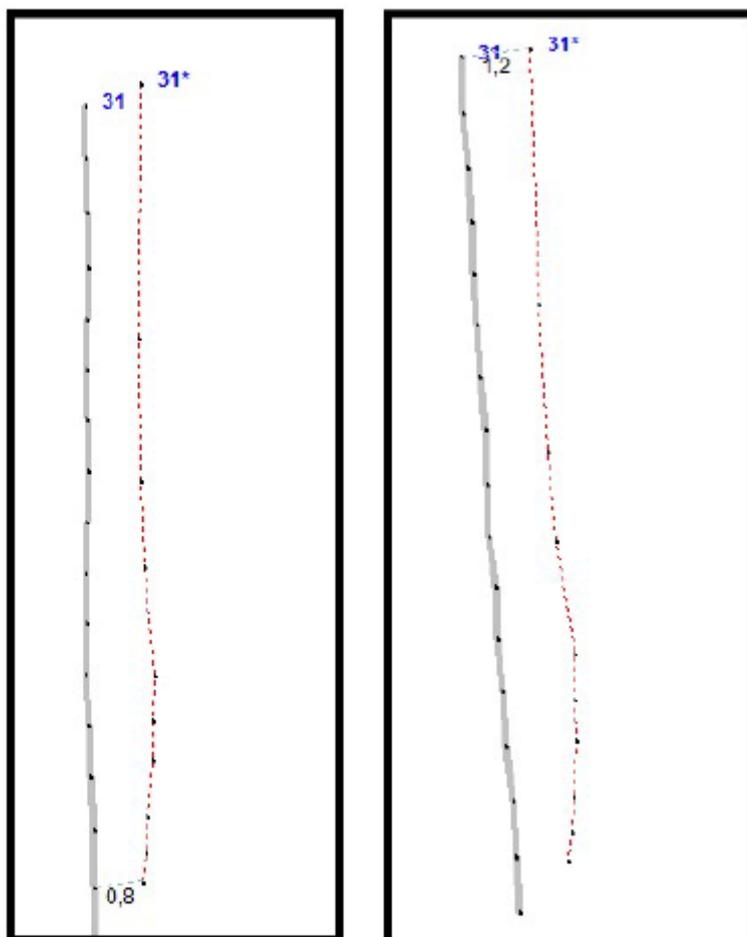
FURO 29



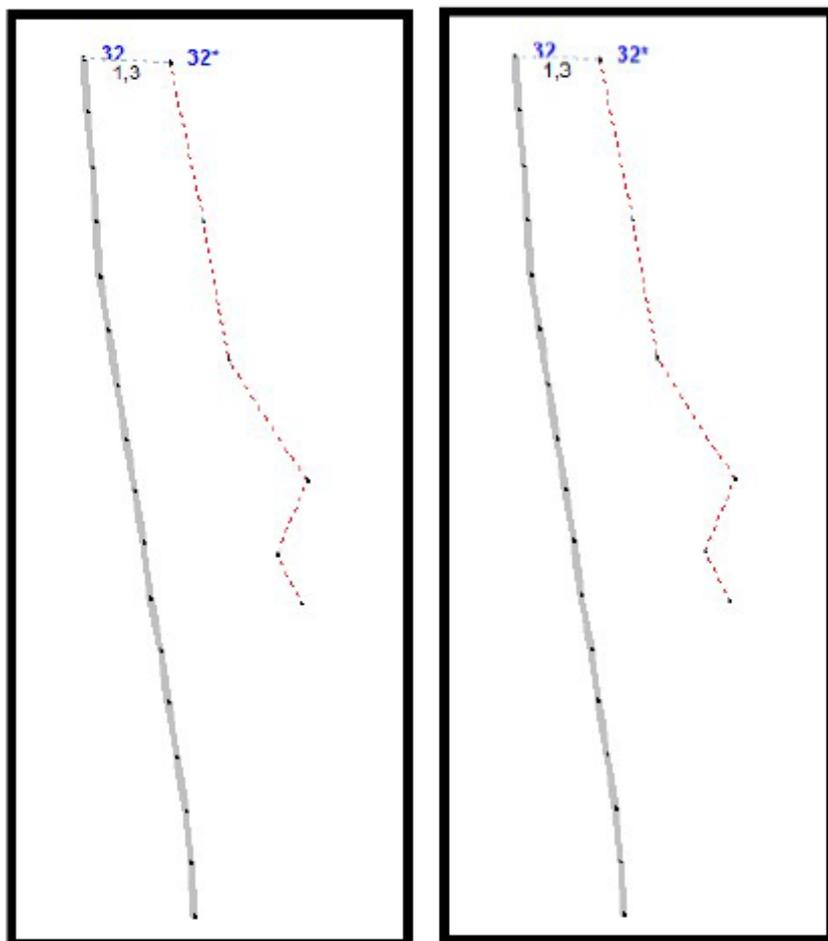
FURO 30



FURO 31



FURO 32



Observações: Não houve leitura no furo 14 (entupido) e também no furo 23 (difícil acesso).

5. ENTRE MINAS

